

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS GEOLOGÍCAS
Departamento de Petrología y Geoquímica



TESIS DOCTORAL

**Caracterización, deterioro y limpieza de los materiales pétreos del
antiguo Hospital de Jornaleros de Madrid**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Elena Mercedes Pérez-Monserrat

Director

Rafael Fort González

Madrid, 2015

TESIS DOCTORAL

Caracterización, deterioro y limpieza de los materiales pétreos del Antiguo Hospital de Jornaleros de Madrid



Elena Mercedes Pérez Monserrat
2015

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS

DEPARTAMENTO DE PETROLOGÍA Y GEOQUÍMICA



**CARACTERIZACIÓN, DETERIORO Y LIMPIEZA DE LOS
MATERIALES PÉTREOS DEL ANTIGUO HOSPITAL DE
JORNALEROS DE MADRID**

TESIS DOCTORAL DE:

ELENA MERCEDES PÉREZ MONSERRAT

Madrid, 2015

**CARACTERIZACIÓN, DETERIORO Y LIMPIEZA DE LOS MATERIALES PÉTREOS DEL
ANTIGUO HOSPITAL DE JORNALEROS DE MADRID**

por

Elena Mercedes Pérez Monserrat



**Memoria presentada para optar al grado de Doctor que otorga la
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
Facultad de Ciencias Geológicas
Departamento de Petrología y Geoquímica**

Tesis doctoral dirigida por:
Dr. Rafael Fort González
Investigador Científico del
Instituto de Geociencias, IGEO (CSIC-UCM)

vº Bº

Fdo.: Dr. Rafael Fort González



*A mis padres,
por el amor a sus hijas*

Marco Polo describe un puente, piedra a piedra.

Pero, ¿cuál es la piedra que sostiene el puente? - pregunta Kublai Jan.
El puente no está sostenido por esta piedra o aquella - responde Marco -
sino por la línea del arco que ellas forman.

Kublai permanece silencioso, reflexionando. Después añade:
¿Por qué me hablas de las piedras?, lo único que me importa es el arco.

Polo responde: *sin piedras no hay arco.*

Italo Calvino, Las Ciudades Invisibles

AGRADECIMIENTOS

A la hora de presentar una Tesis Doctoral que tanto se ha prolongado en el tiempo, surge dar las gracias a la propia tesis y al propio tiempo. Gracias a la tesis, porque has sido el camino, el hilo conductor de tantos días que me ha mantenido caminando, y gracias al tiempo, que has sido la espera y la renuncia.

A TODOS Y A TANTO, GRACIAS...

GRACIAS POR ESTAR, GRACIAS POR ESPERAR...

Gracias a mis padres Antonio y Carmen, que me disteis la vida y el regalo de poder elegir cómo vivirla; a mis hermanas Marta y María, que sois esa vida y su regalo; a Eugenio, por estar a mi lado y saber quererme; y a Cristina, África y David, por estar tan cerca. Gracias a mis abuelos, Pedro, M^a Josefa, Román y Mercedes, por vuestra siempre presencia y por todos los que vinieron después, que estáis en tantos momentos, y gracias a la casa de granito y a las canteras de Alpedrete, porque debisteis ser el origen y porque con vosotras sueña aquella vida que regaló mil vidas. Es una ilusión agradecer la enseñanza y los valores recibidos en el colegio Sagrado Corazón de Chamartín, especialmente a Esther, gracias a ti hoy estoy aquí. Gracias a Marisa, Raquel, Beatriz y Patricia, a Marta y Piluca, por tantas risas y amables momentos compartidos. Unas gracias especialmente queridas a Ana, Míguel, Inma, Julián y Margarita, porque sólo vosotros geólogos me hacéis entender.

Este tiempo y su espera no hubieran sido posibles sin la inestimable y paciente dirección de mi tutor de Tesis Rafael Fort, gracias por tu ayuda y por tus consejos, por tu capacidad de trabajo y liderazgo, por tu sentimiento de grupo y empeño constante por aunar esfuerzos y por tu siempre sonrisa. Mi más profundo agradecimiento a Francisco Mingarro, donde estés, gracias por ver en este hospital una tesis para mí, y a M^a Concepción López de Azcona, por ayudarme siempre y estar presente hasta el final. Unas gracias que van más allá de las gracias a Mónica Álvarez de Buergo, por tu apoyo, cariño y enseñanza en la vida entera. Gracias también a M^a José Varas, por toda tu ayuda, y a David Freire, por ser como eres. Gracias a los demás miembros que sois el grupo de investigación *Petrología Aplicada a la Conservación del Patrimonio* del Instituto de Geociencias IGEO (CSIC-UCM), por vuestro esfuerzo y voluntad, por vuestra ayuda y cariño, gracias Miguel, Luz, M^a Carmen, Inma, Natalia, Arancha, Du, Beatriz, Beatrice, Nevin y Guilia. Parte esencial de este grupo es el Laboratorio de Petrofísica del IGEO (CSIC-UCM), dando unas gracias esenciales a César, Iván, Blanca, Javi, Inma (la rubia), y Cristina y, especialmente, a Andrés, por lo alegre, fácil y bonita que haces la vida siempre.

Agradezco a José María La Calle, antiguo subdirector general de arquitectura de la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid, y a José María Cabrera, presidente de la extinta empresa CPA, S.L., todas las facilidades prestadas y la ayuda recibida para el acceso al Antiguo Hospital. Doy las gracias igualmente al personal de la Consejería, por su amabilidad, especialmente a Andrés Antona, José María Olivares, Mercedes Antón y Teresa Rodríguez, así como a los trabajadores de CPA Santiago García, Joaquín Grande, José María Pulpón, Bárbara Pérez, Fernando Frade, Sergio Calmaestra y Selene Castro, por su enorme apoyo en los estudios de la Tesis efectuados *in situ* durante la rehabilitación acometida entre 2006 y 2008.

Este trabajo no habría sido posible sin la financiación recibida por la Comunidad de Madrid y el Fondo Social Europeo a través de los Programas Geomateriales 2 (P2013/MIT_2914), Geomateriales (P2009/MAT_1629) y Maternas (S0505/MAT_0094) así como el Programa CONSOLIDER-TCP (CSD2007-0058) y el Grupo de Investigación de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) Alteración y conservación de materiales pétreos del patrimonio (921349).

Agradecer los diversos contratos con cargo a proyectos de investigación de los que he disfrutado como miembro del grupo *Petrología Aplicada la Conservación del Patrimonio*, que me han permitido aprender tanto sobre la caracterización y el deterioro de materiales pétreos y cerámicos empleados en numerosos inmuebles patrimoniales como sobre la gestión de proyectos relacionados con algunas de las temáticas abordadas en la Tesis, enviando un cariñoso saludo a todas las personas con las que he podido trabajar estos años.

Doy las gracias a Pedro Navascués y Oscar da Rocha, por toda su enseñanza sobre el legado arquitectónico español, así como a la formación recibida en el máster sobre Conservación y Restauración del Patrimonio Arquitectónico y Urbano organizado por el Instituto Juan de Herrera de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, que me ha permitido atender al patrimonio construido desde otras perspectivas y con una visión más amplia.

Agradezco a Esther Sanz, M^a Eugenia Arribas, José Andrés de la Peña, José Pedro Calvo y Ana María Alonso, profesores del Departamento de Petrología y Geoquímica de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid (UCM), y a M^a Ángeles García del Cura, investigadora del Instituto de Geociencias IGEO (CSIC-UCM), tanto sus investigaciones sobre la cuenca continental terciaria del Tajo como la ayuda prestada para la descripción petrográfica de las muestras correspondientes a la piedra caliza estudiada. Gracias especialmente a Carlos Peropadre, por ayudarme a levantar la columna estratigráfica y a describir *in situ* los bancos establecidos en el frente de cantera.

Doy las gracias a Marian Barajas, Pedro Lozano y Carmen Valdehita, del Laboratorio de Petrología y Geoquímica de la Facultad de Ciencias Geológicas (UCM), la realización de láminas delgadas y la preparación de muestras para difracción; a Iván Serrano, de la Unidad Técnica de Caracterización Física y Química de Materiales y Modelo Análogo del Instituto de Geociencias IGEO (CSIC-UCM), la realización de los difractogramas; a Xabier Arroyo, del Centro de Asistencia a la Investigación de la Facultad de Ciencias Geológicas (UCM), su ayuda con la interpretación de los difractogramas; a Eugenio Baldomero y Alfonso Rodríguez, del Centro Nacional de Microscopía Electrónica de la UCM, la ayuda y asistencia para los estudios realizados mediante MEB-EDS; y a Laura Donadeo, de la biblioteca del IGEO, por la diligencia con las referencias bibliográficas solicitadas.

Durante el desarrollo de la Tesis he podido contar con la ayuda de numerosas personas que además de facilitarme las tareas, su presencia ha supuesto un valor añadido a los estudios efectuados. Gracias a Tomasa, vecina de la calle Maudes, por permitirme subir a su casa para ver el Antiguo Hospital; a Fabiola Dotrás y a su marido Juan Vázquez, por acogerme tan cariñosamente en su casa de Nigrán (Pontevedra), acompañarme a conocer algunos inmuebles de Antonio Palacios en Vigo y gestionar la visita al Centro Tecnológico del Granito de O Porriño (Pontevedra); a Rafael Otero Janeiro, por acogerme tan maravillosamente en su pazo de Cabanelas (Ourense), subirme a la torre de la iglesia de la Vera Cruz en O Carballino y enseñarme las antiguas canteras de donde se extrajo el granito destinado a algunas de las construcciones gallegas de Palacios; y a su padre, Adolfo Otero Cerdeira, que trabajó en la construcción del templo de la Vera Cruz de Carballiño y conoció a Palacios siendo niño, fue todo un privilegio poder conocerle. También doy las gracias a Fernando de Castro, Andrés Perea, Ángel Luis Fernández, Santiago Emper, Víctor Izquierdo, Pablo Ruiz y Antonio Serrano, por contarme sobre el Antiguo Hospital y prestarme valiosísima documentación, y a Jose Luis Barrera, por las facilidades prestadas para con la difusión de los materiales pétreos empleados en la obra de Antonio Palacios.

Gracias a Pilar Rivas, del antiguo Servicio Histórico de la Fundación del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid; a Daniel Gonzalbo, del Archivo General de la Administración; y a M^a José Laviña, María Méndez y M^a Luisa Martínez, del Centro de Documentación Especializada de la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid. Agradecer del mismo modo a Raquel Letón, del Archivo Histórico Ferroviario del Museo del Ferrocarril de Madrid - Fundación de los Ferrocarriles Españoles las facilidades prestadas para la reproducción de la interesante documentación gráfica y escrita sobre el apeadero y las canteras de Cornicabra. Un afectuoso agradecimiento a Adolfo González-Amezqueta, por ser el primero en investigar la obra de Antonio Palacios e insistir en la especial importancia que Palacios otorgaba a los materiales.

Tuve la gran suerte de poder hablar personalmente con Antonio Perla, responsable de las intervenciones en los materiales cerámicos del Antiguo Hospital efectuadas durante la rehabilitación de los años ochenta, y con Abraham Rubio-Celada, gran conocedor de la cerámica de Zuloaga y de la casa Ramos Rejano de Sevilla, agradeciéndoles enormemente su gran amabilidad y todo lo que me contaron. A este respecto, inestimable ha sido la ayuda de Fernando Agua, Juan Félix Conde, M^a Ángeles Villegas y Manuel García-Heras, del grupo de investigación *Arqueometría y Conservación de Vidrios y Materiales Cerámicos*, del Centro de Ciencias Humanas y Sociales del CSIC, así como de Jesús María Rincón, del Instituto de Cerámica y Vidrio del CSIC.

Agradezco a Francisco Moya, Antonio Plaza, Benito Santa María y Ángeles Cristóbal del Servicio de Protección de la Atmósfera del Ayuntamiento de Madrid así como a la Unidad de Información Meteorológica de la AEMET el histórico de datos proporcionado gratuitamente. Gracias también a Asunción de los Ríos, Beatriz Cámara y a Fernando Pinto, del Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), por la preparación y ayuda prestada para analizar la película microbiana desarrollada sobre el mortero de fábrica; a Andrés Lira, Bárbara Fernández y Elena Fernández, de los Laboratorios de Tres Cantos del Instituto Geológico y Minero (IGME) por efectuar el ensayo de SO₂; a M^a del Valle López, de la Unidad Técnica de Cálculo Científico y Procesado de Datos del Instituto de Geociencias IGEO (CSIC-UCM), por la realización de los mapas tridimensionales; a Miguel Sobrino, del Taller de Cantería de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, por haber podido otorgar en su taller el acabado rugoso a las probetas sometidas a la acción del SO₂ así como las herramientas de cantería prestadas e información aportada sobre el trabajo artesanal de la piedra; gracias igualmente a las empresas Proliser y FTB y a la Subdirección de Calidad de las Aguas del Canal de Isabel II, por las facilidades prestadas; y a Manuel Iglesias Campos, de la Facultat de Belles Arts de la Universitat de Barcelona, por las dudas aclaradas respecto a los sistemas de limpieza evaluados. Finalmente, gracias a todos los que participasteis en las diversas Rutas Geomonumentales que efectuamos en el Antiguo Hospital de Maudes.

Gracias también a Beatriz, Mariam, Cecilia, Mariví, Andrea y Silvia, que tan presentes habéis estado durante la realización de la Tesis, gracias por vuestro cariño, escucha y amistad. Gracias a todos aquellos que también trabajáis en la Facultad de Ciencias Geológicas y en el IGEO y que tan parte sois de estos años, a profesores, doctorandos, compañeros del departamento, personal de administración y servicios.

Gracias a otros muchos que ahí estáis llenando la vida de alegría y de sentido, Ana, Paloma y Leticia, los amigos de siempre, Esther y Eva, Titos, Rober, Fernando, Olo, Elisa, Luis, Guillermo y Rafa, Lara, Fátima, Carolina, Ana y Nieves. Finalmente, gracias al tango y a todos los que lo bailáis, por vuestra escucha, paciencia y entrega, especialmente al "teacher", por enseñarme a bailar con los ojos cerrados, y a Serguei, por ser luz en mi camino y por todo tu lindo ser, gracias.

Y gracias a Antonio Palacios, por todo lo que me has dado y cada día me das.

INDICE

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| RESUMEN | i-v |
| SUMMARY | |
| SOBRE LA TESIS PRESENTADA | 1 |
| SOBRE LOS ASPECTOS METODOLÓGICOS | 3 |
| PARTE I | |
| ANTONIO PALACIOS Y EL HOSPITAL DE JORNALEROS EN LA DIFUSIÓN Y CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO | 7 |
| CAPÍTULO 1. PENSAMIENTO Y MATERIALES PÉTREOS EN LA OBRA DE ANTONIO PALACIOS | 9 |
| 1.1. SOBRE ANTONIO PALACIOS RAMILO | 11 |
| 1.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE SU OBRA | 12 |
| 1.2.1. <u>Tradición y modernidad</u> | 12 |
| 1.2.2. <u>Materialidad pétreo</u> | 12 |
| 1.2.3. <u>Atención al entorno</u> | 13 |
| 1.2.4. <u>Vinculación a la tierra</u> : conservación y difusión del patrimonio cultural | 14 |
| 1.2.5. <u>Forma de proyectar y trabajar</u> | 14 |
| 1.3. PRINCIPALES MATERIALES PÉTREOS Y CERÁMICOS UTILIZADOS EN LA OBRA DE ANTONIO PALACIOS Y CANTERAS DE PROCEDENCIA DE LA PIEDRA NATURAL | 15 |
| CAPÍTULO 2. EL HOSPITAL DE JORNALEROS DE MAUDES | 23 |
| 2.1. PROYECTO DEL HOSPITAL DE JORNALEROS DE MAUDES | 25 |
| 2.1.1. <u>Objeto del hospital</u> | 25 |
| 2.1.2. <u>Distribución del hospital</u> | 26 |
| 2.2. HISTORIA DEL HOSPITAL | 28 |
| 2.2.1. <u>Construcción y primeros años del hospital (1906-1936)</u> | 28 |
| 2.2.2. <u>Hospital durante la Guerra Civil (1936-1939)</u> | 28 |
| 2.2.3. <u>Hospital Militar de Urgencias (1940-1970)</u> | 28 |
| 2.2.4. <u>Abandono y subasta del hospital (1970-1984)</u> | 32 |
| 2.2.5. <u>Rehabilitación y recuperación del hospital (1984-1986)</u> | 34 |
| 2.2.6. <u>El Antiguo Hospital como edificio administrativo (1987-actualidad)</u> | 38 |
| CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE PARAMENTOS Y MATERIALIDAD PÉTREO EN EL ANTIGUO HOSPITAL | 41 |
| 3.1. LECTURA DE PARAMENTOS | 43 |
| 3.1.1. <u>Lectura de paramentos en el edificio principal</u> | 45 |
| 3.1.2. <u>Lectura de paramentos en el muro perimetral</u> | 51 |
| 3.2. MATERIALIDAD PÉTREO DE LOS PARAMENTOS | 55 |
| 3.2.1. <u>Almohadillado y rusticidad de los paramentos</u> | 56 |
| 3.2.2. <u>Juntas de fábrica en los paramentos</u> | 59 |
| PARTE II | |
| MATERIALES PÉTREOS Y CERÁMICOS UTILIZADOS EN LOS PARAMENTOS DEL ANTIGUO HOSPITAL | 63 |
| CAPÍTULO 4. PIEDRA CALIZA DEL ANTIGUO HOSPITAL | 65 |
| 4.1. INTRODUCCIÓN | 67 |
| 4.1.1. <u>La cuenca terciaria continental del Sureste de la Comunidad de Madrid</u> | 67 |
| 4.1.2. <u>Explotaciones de piedra caliza en la Comunidad de Madrid</u> | 71 |
| 4.1.3. <u>Una caliza para el Hospital de Jornaleros</u> | 74 |
| 4.1.4. <u>La piedra caliza en los paramentos del Antiguo Hospital (año 2006)</u> | 75 |
| 4.1.5. <u>Propiedades petrológicas como criterios de calidad en rocas carbonáticas</u> | 80 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2. OBJETIVOS | 81 |
| 4.3. ASPECTOS METODOLÓGICOS | 82 |
| 4.3.1. <u>Toma de muestras</u> | 82 |
| 4.3.2. <u>Caracterización petrológica de la caliza</u> | 83 |
| 4.4. RESULTADOS | 87 |
| 4.4.1. <u>Motivos que condicionaron la selección de la caliza empleada</u> | 87 |
| 4.4.2. <u>En el paraje del Valhondo-Cornicabra, Morata de Tajuña (Madrid)</u> | 94 |
| 4.4.3. <u>Caracterización petrográfica de la caliza (edificio y cantera)</u> | 102 |
| 4.4.4. <u>Caracterización petrofísica</u> | 108 |
| 4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 111 |
| 4.5.1. <u>Selección definitiva de la piedra caliza para el Hospital de Jornaleros</u> | 111 |
| 4.5.2. <u>Ambiente de formación y procesos diagenéticos</u> | 113 |
| 4.5.3. <u>Caracteres petrológicos de la caliza empleada mayoritariamente en los paramentos</u> | 114 |
| 4.6. CONCLUSIONES | 117 |
| CAPÍTULO 5. MATERIALES CERÁMICOS EN EL ANTIGUO HOSPITAL | 119 |
| 5.1. INTRODUCCIÓN | 121 |
| 5.1.1. <u>Tecnología cerámica</u> | 121 |
| 5.1.2. <u>Cerámicas decorativas para el Hospital de Jornaleros</u> | 123 |
| 5.1.3. <u>Paneles cerámicos y mosaico de azulejos en las fachadas (año 2006)</u> | 124 |
| 5.1.4. <u>Materias primas y elaboración de las cerámicas para el Antiguo Hospital</u> | 126 |
| 5.2. OBJETIVOS | 130 |
| 5.3. ASPECTOS METODOLÓGICOS | 131 |
| 5.3.1. <u>Toma de muestras</u> | 131 |
| 5.3.2. <u>Técnicas de caracterización</u> | 132 |
| 5.4. RESULTADOS | 133 |
| 5.4.1. <u>Azulejos gota de agua originales de la fuente central</u> | 133 |
| 5.4.2. <u>Piezas de sustitución de los paneles cerámicos originales</u> | 135 |
| 5.4.3. <u>Azulejos del <i>trencadix</i> original de la cubeta de la fuente central</u> | 138 |
| 5.4.4. <u>Azulejos elaborados para la restauración del <i>trencadix</i> original de la fuente</u> | 140 |
| 5.4.5. <u>Ladrillos del muro de fábrica (original)</u> | 142 |
| 5.4.6. <u>Ladrillos de la escalera del patio inglés (original)</u> | 143 |
| 5.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 146 |
| 5.5.1. <u>Motivos que condicionaron el empleo de cerámicas decorativas en el Hospital de Jornaleros</u> | 146 |
| 5.5.2. <u>Técnicas analíticas para el mejor conocimiento de la tecnología de elaboración de los materiales cerámicos empleados en el Antiguo Hospital</u> | 146 |
| 5.6. CONCLUSIONES | 153 |
| CAPÍTULO 6. PIEDRA ARTIFICIAL Y MORTEROS EN LOS PARAMENTOS DEL ANTIGUO HOSPITAL | 155 |
| 6.1. INTRODUCCIÓN | 157 |
| 6.1.1. <u>Elaboración de materiales pétreos artificiales</u> | 157 |
| 6.1.2. <u>Tipologías de piedra artificial y morteros en los paramentos del Antiguo Hospital (año 2006)</u> | 159 |
| 6.2. OBJETIVOS | 166 |
| 6.3. ASPECTOS METODOLÓGICOS | 167 |
| 6.3.1. <u>Toma de muestras</u> | 167 |
| 6.3.2. <u>Técnicas de caracterización</u> | 170 |
| 6.4. RESULTADOS | 171 |
| 6.4.1. <u>Motivos que condicionaron su utilización</u> | 171 |
| 6.4.2. <u>Intervenciones efectuadas en la piedra artificial y morteros (1916-2006)</u> | 172 |
| 6.4.3. <u>Caracterización materiales pétreos artificiales</u> | 176 |

| | |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| 6.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 199 |
| 6.5.1. <u>Piedra artificial</u> (muestras PA) | 200 |
| 6.5.2. <u>Morteros de revestimiento</u> (muestras MRC y MRG) | 202 |
| 6.5.3. <u>Morteros de junta o fábrica</u> (muestras MJE y MJM) | 207 |
| 6.6. CONCLUSIONES | 211 |

PARTE III

DETERIORO FÍSICO-QUÍMICO Y/O ESTÉTICO EN LOS PARAMENTOS DEL ANTIGUO HOSPITAL

213

CAPÍTULO 7. ENTORNO MEDIOAMBIENTAL DEL ANTIGUO HOSPITAL Y SU INCIDENCIA EN EL DETERIORO DE LOS PARAMENTOS

215

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.1. INTRODUCCIÓN | 217 |
| 7.1.1. <u>Contaminantes atmosféricos y deterioro de los materiales de construcción</u> | 217 |
| 7.1.2. <u>Factores medioambientales y patrones de color en fachadas</u> | 220 |
| 7.1.3. <u>Clima y contaminación en el municipio de Madrid</u> | 222 |
| 7.1.4. <u>El tráfico rodado en el entorno del Antiguo Hospital</u> | 223 |
| 7.2. OBJETIVOS | 224 |
| 7.3. ASPECTOS METODOLÓGICOS | 225 |
| 7.3.1. <u>Red de vigilancia de la contaminación atmosférica del Ayuntamiento de Madrid</u> | 225 |
| 7.3.2. <u>Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)</u> | 226 |
| 7.3.3. <u>Tratamiento de los datos: estaciones seleccionadas y fuentes documentales</u> | 226 |
| 7.4. RESULTADOS | 229 |
| 7.4.1. <u>Evolución de la calidad del aire en el entorno del Antiguo Hospital</u> | 229 |
| 7.4.2. <u>Evolución de la climatología en la zona oeste de Madrid [1979-2009]</u> | 235 |
| 7.4.3. <u>Aspecto de los paramentos antes de las intervenciones acometidas en el Antiguo Hospital</u> | 238 |
| 7.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 243 |
| 7.5.1. <u>Calidad del aire en el entorno del Antiguo Hospital</u> | 243 |
| 7.5.2. <u>Climatología y deposición de contaminantes en los paramentos del Antiguo Hospital</u> | 244 |
| 7.5.3. <u>Incidencia de la evolución del entorno medioambiental en el deterioro de los paramentos</u> | 245 |
| 7.6. CONCLUSIONES | 248 |

CAPÍTULO 8. PATRONES O DISTRIBUCIÓN DE COLOR EN LAS FACHADAS DEL ANTIGUO HOSPITAL

251

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.1. INTRODUCCIÓN | 253 |
| 8.1.1. <u>Diseño de fachadas y patrones de color</u> | 253 |
| 8.1.2. <u>Modificación cromática en fachadas</u> | 254 |
| 8.1.3. <u>Patrones de color en los paramentos del Antiguo Hospital (año 2006)</u> | 255 |
| 8.2. OBJETIVOS | 260 |
| 8.3. ASPECTOS METODOLÓGICOS | 261 |
| 8.4. RESULTADOS | 265 |
| 8.4.1. <u>Cuantificación patrones de color en función de las variables de diseño</u> | 265 |
| 8.4.2. <u>Evolución de los patrones de color en el tiempo</u> | 275 |
| 8.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 279 |
| 8.5.1. <u>Influencia de los factores de diseño en los patrones de color observados en el año 2006</u> | 279 |
| 8.5.2. <u>Procesos de amarillamiento en la superficie de la caliza con el tiempo</u> | 281 |
| 8.5.3. <u>Evolución de los patrones de color con el tiempo y medidas de protección</u> | 282 |
| 8.6. CONCLUSIONES | 288 |
| 8.6.1. <u>Influencia de los factores de diseño en los patrones de color</u> | 288 |
| 8.6.2. <u>Ensuciamiento de las fachadas con el tiempo y el mantenimiento preventivo</u> | 289 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| CAPÍTULO 9. DETERIORO FÍSICO-QUÍMICO DE LA CALIZA Y DE LOS MORTEROS DE FÁBRICA EN LOS PARAMENTOS DEL ANTIGUO HOSPITAL | 291 |
| 9.1. INTRODUCCIÓN | 293 |
| 9.1.1. <u>Deterioro físico-químico de materiales en áreas contaminadas: costras negras y biofilms</u> | 293 |
| 9.1.2. <u>Ensuciamiento y otras formas de deterioro en la caliza y morteros de fábrica del Antiquo Hospital (2006)</u> | 295 |
| 9.2. OBJETIVOS | 297 |
| 9.3. ASPECTOS METODOLÓGICOS | 298 |
| 9.3.1. <u>Toma de muestras</u> | 298 |
| 9.3.2. <u>Técnicas de caracterización</u> | 299 |
| 9.4. RESULTADOS | 302 |
| 9.4.1. <u>Deterioro físico-químico de la caliza y su comparativa con el deterioro estético</u> | 302 |
| 9.4.2. <u>Análisis de los principales depósitos superficiales</u> | 308 |
| 9.4.3. <u>Deterioro físico-químico de los morteros de fábrica</u> | 315 |
| 9.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 321 |
| 9.5.1. <u>Costras negras de sulfatación en la caliza y deterioro físico-químico <i>versus</i> estético</u> | 321 |
| 9.5.2. <u>Procedencia y/o focos de emisión de la materia particulada y partículas esféricas</u> | 322 |
| 9.5.3. <u>Costras negras de sulfatación en el mortero de fábrica y biofilm como agente de deterioro</u> | 324 |
| 9.5.4. <u>Intervención en los paramentos del Antiquo Hospital en base a criterios estéticos y de daños</u> | 325 |
| 9.6. CONCLUSIONES | 328 |
| CAPÍTULO 10. RESISTENCIA DE LA PIEDRA CALIZA DEL ANTIGUO HOSPITAL A LA ACCIÓN DEL SO₂ | 331 |
| 10.1. INTRODUCCION | 333 |
| 10.1.1. <u>Simulación en laboratorio de los procesos de sulfatación</u> | 333 |
| 10.1.2. <u>Color y textura superficial de la caliza y el proceso de sulfatación</u> | 334 |
| 10.1.3. <u>Presencia de materia particulada y el proceso de sulfatación</u> | 335 |
| 10.1.4. <u>Presencia de humedad en el proceso de sulfatación</u> | 335 |
| 10.1.5. <u>Tratamientos de conservación y la sulfatación de la piedra caliza</u> | 336 |
| 10.2. OBJETIVOS | 337 |
| 10.3. METODOLOGIA | 338 |
| 10.3.1. <u>Preparación de muestras y realización del ensayo de envejecimiento acelerado</u> | 338 |
| 10.3.2. <u>Técnicas de caracterización</u> | 340 |
| 10.4. RESULTADOS | 342 |
| 10.4.1. <u>Modificaciones visuales</u> | 342 |
| 10.4.2. <u>Análisis de los productos de reacción</u> | 354 |
| 10.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 369 |
| 10.5.1. <u>Resistencia de la piedra caliza a la acción del SO₂</u> | 369 |
| 10.5.2. <u>Influencia de los factores considerados en la sulfatación de la caliza</u> | 371 |
| 10.5.3. <u>Idoneidad, efectividad y durabilidad de los hidrofugantes frente a la acción del SO₂</u> | 372 |
| 10.5.4. <u>Acción del SO₂: envejecimiento artificial <i>versus</i> paramentos del Antiquo Hospital</u> | 374 |
| 10.6. CONCLUSIONES | 376 |
| PARTE IV | |
| CONSERVACIÓN DEL ANTIGUO HOSPITAL: | |
| ACTUACIÓN DE LIMPIEZA EN LOS PARAMENTOS | 377 |
| CAPÍTULO 11. ESTUDIOS PREVIOS PARA LA LIMPIEZA DE LA CALIZA EN EL ANTIGUO HOSPITAL | 379 |
| 11.1. INTRODUCCIÓN | 381 |
| 11.1.1. <u>Necesidad de una nueva limpieza en los paramentos del Antiquo Hospital</u> | 381 |
| 11.1.2. <u>Sistemas o métodos de limpieza en fachadas de inmuebles patrimoniales</u> | 382 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 11.2. OBJETIVOS | 384 |
| 11.3. ASPECTOS METODOLÓGICOS | 385 |
| 11.3.1. <u>Aplicación <i>in situ</i> de los sistemas de limpieza a evaluar</u> | 385 |
| 11.3.2. <u>Técnicas de caracterización</u> | 387 |
| 11.4. RESULTADOS | 388 |
| 11.4.1. <u>Efectividad de los métodos ensayados: modificación cromática</u> | 388 |
| 11.4.2. <u>Idoneidad y eficacia de los métodos ensayados</u> | 391 |
| 11.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 394 |
| 11.5.1. <u>Evaluación de la efectividad de los métodos ensayados</u> | 394 |
| 11.5.2. <u>Evaluación de la idoneidad de los métodos ensayados</u> | 395 |
| 11.5.3. <u>Selección del método de limpieza definitivo: una solución de compromiso</u> | 396 |
| 11.6. CONCLUSIONES | 399 |
| CAPÍTULO 12. LIMPIEZA MEDIANTE PROYECCIÓN DE PARTÍCULAS EN LOS PARAMENTOS DEL ANTIGUO HOSPITAL (2006-2008) | 401 |
| 12.1. INTRODUCCIÓN | 403 |
| 12.1.1. <u>Limpieza de la piedra caliza en la intervención de 2006-2008</u> | 403 |
| 12.2. OBJETIVOS | 405 |
| 12.3. ASPECTOS METODOLÓGICOS | 406 |
| 12.4. RESULTADOS | 409 |
| 12.4.1. <u>Aspecto de los paramentos tras la limpieza de la piedra caliza</u> | 409 |
| 12.4.2. <u>Eficacia del sistema de limpieza: grado de eliminación del deterioro estético</u> | 411 |
| 12.4.3. <u>Eficacia e idoneidad del sistema de limpieza: reducción del deterioro físico-químico y modificación textural en la superficie del soporte pétreo</u> | 414 |
| 12.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 418 |
| 12.6. CONCLUSIONES | 421 |
| CONSIDERACIONES FINALES | 423 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y OTRA DOCUMENTACIÓN | 435 |
| ANEXO A | 475 |
| ANEXO B | 485 |

RESUMEN

La Tesis Doctoral aborda algunos de los muy numerosos aspectos que abarcan el estudio del patrimonio construido, seleccionándose el Antiguo Hospital de Jornaleros de Maudes (Madrid), construido por el arquitecto gallego Antonio Palacios Ramilo (1974-1945) entre los años 1909 y 1916. Los muros presentan una cara exterior de cantería en piedra caliza mayoritariamente, mostrando los paramentos un plano principal y diferentes planos de avance. Abandonado entre 1970 y 1984 y declarado Monumento Histórico Artístico en 1979, actualmente alberga la sede de la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid. El Antiguo Hospital ha sido objeto de dos intervenciones principales, en 1984-1986, rehabilitación integral, y en 2006-2008, restauración de los paramentos, acometiéndose en ambas la limpieza de la caliza mediante proyección de partículas.

En el año 2006, el inmueble presentaba en general un buen estado de conservación. Sin embargo, debido principalmente a la composición y tonalidad clara de la caliza así como a su localización en un entrono urbano con importantes niveles de contaminación atmosférica, en numerosas zonas la piedra mostraba un importante grado de oscurecimiento, con la consiguiente formación de costras negras de sulfatación. El aspecto de los paramentos suponía una considerable pérdida en el valor estético del inmueble (deterioro estético), resultando además un agente de deterioro físico-químico (daño material), de ahí la necesidad de una nueva limpieza.

Planteada como un estudio integral, el objetivo general de la Tesis es el estudio de los principales materiales empleados en la construcción del inmueble como estrategia para su difusión y conservación. Este estudio incluye principalmente la caracterización de los materiales así como el análisis de su deterioro y de las estrategias más adecuadas para su mantenimiento preventivo. Se abre una novedosa línea de investigación que atiende conjuntamente a la documentación histórica y a la interpretación de la información proporcionada por las técnicas de caracterización empleadas.

El ambiente genético y la diagénesis permiten que la caliza resulte un material de muy elevada calidad para configurar elementos constructivos portantes y resistencia a los agentes de deterioro. Además de la tonalidad y composición química de la caliza, los factores medioambientales (los niveles de dióxido de azufre y de materia particulada principalmente) y de diseño condicionan el deterioro estético y físico-químico de la caliza. La luminosidad de color resulta un parámetro muy adecuado para establecer la percepción estética de los paramentos, permitiendo la monitorización del ensuciamiento señalar las zonas donde resultaría más adecuada su medida y/o la colocación de captadores de la concentración de contaminantes. Las costras negras de sulfatación desarrolladas sobre la caliza y morteros de fábrica contribuyen significativamente al oscurecimiento de los paramentos, provocando un deterioro estético, e implican un daño material en la superficie de los materiales en tanto que suponen una importante fuente de azufre y atrapan partículas, favoreciendo el crecimiento de las costras y retroalimentando el proceso de sulfatación.

En el año 2006 la limpieza de la caliza resultaba necesaria y se estimaba conveniente la retirada de los morteros de fábrica, en base a criterios estéticos y, sobre todo, de daños. La limpieza de la caliza debe incluirse en las actuaciones de mantenimiento de los paramentos, aconsejándose la proyección con microesferas de sílice en húmedo y considerando preferible efectuar operaciones periódicas que atiendan sólo a las zonas donde sea necesaria. La limpieza acometida entre 2006-2008 refleja la concienciación y sensibilidad de la administración para con la conservación y adecuada gestión del Antiguo Hospital, destacando la implicación de la Comunidad de Madrid en cuanto a la realización de estudios previos. De este modo, se seleccionó el método de limpieza más adecuado, basándose la intervención efectuada en el conocimiento científico.

Resumen en inglés/English summary. Art. 10.2, Normativa de desarrollo del Real Decreto 99/2011, de 28 de enero que regula los estudios de doctorado en la Universidad Complutense de Madrid. BOUC nº14, 21/12/2012.

**CHARACTERIZATION, DECAY AND CLEANING OF BUILDING MATERIALS OF THE FORMER
WORKERS HOSPITAL (MADRID)**

SUMMARY

Introduction

Raised as a comprehensive study, this PhD thesis focuses on the building materials used at walls, façades and surrounding wall, of the Former Workers Hospital of Maudes (Madrid), built by the Galician architect Antonio Palacios Ramilo (1874-1945) between 1909 and 1916 nearby the current Cuatro Caminos roundabout. The masonry walls comprise outer face stonework shaped mainly with limestone; they show a principal plane face and different advanced faces. The property remained vacant between 1970-1984 period of time and in 1979 it was listed as a National Artistic-Historic Monument. Two major interventions have been undergone (1984-1986 and 2006-2008), both with stone cleaning operations by bead blasting particles. Today, it houses the headquarters of the regional Department of Environment, Housing and Territorial Planning (Community of Madrid).

The PhD thesis addresses the study of natural stone, ceramics (decorative and structural) and artificial stone as well as joint mortars and coatings that in 2006 shaped the walls. Limestone corresponds to original material, while the other ones are both original and replaced materials. The conservation state of the property was quite satisfactory. Nevertheless, in many areas the walls showed a significant degree of darkness, corresponding to soiling and/or associated blackening processes, with the consequent aesthetic decay (soiling) and formation of sulfated black crusts on limestone surface (blackening). Such black layers lead to the physical and chemical decay of the stone (material decay), as material loss is involved and new sulfated crust are developed on unaltered surfaces exposed. Therefore, it was necessary to carry out cleaning operations in order to achieve limestone conservation (damage criteria) and to improve the appearance of the walls (aesthetic criteria). Previously, it was also necessary to evaluate different cleaning systems in order to select the most effective and appropriate one taking into account the limestone properties and the nature of the material to be removed, mainly sulfated crusts and surface deposits responsible for limestone soiling.

The thesis is structured in four parts; the first attends primarily to the work of Palacios and to the hospital; the second to the limestone and other materials; the third one to the walls decay in 2006; and the fourth to the assessment of various cleaning systems and the results achieved after the last cleaning performed. The followed methodology has included the consult of documentary sources and the employment of analytical techniques widely used in the characterization of built heritage materials; mainly Spectrophotometry, Polarised Optical Microscopy, X-ray Diffraction and Scanning Electron Microscopy with Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy.

The thesis is novel in its approach and structure and the close relationship between many of the covered issues is evident. Thus, to address in conjunction to several topics related with built heritage materials enables their better knowledge and, therefore, makes possible more respectful interventions committed to its preservation and preventive maintenance.

Objectives

The overall purpose of this PhD thesis is the study of the main building materials of the Former Hospital, as a strategy for the dissemination and conservation of the property. This study mainly includes materials characterization as well as the analysis of their decay and of the preventive maintenance strategies most suitable.

In the first part, the objectives are focused on the establishment of the main features that characterize the work and thought of Antonio Palacios, especially regarding to the stones used in its constructions as well as the quarries and/or geological formations of stone provenance. Besides, to point out the main stages in the history of the Former Hospital and particular attention to materials interventions is given. Third, the analysis of the walls design and the treatment conferred to the stone surfaces.

The major purchased objectives in the second part are to analyze the reasons that determined the final selection of the material and to address their study by characterization techniques. The petrophysical characterization of the limestone is also carried out. In the third part, the overall objective is to study the aesthetic and physical-chemical decay than in 2006 the façades displayed, so the walls entail actual experimentation laboratory. Four specific objectives are addressed:

- To analyze the evolution of the surrounding environment during the 20 years lapsed between the two cleaning operations performed on the walls (1984-1986 and 2006-2008).
- To assess the influence of several design factors on the colouring patterns that the façades displayed in 2006 and to layout a model that primarily enables the soiling monitoring.
- To state the correspondence between the aesthetic decay of the walls and the limestone material damage.
- To analyze the limestone resistance to dry deposition of SO₂ in the presence of moisture, by performing ageing tests where several variables and the application of waterproofing products are considered.

In the fourth part of the thesis, the objectives are to set a methodology to evaluate different cleaning systems, in order to choose the most effective and suitable for the limestone studied, and to analyze the results achieved after the stone cleaning accomplished in 2006-2008. Therefore, the effectiveness and adequacy of such intervention is assessed.

Results

A metropolitan and regionalist facet stands at the work and thought of Palacios. The utilization of the intrinsic properties of the materials as well as local materials usage and its reuse in order to adjust the economy of the constructions, the dissemination as an essential tool for heritage conservation and the need to involve institutions in the commitment to its preservation, are highlighted. Two major interventions have been undertaken at the Former Hospital, in 1984-1986 its comprehensive rehabilitation, and in 2006-2008, the walls restoration. In the first, among others, stone cleaning and the replacement of almost all decorative ceramics as well as some coatings were carried out on the façades; the second has included a new stone cleaning and the joint mortars were replaced almost entirely. The walls design consists of numerous and varied stone pieces, and a stone treatment is given by a rough surface finish and by carving cushioned blocks. Both aesthetical resources respond primarily to the preference of Palacios for showing the natural properties of the materials and to provide a quite regionalist character to the walls, as well as to the need for economic sanitizing of the construction.

The limestone much more used at the walls is a compact and light hue limestone that corresponds to the homogeneous (micritic limestone) and estromatolitic-oncolytic (bioesparita) facies of the lacustrine carbonates from the Miocene Upper Unit of the Tertiary continental basin located in the Southeast of the Community of Madrid. The ideology of the project, the geology of the region and the state of the quarrying areas as well as the communication roads were the major factors that determined its final selection. The documents of López-Urrutia (1926) and the found one related to the commercial promotion of Cornicabra' quarries around 1907 have enabled to establish in the natural area of Valhondo (Morata de Tajuña, Madrid) at least one old -historical-quarry working front. The facies studied were formed in a shallow lacustrine environment where the basin is rapid filled and significant changes took place on carbonate sediments due to water level fluctuations. The early stages diagenesis processes correspond to lagooning and subaerial exposure alternated periods. The limestone studied has very good quality because of its petrological properties, conditioned by the genetic environment and the diagenetic processes. Thereby, the limestone entails an aesthetically pleasing building material especially appropriated to withstand compression forces and to resist water action and the passing of time itself.

Palacios conceived the use of decorative ceramics (panels and mosaic tiles, both with enamels) to provide light and movement to the façades. The original ceramic panels were made with iron oxide-rich red clay and the replacement ones with more resistant pastes, by adding high quartz content, and lead content enamels is higher in the original pieces. Regarding the mosaic tiles, both the original and repaired were mainly made from calcium-rich pastes; the repair tiles were deliberately manufactured to be stronger than the original, primarily by adding more quartz and firing at higher temperatures in order to enhance the strength of the pastes; the enamels show a rather similar appearance, silicon and lead are the major elements and potassium and aluminum contents are significant. Related to structural ceramics, the inner fabric wall bricks were made from a mix of kaolinitic and calcitic clays with high iron oxide content and were prepared manually; the courtyards bricks were manufactured from calcium-rich pastes and with a technology that achieved high firing temperatures.

Artificial stone, joint mortars and coatings (limestone and granite imitation) are widely used at the walls of the Former Hospital. The employment of these materials was conceived by Palacios from the beginning of the project, mainly as modernity distinctive and/or as a precautionary measure to set *a priori* the economy of the construction. These materials are mainly composed of silica and/or calcitic aggregates, and gypsum (at original mortars, within joints), lime and/or cement as binders. The identification of belite, alite and/or gehlenite mineral phases has pointed out whether natural or artificial cement had been used.

Before the two stone cleaning operations undertaken (1984-1986 and 2006-2008), the façades colouring patterns displayed important contrasts, with "white areas" and "black areas". These patterns modified the original aesthetic appearance of the Former Hospital and involved the action of decay processes, mainly dissolution, soiling and sulfation-blackening. The intense dark color and homogeneous soiling degree the walls exhibited before the intervention of 1984-1986 were mainly due to the use of coal as the primary heating fuel in the vicinity of the property, to the proliferation of diesel engines in the city from the 70s, to the nearly 15 years the hospital had been abandoned and that no cleaning operation had ever been accomplished on the walls. Because of the significant improvement of air quality in Madrid from 1987, the change in the type of carbonaceous particles emitted and the cleaning carried out at the walls in the 80s, in 2006 the walls showed less intense darkening than in 1984 and its tone turns towards more yellowish-brown hue.

The arrangement or disposition of the façades regarding the urban layout, directly (parallel) or indirectly (diagonal), is the factor design that further determines the colouring patterns; the height promotes a lower degree of soiling and the exposure type (exposed or protected areas) influences especially in the soiling patterns variability, so they are more homogeneous and darker in protected areas. Exposed areas are heavily affected by façades disposition and indirect arrangement fosters to differential soiling, in this way, the colouring patterns result more heterogeneous. The design factors studied entails time constant variables and influence together on color distribution of the walls.

The proposed model points out if in 2006 limestone displays a tolerable aesthetic appearance stated from critical values of soiling, so its cleaning necessity is noted based on aesthetic criteria. Furthermore, the model states how long the limestone would take to reach again an aesthetic decay according to its location on the façades, the areas where the stone will require a greater protection, where the surfaces should not be cleaned or the period of time from which cleaning should be performed.

In limestone and joint mortar surfaces that showed an important soiling degree (aesthetic damage), sulfation black crusts were formed (physical and chemical decay). Joint mortars located at elevated areas displayed the development of microbial films. Colouring patterns of the walls are mainly due to the decay processes that occur on the limestone surface, more or less intense depending on the height and the degree of surface protection. A threshold lightness value below which aesthetic decay implies material damage to the surface of the limestone has been stated. The presence of particulate matter is the main cause responsible for surfaces soiling. Original joint mortars, made up from gypsum, and the sulfation of cement joint mortars are a major source of sulfur. The own building materials and sulfated black crust, the atmospheric aerosol and anthropogenic pollution, especially traffic and domestic heating generators, are the main emission sources of the accumulated surface deposits responsible for the re-blackening of the walls and concomitant loss of aesthetic value.

The accelerated aging test carried out has confirmed that sulfation processes bleaches limestone surface, due to the authigenic salts formed during the trials. The degree of SO₂ saturation of the atmosphere and the lower humidity on surfaces are the factors that accelerate sulfation to a greater extent. The presence of particulate matter promotes the surfaces sulfation, initially manifested by its yellowing (epigenic gypsum layer) and its progressive darkening as the particles are getting retained, thus the origin black crusts formation takes place. The quite abrasive ability of particles should be noted, as they accelerate surface granular disruption of the limestone. The water repellents evaluated are ineffective and not suitable in order to protect surface limestone against SO₂ action. Moreover, its application completely counterproductive must be highlighted, as they act as a film that retains moisture, creates a dynamic that fosters condensation processes and, therefore, the sulfation reactions.

The assessment of the cleaning systems has mainly attended to limestone physico-chemical decay (blackening) and, consequently, to the walls aesthetic damage (soiling). Alkaline gel-based based on sodium hydroxide system has been the most effective method. Although glass bead blasting has not provided the optimal chromatic results, the reached cleaning level is quite satisfactory and a more complete removal of the sulfation crust has been achieved. Glass bead blasting was also suitable, removing the crust without generating surface by-products, and has provoked minimal surface erosion. Taking into account the high quality and resistance of limestone as well as the concomitant risk of future build-up of potentially destructive sodium sulfates, wet bead blasting (torbo technique) with glass microspheres was recommended for the last stone cleaning performance.

The cleaning carried out between 2006-2008 period of time has removed stone soiling and blackening, so the building aesthetics has been enhanced. The two types of particles projected (glass microspheres and microparticles) were effective as they have yielded clean limestone surfaces. Microparticles projection has eliminated the sulfation crust completely, but surface erosion is provoked. The microspheres projection is particularly suitable as cleaned surface displays minimal erosion, although the sulfation crust has not been entirely removed.

CONCLUSIONS

- This study entails a commitment to the best knowledge, dissemination and preservation of building materials used in the Former Workers Hospital, protected property heritage and especially emblematic for the city of Madrid. The relationship of these materials with the thought of Palacios and with the building project ideology is hereby stated. The dissertation carried out opens a new research line that jointly responds to historical documentation and the interpretation of the information provided by the characterization techniques that have been employed.

- The genetic environment and diagenesis allow that the studied limestone assumes a very high quality building material especially suitable to shape construction elements set to withstand compression forces and with high resistance to decay agents. The consulted documents and the study of the historical quarry working front located, provide valuable information about the industrial heritage related to limestone quarrying at that time. By means of POM the limestone provenance in the Late Miocene lacustrine carbonates of the region tertiary basin has been confirmed.
- The type and composition of raw materials used for the production of decorative ceramics and referred in bibliography is largely confirmed. Besides, more information on the manufacture of these materials is provided. Data related to the characterization of artificial stone, joint mortars and coatings allow estimating accurately when they were laid on the building. In addition, as external joint mortars have been almost completely removed in the last intervention, the study carried out is a valuable document. The knowledge provided points out a criterion for establishing whether ceramics, artificial stone, mortars and coatings are original or not. Therefore, it would enable its new manufacturing if its replacement is necessary.
- Besides the light color and chemical composition of the limestone, the primary cause of façade soiling and blackening is the polluted urban environment where the building stands. The walls arrangement (disposition) and its design with numerous insets, the rusticated finish of stone surfaces and the passing of time itself must be also taken into account.
- The lightness parameter is very suitable to set the aesthetic perception of the walls. The soiling monitoring let to point out the areas where it would be more suitable to measure this parameter, to place sensors of the pollutants concentration and to state the aesthetical decay correspondence with the material damage on the limestone surface.
- Surface deposits and associated blackening on limestone and joint mortar surfaces contribute significantly to the darkening of the walls. They provoke an aesthetic damage (soiling) and involve a physical and chemical decay (material damage) as they involve the development of sulfated black crusts on surfaces. This fosters the growth of the crust and feedback the own sulfated process. Blackening processes are more intense at lower levels of the walls that display direct disposal, in both exposed and protected areas, but are particularly significant in the latter. In the commitment with the conservation of the walls and the decay reduction of limestone, in 2006 cleaning operations were necessary and the removal of joint mortars (not internal ones) was advisable. Both operations were based on aesthetic criteria and, above all, damages one.
- Limestone cleaning must be included at the preventive maintenance of the walls, wet glass microsphere blasting is advisable and periodic operations only in areas where it is necessary must be performed. The proposed model enables to determine the future development of the walls soiling. According to some critical values of soiling, when is needed to undertake stone cleaning based on aesthetic and/or damage criteria is stated by the model, in order to the achieve the preventive maintenance of the limestone and the walls.
- The studies provide a real example of how scientific methodology can contribute to a better preservation of the built heritage. The stone cleaning carried out between the years 2006 and 2008 reflects the awareness and sensitivity of the administration towards the conservation and the proper management of the Former Hospital. The involvement of the Community of Madrid regarding the scientific studies conducted previously should be highlighted. Thus, the most appropriate cleaning method was chosen by means of the scientific knowledge achieved.



SOBRE LA TESIS PRESENTADA

La Tesis Doctoral que se presenta aborda algunos de los muy numerosos aspectos que abarcan el estudio del patrimonio construido. El inmueble seleccionado es el Antiguo Hospital de Jornaleros de Maudes, construido por el arquitecto gallego Antonio Palacios Ramilo (1874-1945) entre los años 1909 y 1916 en las inmediaciones de la actual glorieta de Cuatro Caminos (Madrid). Los muros presentan una cara exterior de cantería en piedra caliza mayoritariamente, mostrando los paramentos un plano principal y diferentes planos de avance. Abandonado entre 1970 y 1984 y declarado Monumento Histórico Artístico en 1979, el inmueble alberga la actual sede de la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid.

El Antiguo Hospital fue objeto de su rehabilitación integral entre 1984-1986, intervención que resulta muy importante para los estudios planteados en la Tesis y que incluyó la limpieza de la caliza mediante la proyección de partículas. Con vistas a la restauración de los paramentos acometida entre los años 2006-2008, la Consejería solicitó al grupo de investigación *Petrología Aplicada para la Conservación del Patrimonio* del Instituto de Geociencias IGEO (CSIC-UCM), entonces Instituto de Geología Económica (CSIC-UCM), las actuaciones necesarias para su conservación así como la evaluación de diferentes sistemas de limpieza para la nueva intervención a efectuar. Los estudios realizados supusieron el origen de esta Tesis.

Son muchos los aspectos a considerar a la hora de plantear la restauración de un edificio histórico, que aportan un extenso conocimiento sobre el inmueble y sus materiales de construcción. De este modo, la Tesis se ha estructurado en cuatro partes o bloques, presentándose cada una con información referente a los temas a tratar y conteniendo cada parte diversos capítulos, que empiezan con un resumen que sintetiza su contenido. Los capítulos incluidos en los bloques II, III y IV se estructuran a modo de artículo científico, considerando introducción, objetivos, aspectos metodológicos, resultados, discusión y conclusiones. Debido a la estructura de la Tesis, las referencias bibliográficas se incluyen al final, agrupándose de forma conjunta para los bloques I, III y IV y separadamente para cada capítulo en el bloque II. Respecto a la metodología, incluye tanto la consulta de abundantes fuentes documentales como la utilización de técnicas analíticas ampliamente utilizadas en la caracterización de materiales utilizados en el patrimonio construido. Por un lado, de forma general se emplean la Espectrofotometría, Microscopía Óptica de Polarización (MOP), Difracción de Rayos X (DRX) y Microscopía Electrónica de Barrido con Espectroscopía de Energía Dispersiva de Rayos X (MEB-EDS) y, por otro, técnicas y/o ensayos utilizados de forma específica en algunos capítulos.

En 2006, el inmueble presentaba en general un buen estado de conservación. Sin embargo, debido principalmente a la composición y tonalidad clara de la caliza así como a su localización en un entorno urbano con importantes niveles de contaminación atmosférica, en numerosas zonas la piedra mostraba un importante grado de oscurecimiento, correspondiente principalmente con los procesos de sulfatación y/o ensuciamiento que experimenta su superficie, con la consiguiente formación de costras negras de sulfatación. El aspecto de los paramentos suponía una considerable pérdida en el valor estético del inmueble (deterioro estético), resultando además un agente de deterioro físico-químico (daño material), de ahí la necesidad de una nueva limpieza.

Ciertamente, son numerosos los temas tratados en la Tesis, pudiendo ser objeto algunos de los capítulos de una tesis individual. Muchos requieren sin duda de una mayor profundización, dejando la puerta abierta a seguir investigando y a nuevas líneas de investigación. Se considera que la Tesis resulta novedosa en cuanto a su enfoque y estructura así como respecto a algunos de los temas planteados, quedando patente la estrecha relación que guardan muchos de los aspectos abordados. De este modo, analizar de forma conjunta diversas temáticas relacionadas con los materiales empleados en la construcción de inmuebles patrimoniales posibilita su mejor conocimiento y, por tanto, efectuar actuaciones que apuesten por su conservación.

Objetivo de la Tesis

Planteada como un estudio integral, el objetivo general de la Tesis es el estudio de los principales materiales empleados en la construcción del Antiguo Hospital como estrategia para la difusión y conservación del inmueble. Este estudio incluye principalmente la caracterización de los materiales así como el análisis de su deterioro y de las estrategias más adecuadas para su mantenimiento preventivo.

Los objetivos perseguidos en la primera parte son la presentación de la obra y pensamiento de Palacios; del Antiguo Hospital atendiendo especialmente a las intervenciones en sus materiales; y el análisis del diseño de los paramentos así como del tratamiento otorgado a las superficies pétreas. En la segunda parte, los objetivos son el estudio de la caliza (y de sus canteras de procedencia), de los materiales cerámicos (cerámicas decorativas y estructurales) así como de los morteros (de revestimiento y de junta o fábrica) y la piedra artificial, observando el aspecto que mostraban en los paramentos en el año 2006. Con las técnicas de caracterización empleadas se pretende, entre otros, conocer la tecnología de fabricación de los diversos materiales cerámicos (originales y de sustitución) así como identificar diferentes tipologías de piedra artificial y de morteros.

El objetivo general de la tercera parte de la Tesis consiste en analizar el deterioro de los paramentos y de la piedra caliza. Para ello se abordan cuatro objetivos principales:

- Analizar el entorno ambiental durante los 20 años transcurridos entre las dos intervenciones realizadas.
- Evaluar la influencia de diversos factores de diseño en los patrones de color que en el año 2006 mostraban las fachadas, confeccionando un modelo que principalmente permite la monitorización del ensuciamiento.
- Analizar el daño material de la caliza y morteros de fábrica así como establecer la correspondencia entre el deterioro estético de los paramentos y físico-químico de la caliza.
- Analizar la resistencia de la caliza a la deposición seca de SO_2 en presencia de humedad efectuando ensayos de envejecimiento acelerado, contemplando diversas variables así como la aplicación de hidrofugantes.

En la cuarta parte se abordan aspectos de conservación centrados en la operación de limpieza acometida en los paramentos entre 2006-2008, planteando una metodología que permite evaluar sistemas de limpieza de modo se seleccione el más efectivo e idóneo para la caliza objeto de estudio, apostando por una intervención en base a criterios estéticos y de daños, analizándose en el capítulo final los resultados alcanzados después de la limpieza.

Pensando en el mantenimiento preventivo del Antiguo Hospital u otros inmuebles patrimoniales configurados con piedra caliza de tonalidad clara ubicados en entornos urbanos contaminados y/o en los que vayan a acometerse operaciones de limpieza, pueden trasladarse los estudios referentes a la monitorización del ensuciamiento, a la comparativa entre el deterioro estético y el daño material (de modo que las operaciones de limpieza se efectúen en base a criterios estéticos y de daños), a la metodología para establecer previamente la efectividad e idoneidad de sistemas de limpieza, a la necesidad de evaluar la resistencia a la acción del SO_2 de tratamientos de hidrofugación antes de ser aplicados y/o a los resultados alcanzados tras la limpieza efectuada.

La realización de esta Tesis ha supuesto un privilegio, pues ha permitido acercarse desde los materiales de construcción a un inmueble excepcional. Además, ha posibilitado, por un lado, el conocimiento de muy diversos aspectos relacionados con la caracterización de materiales pétreos y cerámicos así como con el deterioro y conservación de materiales de composición carbonática en entornos urbanos contaminados. Por otro, la consulta de abundante documentación, gráfica y escrita así como información obtenida de primera mano a partir de las conversaciones mantenidas con numerosas personas relacionadas de una u otra manera con el Antiguo Hospital.

SOBRE LOS ASPECTOS METODOLÓGICOS

La metodología seguida en la Tesis principalmente ha incluido, por un lado, la consulta de numerosas fuentes documentales y referencias bibliográficas sobre las diversas temáticas abordadas en cada uno de los capítulos y, por otro, la utilización de técnicas de caracterización muy utilizadas en el estudio de materiales que configuran el patrimonio construido (figura 1). En este apartado se atiende a las especificaciones generales de las técnicas que se han empleado en más de un capítulo; la información referente a otras técnicas y/o ensayos que únicamente se hayan empleado en un capítulo es incluida en el mismo. Datos sobre la localización, número, tamaño y tipología de las muestras, sobre cómo se han efectuado las medidas u otro tipo de información se indica en cada capítulo.

Los estudios realizados, que incluyen trabajos *in situ* y en laboratorio, han partido de la inspección visual de los paramentos, laboratorio de experimentación real cuya observación detallada aporta información esencial a considerar. Las zonas de muestreo han sido cuidadosamente seleccionadas, reduciendo al mínimo las muestras tomadas en la medida de lo posible (Crumbie 2001) y las técnicas empleadas presentan la ventaja fundamental de aportar abundante información con muy poca cantidad de muestra (García del Cura et al. 1996, Ortega y de la Torre 1996, Hughes y Cuthbert 2000, Sebastián 2003), aspectos importantes tratándose de materiales del patrimonio construido. La caracterización de los materiales ha incluido su descripción macroscópica, atendiendo a superficies frescas, y los resultados proporcionados por cada técnica se analizan conjuntamente.

Espectrofotometría

Los parámetros cromáticos definen objetiva y cuantitativamente el color de los materiales, incluyendo coordenadas e índices cromáticos (Fort 1996, Esbert et al. 1997). Se han seleccionado los parámetros cromáticos luminosidad de color (L^*), las coordenadas cromáticas a^* , b^* y C^* y el índice global de cambio de color (ΔE^*)¹, pertenecientes al espacio cromático o sistema de referencia CIE 1976 ($L^*a^*b^*$) o CIELAB (CIE 1978), e índices de amarillo y de blancura (IA e IB), según la norma ASTM E313:2010². Se ha empleado el espectrofotómetro CM-2002 de Minolta y el software Colour Data CM-1, seleccionando el iluminante estándar de la CIE D₆₅, un ángulo de visión o ángulo del observador de 10° y un patrón blanco de referencia. Las medidas de laboratorio se han efectuado en el Laboratorio de Petrofísica del IGEO (CSIC-UCM).

Tabla 1. Parámetros cromáticos determinados, definición y rangos.

| Parámetros | Definición | Rangos |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Luminosidad o value (L^*) | Luminosidad, brillo u oscuridad del color. Cuantifica la cantidad de estímulo luminoso que recibe el observador. | $L^* = 0$ (negro) $L^* = 100$ (blanco) |
| Coordenada cromática a^* | Saturación del color hacia el rojo (a^*) y el verde ($-a^*$) | a^* (de 0 a 60) = componente rojo a^* (de 0 a -60) = componente verde |
| Coordenada cromática b^* | Saturación del color hacia el amarillo (b^*) y el azul ($-b^*$) | b^* (de 0 a 60) = componente amarillo b^* (de 0 a -60) = componente azul |
| Croma (C^*) | Profundidad, viveza, pureza o saturación del color. Determina el grado de separación entre el color puro y el color gris o acromático. | $C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$ |
| Índice de blancura (IB) | Grado de blanco | IB = -100 (amarillo) IB = +100 (blanco ideal) |
| Índice de amarillo (IA) | Grado en el que una superficie difiere del blanco ideal en la dirección del amarillo. Cuanto mayor es la diferencia, más alto es el valor del índice. Un índice negativo, indica una diferencia hacia el azul. | IA = -100 (azul) IA = +100 (amarillo) IA = 0 (blanco ideal) |
| Índice global de cambio de color (ΔE^*) | Diferencia total de color de una superficie respecto a otra tomada de referencia | $\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$ |

¹ Se ha considerado $\Delta E^* = 3$ unidades CIELAB como límite de perceptibilidad del ojo humano, según indican algunos autores, como Berns (2000).

² L^* e IB están directamente relacionados, IA está inversamente relacionado con IB y a su vez directamente relacionado con b^* .

Para analizar las variaciones cromáticas en fachadas debido a procesos de ensuciamiento se utiliza principalmente el sistema CIELAB (CIE 1976), al suponer una buena representación de la sensibilidad humana al color (Grossi et al. 2003). Además, la determinación de la modificación cromática en superficies debido a procesos de sulfatación resulta muy útil en piedras monocromáticas. Las medidas se han efectuado en laboratorio en la zona interna de los materiales (capítulos 4, 5 y 6), en la superficie de la caliza en los paramentos (capítulos 8, 11 y 12) y en la superficie de probetas de caliza en laboratorio (capítulo 10).

Microscopía Óptica de Polarización con luz transmitida (MOP)

La caracterización petrográfica de la caliza (capítulo 4) se ha efectuado conforme a la norma UNE-EN 12407:2001, incluyéndose el análisis petrográfico en el alcance de la certificación del Sistema de la Gestión de Calidad bajo la Norma UNE-EN-ISO 9001:2008 (ER-0346/2008) implantado en el Laboratorio de Petrofísica del IGEO (CSIC-UCM) y emitido por AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación). Los aspectos incluidos en esta norma en parte se han seguido para la descripción petrográfica de los materiales cerámicos (capítulo 5), piedra artificial y morteros (capítulo 6). Se ha empleado esta técnica también para atender a las costras de sulfatación desarrolladas sobre la caliza y morteros de junta así como el biofilm sobre estos morteros (capítulo 9). Se ha empleado el microscopio de polarización Olympus BX51 con cámara digital acoplada Olympus DP12, ubicado en el Departamento de Petrología y Geoquímica de la Facultad de Ciencias Geológicas de la UCM, observando las muestras con nícoles paralelos y cruzados.

Se han confeccionado láminas delgadas (30 μm de espesor) según la metodología seguida por el laboratorio de preparación del citado departamento, de acuerdo a las técnicas de preparación propuestas por Humphries (1992) y Ques y Tritlla (1997). Debido al pequeño tamaño de algunas muestras, ha sido necesario su embutido de modo puedan ser manipuladas. Para la caracterización petrográfica efectuada en los capítulos 4, 5 y 6 las láminas se han teñido parcialmente con la tinción elaborada a base de rojo de alizarina y ferricianuro potásico, Friedman 1959, Lindholm y Finkelman 1972). Así, se han podido identificar la presencia de calcita en las muestras, bien en los componentes aloquímicos y ortoquímicos de la caliza, en la matriz arcillosa o ligante de la piedra artificial y morteros así como constituyente de los áridos en cerámicas y materiales pétreos artificiales.

Difracción de Rayos X (DRX)

El difractómetro de polvo constituye el método difractométrico más utilizado en la actualidad. La técnica permite la identificación de fases minerales, requiere la pulverización de la muestra, que tenga una estructura cristalina y que la mineralogía a identificar se encuentre en una proporción superior al 5% en la fracción analizada (Lindholm 1987). Se ha empleado el equipo PW-1752 de Phillips operado a 40kV y 30 mA, con tubo de ánodo de cobre, monocromador de grafito y software PC-APD[Q1] (Automated Power Diffraction), de la Unidad Técnica de Caracterización Física y Química de Materiales y Modelo Análogo del Instituto de Geociencias IGEO (CSIC-UCM). Las medidas han sido realizadas en un rango entre 2 y 68° con un intervalo de 2°/min en modo continuo. Para la identificación de los minerales se ha utilizado el software analítico Diffract AT, versión EVA V 3.2, disponible en el Centro de Asistencia a la Investigación de la Facultad de Ciencias Geológicas de la UCM.

Mediante esta técnica se han identificado las fases minerales presentes en las pastas de los materiales cerámicos (capítulo 4) y en los ligantes de los materiales artificiales (capítulo 5) así como la mineralogía constituyente de la materia particulada depositada en la superficie de los paramentos (capítulo 9) y de los productos de alteración generados sobre las probetas durante el ensayo de SO₂ (capítulo 10). En los capítulos 6, 9 y 10 se ha unificado la escala vertical de los difractogramas. Se ha considerado la fracción polvo de muestra total, mediante su pulverizado en mortero de ágata.

Microscopía Electrónica de Barrido con Espectroscopía de Energía Dispersiva de Rayos X (MEB-EDS)

Cuando un haz de electrones incide sobre una muestra se generan a su vez diferentes tipos de electrones. Los electrones secundarios (SE) permiten atender principalmente a su morfología externa y la información aportada por los electrones retrodispersados (RE) responde a una escala de grises, que es función del número atómico de los elementos químicos existentes en la muestra (cuanto menor sea más oscura es la imagen). Se genera además una radiación X cuya energía dispersiva asociada es característica de cada elemento químico.

Se ha empleado el microscopio electrónico de barrido JSM 6400 de Jeol, con un voltaje de aceleración de 0.2 a 40 kV, una intensidad de corriente de 6×10^{-10} A, unas condiciones de vacío de 10^{-5} Torr, 35 Å de resolución y una distancia de trabajo de 8 mm y 35 kv. Las imágenes han sido adquiridas a una aceleración de voltaje de 20 kV. Se ha utilizado un microanalizador de energía dispersiva de Rayos X de Oxford Inca, con una resolución nominal de 133 eV a 5.39 kV y un tiempo de análisis de 1,5 min. Mediante la determinación de la Energía Dispersiva de Rayos X, el microanalizador acoplado permite establecer cualitativa y semicuantitativamente la composición química elemental de la muestra analizada, efectuando análisis zonales o puntuales, así como la distribución lineal de elementos y mapas de distribución elemental. Las muestras se han evaporado con grafito para hacerlas conductoras, teniendo en cuenta que los picos de azufre y oro coinciden en los espectros de Rayos X (Díaz-Pache et al. 1996), empleando el equipo Med 010 de Balzers. El equipamiento utilizado se ubica en el Centro Nacional de Microscopía Electrónica de la UCM. Se han observado en mayoritariamente fragmentos (vistos en planta o en perfil) en modo electrones secundarios (ES), observándose también láminas delgadas pulidas (capítulo 6) y secciones transversales (capítulo 9) en modo electrones retrodispersados (ER).

Cromatografía Iónica

La técnica permite la determinación cualitativa y cuantitativa del contenido iónico soluble (aniones y cationes), posibilitando detectar la existencia de iones presentes en muy pequeña proporción. Los aniones y cationes son identificados en función de su tamaño y de su conductividad eléctrica. Las muestras a analizar se han disuelto en agua ultrapura (obtenida mediante el purificador Mili-Q de Millipore) según una proporción de 0,1 gr/10 ml, colocándose las disoluciones en la bañera de ultrasonidos Ultrasounds-H de Selecta durante 45 min y con el agua a 60°C, para la completa dispersión de las muestras. A continuación, las muestras se han introducido en la centrifugadora Thermo Labofuge 400 de Heareaus durante 2 min y a 3.500 rev/min para conseguir la total separación de los iones a analizar del residuo sólido. El agua con los iones a analizar se ha pasado por las columnas del cromatógrafo 761 Compact IC de Metrohm. El equipamiento utilizado se ubica en el Laboratorio de Petrofísica del IGEO (CSIC-UCM), incluyéndose la determinación mediante Cromatografía Iónica del contenido iónico en el alcance de la certificación del Sistema de la Gestión de Calidad bajo la Norma UNE-EN-ISO 9001:2008 (ER-0346/2008) implantado en el laboratorio y emitido por AENOR.

En los cromatogramas se definen una serie de picos o bandas, que se corresponden con el tiempo en el que cada uno de los aniones y/o cationes a identificar permanecen en la columna correspondiente (tiempos de elución), el cual es función principalmente de su tamaño y conductividad eléctrica. Se han seleccionado los iones solubles constituyentes de las sales que suelen cristalizar en materiales carbonáticos así como de las sales solubles generadas por la reacción de estos materiales con la contaminación atmosférica y que pueden provocar un importante deterioro en los materiales. De este modo, los aniones analizados han sido cloruros, nitratos y sulfatos y, los cationes el sodio, potasio y calcio. Mediante cromatografía de iones se ha analizado la materia particulada depositada en superficies horizontales de los paramentos (capítulo 9) y el agua lixiviada artificialmente por la superficie de la caliza en donde han sido ensayados in situ los sistemas de limpieza evaluados (capítulo 11).

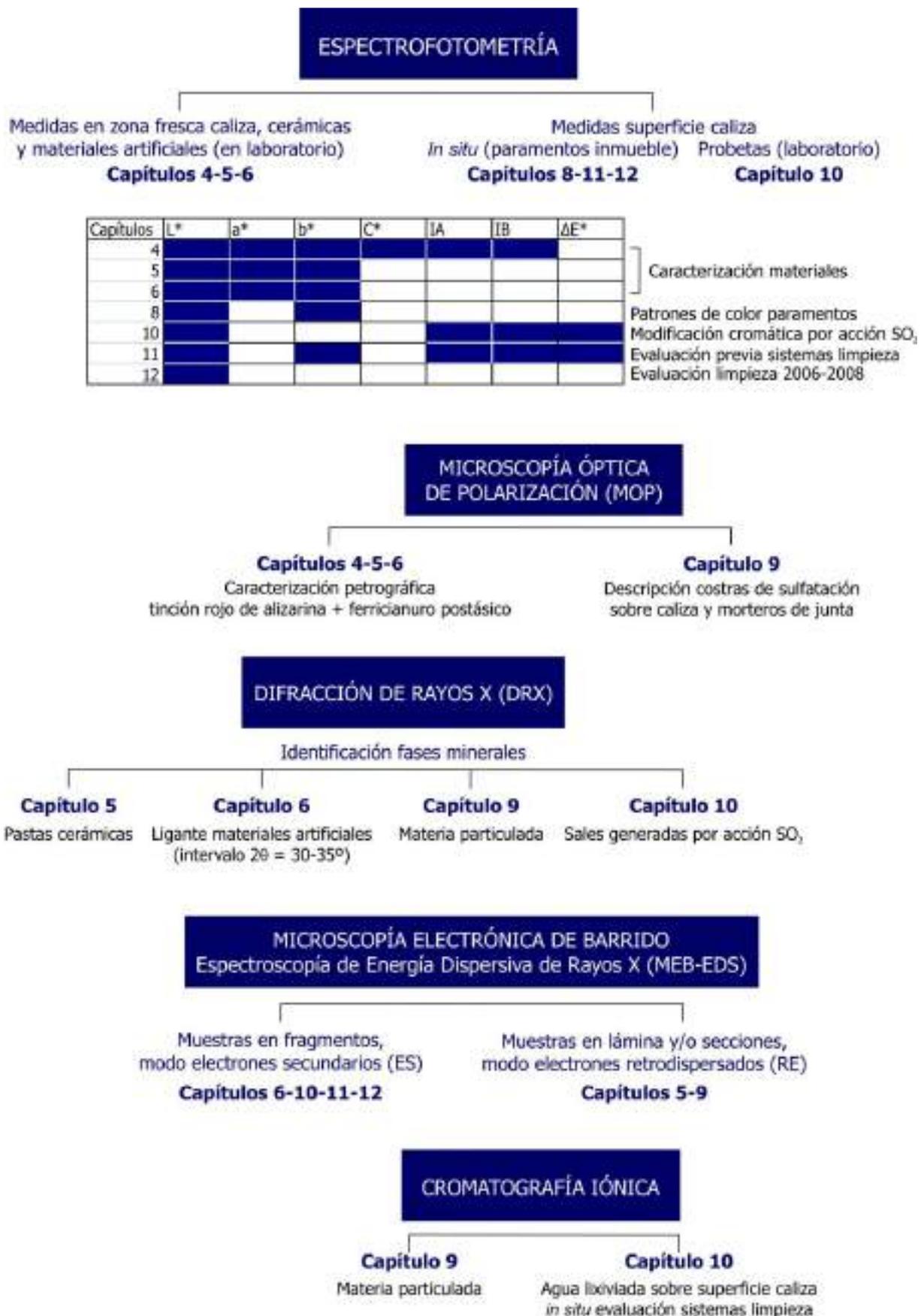


Fig.1. Síntesis de la metodología seguida referente a las principales técnicas de caracterización empleadas.

ANTONIO PALACIOS Y EL HOSPITAL DE JORNALEROS EN LA DIFUSIÓN Y CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO

Cuando se aborda el estudio de los materiales de construcción utilizados en un inmueble patrimonial en el que se va intervenir, conocer la ideología y pensamiento del artífice de la obra y contextualizarlo en su momento histórico así como los aspectos históricos y constructivos, ayuda al mejor entendimiento de la construcción en su conjunto, constituyendo un documento de inestimable valor que permitirá una intervención más respetuosa (De Angelis d'Ossat 1978, Buti y Galiani 1983, Álvarez de Buergo y González-Limón 2000, Esbert 2003). En la obra del arquitecto gallego Antonio Palacios, la utilización de las propiedades intrínsecas de los materiales como recurso fundamental para otorgar máxima expresividad a los paramentos (González-Amezqueta 1967), su dualidad metropolitana y regionalista (Iglesias 2001) así como la apuesta por el conocimiento y conservación del legado cultural (Touza 1979), resultan de un interés excepcional para la Tesis que se presenta, otorgando de un significado y sentido muy especiales a su realización.

Palacios levanta el Hospital de Jornaleros de Maudes (1908-1916) cerca del segundo cinturón de Ronda, en las proximidades de la actual glorieta de Cuatro Caminos. Su construcción coincide en gran parte con la del Palacio de Comunicaciones (1904-1909), obra también de Palacios y que presenta numerosas similitudes con el hospital. Maudes supone un tránsito entre el refinamiento metropolitano y la rusticidad rural, mostrando aspectos de la búsqueda de una arquitectura pétreo regionalista de contenidos gallegos (De Castro 1986, Iglesias 2001). En este camino, la textura aportada por los materiales juega un papel esencial en el Hospital de Jornaleros, destacando el empleo de la piedra, la cerámica y diversos tipos de morteros así como la piedra artificial.

Entre los aspectos históricos, deben considerarse las etapas del edificio y las intervenciones efectuadas, que han afectado directamente a los materiales y han podido conllevar un cambio en la función original del inmueble. Los edificios son proyectados en una época determinada y para su conservación necesitan adaptarse a los cambios surgidos con el avance de la historia, siendo necesario frente a su abandono buscar nuevos usos. La voluntad de proporcionar a las instituciones administrativas la imagen de permanencia que sólo el tiempo otorga, ha llevado a la instalación de sus sedes en edificios históricos (Fernández-Galiano 1990). El Antiguo Hospital ha sido objeto principalmente de tres actuaciones, resultando la más significativa la rehabilitación integral y funcional acometida en los años 80, albergando desde entonces diversas consejerías de la Comunidad de Madrid. Si bien un buen edificio puede valer para casi todo y el buen comportamiento de las construcciones de Palacios ha permitido su aprovechamiento para nuevos usos (Armero 2001), la función administrativa que el Antiguo Hospital desempeña en la actualidad obliga a la realización de reestructuraciones internas para mejorar su funcionalidad.

Respecto a los aspectos constructivos, la lectura de los paramentos supone también un instrumento de gran utilidad para la intervención a realizar (Esbert 2003), siendo necesario que los estudios previos incluyan la realidad material del inmueble (Sebastián 2007). Además de suponer el mejor conocimiento y valoración del bien a intervenir, esta lectura aporta información sobre las técnicas constructivas y herramientas empleadas. A lo largo de la Tesis, por paramentos se consideran tanto las fachadas del edificio como los paños que conforman cada uno de los cuatro lienzos del muro que rodea el inmueble. De forma general, los paramentos están constituidos por un plano principal, formado principalmente por sillarejos y mampuestos, y varios planos de avance, conformados por sillares y piezas de morfologías diversas. La variabilidad de formas y tamaños de las numerosas piezas pétreas, permiten el perfecto acoplamiento del diseño de las fachadas y muro perimetral.

Dada la materialidad pétreo del Antiguo Hospital, se considera esencial atender, por un lado, a la rusticidad de los paramentos, conseguida mediante el acabado rugoso de la superficie pétreo y realzada, en numerosas ocasiones, con el almohadillado total o parcial de las piezas. Por otro lado, la combinación de diversas juntas de cantería otorga de máxima expresividad a los paramentos del inmueble objeto de estudio.

El Hospital de Jornaleros de Maudes se levanta en una zona bastante despoblada de construcciones, conservándose su perfil en la imagen de la ciudad (Fernández-Galiano 1990). Vestigio de otra época y de un concepto diferente del tiempo, el Antiguo Hospital desprende todavía mucha serenidad y se mantiene ajeno al mundo que hoy en día le rodea, el cual le confiere una atmósfera extraña (Fullaondo 1986, Perea 1986, Vélez 1990, Armero 2001).

Palacios dedica especial importancia a la funcionalidad de sus obras (Touza 1979), pensando siempre en el público que iba a utilizar sus construcciones y con una enorme sensibilidad a la ciudad (Armero 2001). Para el arquitecto, la concepción del papel de las funciones podía perfectamente condicionar el proyecto (González-Amezqueta 1967). Consideraba que *la imagen de un edificio no podía vincularse al sentir efímero de la moda* (Arrechea 1996) y lamentaba cómo entonces se proyectaba (Fernández-Shaw 1946). Creía en una arquitectura permanente (Iglesias 2001), convencido de que nuestro pasado sigue siendo nuestro futuro (Fernández-Alba 2001). Indica Palacios en la memoria del proyecto para la Iglesia de la Encarnación en Celanova (1918, Ourense):

Pero yo expondré mi criterio sobre el particular, que se reduce a imitar el proceder de nuestros antepasados.

Ellos pensaban una obra, la intentaban con el más alto criterio del que eran capaces, después la elevaban lentamente, como una oración, sin las precipitaciones de la época actual, en que se prefiere terminar pronto, aún cuando sea de cualquier manera; sin pensar que, menos para nosotros, construimos siempre para futuras generaciones venideras; así como nosotros gozamos de los grandiosos monumentos que nos legaron.



Antonio Palacios Ramilo (O Porriño, Pontevedra 1874 - El Plantío, Madrid 1945).

CAPÍTULO 1. PENSAMIENTO Y MATERIALES PÉTREOS EN LA OBRA DE ANTONIO PALACIOS

Entre la bibliografía consultada para localizar referencias sobre los materiales pétreos utilizados en las construcciones de Antonio Palacios, se ha encontrado que su obra está muy relacionada con la geología y con la filosofía que esta Tesis Doctoral pretende transmitir. Por un lado, la utilización de las propiedades intrínsecas de los materiales para otorgar textura y movimiento a los paramentos, la primacía por el empleo de los materiales locales así como por su reutilización para el saneo económico de las obras, y la consideración de los entornos. Por otro lado, su pensamiento ya entonces apuntaba hacia temas que actualmente siguen preocupando a los profesionales dedicados a la conservación del patrimonio, como la defensa de la tradición y oficios artesanales, la protección de las arquitecturas vernáculas, la difusión como medida esencial para preservar la cultura heredada, así como la necesidad de implicar a las instituciones para que velen por su salvaguarda y conservación.

A partir de la Tesis Doctoral realizada por Adolfo González-Amezqueta sobre la arquitectura de Antonio Palacios, con la publicación de un monográfico especial en la revista *Arquitectura* el año 1967, y la exposición organizada por el Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid en 1968, diversos autores han profundizado en algunos de los temas tratados por González-Amezqueta. Las exposiciones celebradas en Santiago de Compostela (1991), organizada por el Colegio Oficial de Arquitectos de Galicia, así como aquella itinerante que recorrió A Coruña (1999), coordinada por la Xunta de Galicia, y Madrid, celebradas en la Casa de Galicia (1999) y en el Círculo de Bellas Artes (2001), contribuyeron al mayor conocimiento de las construcciones de Palacios.

No obstante, tanto a nivel nacional como internacional, el pensamiento y obra de Palacios siguen siendo actualmente bastante desconocidos. Sin olvidar la crítica que recibió y hoy en día sigue recibiendo este insigne arquitecto, principalmente por construir como si de un cantero medieval se tratase y por no amoldarse a los materiales y técnicas constructivas que exigía la arquitectura de su época, el interés geológico de su obra resulta excepcional. Este primer capítulo pretende ser un pequeño homenaje al arquitecto, cuya obra tanto debe a la geología y tan relacionada está con la misma, además de considerarse esencial para el mejor enfoque y entendimiento de la Tesis presentada. Como apuesta por el conocimiento, difusión y conservación de los materiales de construcción empleados en la obra de Antonio Palacios, se considera esencial la información presentada a continuación, la cual remite a un patrimonio natural e industrial que igualmente merece ser conocido y conservado.



**Tomado de Antonio Palacios, constructor de Madrid 2001.
Archivo General de la Administración**

Palacios en la azotea del edificio donde se alojaba su estudio de la calle Cedaceros en Madrid, hacia 1930. En segundo plano, el Círculo de Bellas Artes y, al fondo, el Palacio de Comunicaciones.

1.1. SOBRE ANTONIO PALACIOS RAMILO

Antonio Palacios Ramilo nació en O Porriño (Pontevedra) el 8 de enero de 1874, hijo de Isidro Palacios García y Teruel y de Jesusa Ramilo de Nieves, siendo el menor de siete hermanos. Su padre, natural de Madrid, fue trasladado a Galicia para trabajar en las obras del ferrocarril y su familia materna era propietaria de unas canteras en O Porriño. Desde niño, estuvo familiarizado con la construcción y con el granito de las canteras de Atios y Budiño (O Porriño), que tan decisivamente influirán en toda su obra (Palacios 1925 en *Vida Gallega*). Debido a su gran capacidad para el dibujo pensó en dedicarse a la pintura, aunque finalmente estudia arquitectura en Madrid. Aquí se nutre de las corrientes de Viollet-le Duc y Ruskin, recibe la influencia de profesores con experiencia en restauración de edificios históricos, como Ricardo Velázquez Bosco, Vicente Lampérez o Anibal Álvarez, y se forma en las corrientes eclécticas e historicistas que a principios del siglo XX intentaban cultivar un estilo nacional (González-Amezqueta 1967, Gutiérrez-Burón 1988, Iglesias 2001).

Su primer proyecto en Madrid fue el Palacio de Comunicaciones, donde trabajó con su amigo y socio el arquitecto donostiarra Joaquín Otamendi Machimbarrena. Sorprende la fecundidad arquitectónica de Palacios durante el periodo comprendido entre 1904 y 1918, efectuando numerosas obras tanto en Madrid como en Galicia (tablas 1.1 y 1.2). En Madrid están sus construcciones más conocidas, el Palacio de Comunicaciones, el Hospital de Jornaleros, el Banco del Río de la Plata y el Círculo de Bellas Artes, presentando su obra gallega ejemplos considerablemente significativos, como el Ayuntamiento de O Porriño, el Templo Votivo del Mar o la Iglesia de la Veracruz. La vocación metropolitana y regionalista del arquitecto, que puede resultar en principio algo contradictoria (Iglesias 2001), establece las dos etapas en su obra. Aunque su etapa regionalista tiene lugar a partir de los años veinte, retorna a sus orígenes desde el principio de su actividad profesional (Rey 1991).

Fue profesor en la Escuela de Arquitectura de Madrid, recibió innumerables reconocimientos, desempeñó numerosos cargos y también construyó en las provincias del País Vasco, Jaén, Albacete, Valladolid, Ávila y Málaga. Fue el gran constructor de Madrid, transformando la imagen de la ciudad castiza hacia la nueva dimensión arquitectónica y urbana que demandaba a principios del siglo XX (Fernández-Muñoz 2003). Palacios aspiraba que la nueva ciudad se identificara en sus construcciones y que éstas permanecieran en la memoria urbana (Landeró 2001, Iglesias 2001, Rioyo 2001).

Antonio Palacios fue una persona sencilla, amable y religiosa (Touza 1980), con gran capacidad imaginativa y vitalidad (De Castro 1991, Otero-Cerdeira 2004). Su forma de trabajar era desordenada, individualista e improvisada, nunca tuvo apego al dinero, llegando a trabajar desinteresadamente en algunos de sus proyectos gallegos (González-Amezqueta 1967, Iglesias 2001). Su sencillez y generosidad chocan con los adjetivos que en ocasiones han calificado su obra, con frecuencia descrita como brutalista, monumentalista, grandilocuente y desproporcionada (González-Amezqueta 1967, De Castro 1986, Rey 1991), tanto por sus concepciones arquitectónicas como por el tratamiento que otorgaba a los materiales de construcción. Sin embargo, Palacios fue muy consciente de las circunstancias reales en las que se tuvo que desenvolver su arquitectura (González-Amezqueta 1967) y nunca dejó de prestar atención a los nuevos recursos tecnológicos (Urrutia 1997).

Tachado de megalómano, desmesurado y denostado en algunos círculos arquitectónicos, vivió sus últimos años en su modesta casa de El Plantío en Madrid, cercana al apeadero de tren que le llevaba a su Galicia natal (Arévalo-Cartagena 2001). En esta casa murió el 27 de octubre de 1945, sin descendencia, casi ciego y olvidado, acompañado por su esposa Adela Ramírez, malagueña que conoció en su etapa de estudiante y que murió pocas semanas después que él (Fernández-Shaw 1946). Fue enterrado en la Sacramental de San Lorenzo de El Escorial y el 30 de octubre 1976 sus restos fueron trasladados a O Porriño.

1.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE SU OBRA

1.2.1. Tradición y modernidad

A pesar de contextualizarse en la arquitectura moderna, la obra de Palacios no es catalogada propiamente como tal, siendo incluso difícil de clasificar (Chueca 2001). Se cuestiona al “moderno” Antonio Palacios (Arrechea 1996), Zuazo se refería a la “manera” de Palacios (González-Amezqueta 1967), se habla del “estilo” Palacios (De Castro 1991) y, de acuerdo a la historiografía de Palacios, su obra resulta marginal y anacrónica (Baldellou 2001). El arquitecto fue duramente atacado, tachado de antiguo por los círculos arquitectónicos y desplazado de las nuevas ideas del movimiento moderno que por entonces asomaban. Fue muy criticado por no afrontar las dificultades que en la época limitaban el desarrollo de la arquitectura hacia la modernidad (González-Amezqueta 1967, Armero 2001), y por quedar ajeno a la evolución arquitectónica propia del momento (Rey 1991). Una de las premisas que caracterizará su obra, fundamentalmente en las construcciones que realiza en Madrid, será la búsqueda de una arquitectura que simultáneamente acoja tradición y modernidad (Arrechea 1996, Iglesias 2001, Rioyo 2001), aunando sus conocimientos de la arquitectura gallega y centroeuropea.

Cuando Palacios aparece en escena, el país vivía un momento de decadencia, revolución y caos generalizado, presentando el nivel arquitectónico nacional un panorama bastante desolador. Palacios inicia su obra con un fuerte empuje innovador, pero nunca estableció una arquitectura verdaderamente moderna, planteando únicamente una evolución en el terreno tradicional y con una técnica también tradicional (González-Amezqueta 1967). La situación económica y social del país por entonces, lejos de ofrecer una cultura tecnológica e industrializada (Otero-Cerdeira 2004), junto con la preocupación de Palacios por la artesanía y los oficios tradicionales, especialmente por la cantería (González-Amezqueta 1967), le lleva a definir un estilo basado en el proceso constructivo artesanal y a exponer la piedra directamente (Touza 1980, Armero 2001).

1.2.2. Materialidad pétre

La obra de Palacios destaca por su concepción material, buscando el sentido de la naturaleza de los materiales. Mediante su manejo limpio y cuidado, éstos son expuestos directamente, prescindiendo de estucos y enlucidos. Con la apropiada combinación de los materiales, jugando con sus posibilidades intrínsecas, consigue la riqueza y expresividad de las fachadas¹ (González-Amezqueta 1967). Para el arquitecto, la piedra era esencial para reconocer la grandiosidad de un edificio², defendiendo el empleo de los materiales locales como apuesta por la identidad de los lugares donde construía, y su reutilización para sanear la economía de las obras (Touza 1979). Así, indica que *la obra debe representar el oficio y materiales de la comarca*³, y que *el manejo de la piedra en su proceso más artesanal, la piedra tosca, será de cualquier dimensión, color y procedencia, con lo cual se pueden aprovechar materiales de derribos, que, en su conjunto, darán un carácter más expresivo a la construcción, consiguiendo, de paso, la máxima economía deseada*⁴.

¹ También otorga expresividad a la cerámica y a nuevos materiales como el hierro y el vidrio (Urrutia 1997). Fue uno de los primeros arquitectos españoles en utilizar el pavés, en el Banco Mercantil e Industrial (1935-1943) o en el Templo Votivo del Mar (1932-1937), nº19 de la figura 1.2.

² Palacios fue gran conocedor de la estereotomía o técnica de corte en piedra (Fernández-Alba 2001, Otero-Cerdeira 2004). En el artículo: Del Pórtico de la Gloria, notas para su estudio estereotómico (Palacios 1927 en *Faro de Vigo*) indica que el maestro Mateo seleccionó el granito para otorgar monumentalidad al Pórtico, cómo dimensionó y colocó las piezas según las características del granito de grano grueso del que disponía, bastante deleznable, camuflando las juntas para que en la zona inferior los elementos parecieran monolitos, y refiriéndose al buen estado de conservación del Pórtico pese al paso del tiempo y deterioro por la humedad y el desgaste, salvándose de inexpertas restauraciones.

³ En Otero-Cerdeira (2004), refiriéndose Palacios a la iglesia de la Veracruz, O Carballino (Ourense).

⁴ Carta de Palacios al párroco de Panxón (Pontevedra). En ocasiones, sobre todo en su obra gallega, Palacios primaba la reutilización de los materiales para conseguir las texturas deseadas y el saneo económico de las construcciones en detrimento de su selección. Por este motivo fue también criticado, pues conocida era la cuidada selección de los materiales practicada por importantes arquitectos de finales del XIX, como el Marqués de Cubas o Fernando Arbós (Varas et al. 2003). La insistencia de Palacios por la reutilización de materiales, en parte puede deberse a la concepción megalómana de sus obras, viéndose tal vez obligado a reaprovechar al máximo los materiales para poder finalizarlas.

Una de las principales preocupaciones del arquitecto, fundamentalmente en su obra gallega, fue el lenguaje de la piedra en bruto, sin desbastar ni ornamentar. Pretendió sacar el máximo partido expresivo de la presentación directa de la piedra, unificando sus construcciones mediante el empleo de un único material (González-Amezqueta 1967). Su arquitectura introduce la grandiosidad de la rudeza basada en grandes masas de piedra (Touza 1979), destacando, como buen gallego, su predilección por el granito. Así, la cantería granítica será un elemento definidor en su obra (Rey 1991), posiblemente por la familiaridad que le suponían los granitos de las canteras de Atios y Budiño (González-Amezqueta 1967). Fue uno de los primeros en descubrir las cualidades del granito porriñés⁵, que no podía emplearse para ornamentación porque su elevada dureza impedía su fina labra.

No puede olvidarse el especial interés que mostró Palacios por la incorporación de la cerámica a sus obras, acompañado además por el apogeo en los primeros años del siglo XX de la cerámica aplicada a la arquitectura (Perla 2001), así como el empleo de la piedra artificial y morteros de revestimiento que imitaban la piedra natural, principalmente como impronta de modernidad y para abaratar costes. Si bien durante su primera etapa destacó por emplear el acero y el cristal, materiales que abandona paulatinamente, en sus últimas obras también experimenta con materiales nuevos para obtener la expresividad de las fachadas (González-Amezqueta 1967).

1.2.3. Atención al entorno

Otra de las características fundamentales en la obra de Palacios es la relación que establece con el entorno en el que se ubican sus construcciones, adaptándose al medio e incorporando algún detalle local (Armero 2001). Para Palacios, todo edificio necesita considerar el entorno en el que se circunscribe (González-Amezqueta 1967), bien participando en la configuración arquitectónica de la ciudad, bien integrando la construcción con la naturaleza en las zonas rurales (Touza 1980). Precisamente, esta atención al entorno explica la dualidad entre la vocación metropolitana y regionalista del arquitecto (Iglesias 2001).

Aunque durante toda su vida nunca interrumpió su vinculación con Galicia (Rey 1991), la primera etapa de Palacios responde más a sus aspiraciones cosmopolitas para la ciudad de Madrid (Iglesias 2001), influyendo notoriamente el entorno urbano en el denominado "estilo" Palacios (González-Amezqueta 1967). En su etapa gallega elige los emplazamientos más adecuados para la integración de la obra con el paisaje (González-Amezqueta 1967, Touza 1980), pues uno de sus principios era que *la arquitectura debía ser complemento del paisaje*⁶ (Landeró 2001). Directamente relacionado con la asimilación del paisaje a la construcción, Palacios justifica la búsqueda de expresividad, la presentación ruda de la piedra y la economía restrictiva en sus obras (González-Amezqueta 1967, Iglesias 2001).

En la memoria de los proyectos para el Banco Mercantil de Madrid y para la Banca Viñas de Aranda de Vigo, Palacios señala: *esta mampostería, ejecutada así no sólo para facilitar las soluciones económicas de la edificación sino para producir el debido efecto estético, por la energía y fortaleza que prestará a la construcción, la que por su singular emplazamiento habrá de ser contemplada siempre a grandes distancias. Por esto, cualquier fino elemento decorativo en estos muros exteriores será absolutamente inútil y aun contraproducente. Un recio paramento acusadamente almohadillado con las toscas piedras graníticas, colocadas allí tal como vengan de la cantera, ligeramente labradas, producirá en cambio un efecto expresivo máximo.*

⁵ Si bien este granito era utilizado principalmente a principios del siglo XX para cercar tierras y en sencillas construcciones, en la ciudad de Vigo había florecido su empleo en el seno de una emergente burguesía que anhelaba significarse socialmente a través de una solemne arquitectura pétrea (Iglesias 2001). Por otro lado, Palacios empleará el granito pulido en algunas de sus obras gallegas e incluso madrileñas. De hecho, fue precisamente en la columna estriada del Banco del Río de la Plata (1910-1918) donde se utiliza por primera vez en España el granito pulimentado (Fernández-Shaw 1946). Actualmente, el granito de O Porriño goza de una fama y reconocimiento internacionales (Sáinz 1995).

⁶ Puede notarse la clara influencia tradicionalista del que fuera su profesor Vicente Lampérez, que apostaba por el acercamiento de la arquitectura al lugar, al clima y a los materiales locales (Arrechea 1996).

1.2.4. Vinculación a la tierra: conservación y difusión del patrimonio cultural

Antonio Palacios fue un incansable viajero porque consideraba que la arquitectura debía conocerse en directo (Touza 1879). No parece probable que viajara a Norteamérica y se desconoce sus contactos con arquitectos extranjeros (González-Amezqueta 1967, Arévalo-Cartagena 2001). Visitó Inglaterra, Italia, Grecia y Egipto, pero sobre todo fue un gran conocedor de la arquitectura nacional, fundamentalmente la gallega (González-Amezqueta 1967). En su faceta regionalista, Palacios intentó establecer un diálogo con el paisaje, la geografía y con el pasado (Iglesias 2001).

Levantó una arquitectura arraigada al suelo, con caracteres propios de las costumbres gallegas y de sus prácticas constructivas (Touza 1980), que posibilitara la interpretación plástica de los valores tradicionales (Arrechea 1996). El acercamiento a su tierra natal le permitió enlazar con los deseos de una sociedad deseosa por recuperar sus signos de identidad (Iglesias 2001), investigando, divulgando y defendiendo la conservación de arquitecturas gallegas desconocidas⁷ (González-Amezqueta 1967). Potenció la cultura y el desarrollo turístico gallego mediante la difusión de su patrimonio arquitectónico monumental y popular, a través de numerosos artículos y conferencias⁸ (González-Amezqueta 1967). Formó parte de la Comisión Central de Monumentos Nacionales y consideró esencial la mejora de comunicaciones para la promoción del turismo en Galicia (Touza 1979). Asimismo, evidenció el escaso interés de las autoridades ante la degradación del patrimonio construido gallego y la insuficiente asignación económica que recibían las instituciones artísticas de Galicia⁹ (Iglesias 2001). No puede olvidarse la gran difusión del granito gallego otorgada por Palacios, divulgando sus magníficas propiedades al emplearlo en muchas de sus construcciones (Touza 1979).

1.2.5. Forma de proyectar y trabajar

La obra de Palacios destaca también por el constante seguimiento del proceso constructivo, tanto a pie de obra como por cartas (Iglesias 2001), y por su carácter sistemático, siendo inmediatamente reconocible el "estilo" Palacios. El arquitecto inventaba en sus proyectos desde los conceptos y funciones hasta el menor detalle constructivo y decorativo (Touza 1979), dibujando personalmente a tamaño natural absolutamente todo¹⁰ (Fernández-Shaw 1946, Otero-Cerdeira 2004). Puede afirmarse que su obra es inconcebible sin su extraordinario sentido del dibujo y sin el concurso de la escultura (Pérez-Rojas 1987).

Desde el estudio que instaló en las obras del Palacio de Comunicaciones, simultaneó tres de las construcciones principales que ejecutó en la capital, modificando sus proyectos sobre la marcha y completándolos directamente en obra. Junto a sus aspiraciones megalómanas, con su forma improvisada de trabajar, sin apenas modular y sin cerrar el presupuesto al inicio de las obras, Palacios arruinaba a sus clientes¹¹. Sin embargo, su entusiasmo y fecundidad de ideas arrebató el ánimo de su clientela, que se convirtió en su principal defensor y entusiasta (González-Amezqueta 1967, De Castro 1986).

⁷ Como pequeñas iglesias carentes de valor estilístico pero con paramentos muy expresivos debido a la rudeza del material y a su tratamiento artesanal (González-Amezqueta 1967).

⁸ Dedicó más esfuerzo en la promoción de su tierra a partir del arrinconamiento que siente por parte del Estado para la organización de exposiciones de artes decorativas (Arévalo-Cartagena 2001), difundiendo sus ideas y proyectos sobre todo a partir de 1930 (González-Amezqueta 1967). Es reconocida su simpatía por el movimiento galleguista y merecido su empeño por la potenciación de Galicia, además de intentar conseguir financiación desinteresada (Iglesias 2001).

⁹ Estas opiniones quedan reflejadas en el artículo: La conservación de nuestro tesoro artístico regional, publicado en *Vida Gallega* (25 enero 1925) y en *El Pueblo Gallego* (1 enero 1925).

¹⁰ Palacios dibujaba a tamaño natural directamente sobre los muros de yeso y, para la iglesia de la Veracruz (1943-1952) en O Carballino, (Ourense) enviaba a sus constructores por correo postal el dimensionado de los elementos constructivos a escala 1:1 en recortes de periódico (conversación mantenida con Fernando de Castro López-Villarino).

¹¹ Para la construcción de la Iglesia de la Veracruz, Palacios no realizó estimación previa del presupuesto alguna ni el plazo de ejecución previsto (Otero-Cerdeira 2004).

1.3. PRINCIPALES MATERIALES PÉTREOS Y CERÁMICOS UTILIZADOS EN LA OBRA DE ANTONIO PALACIOS Y CANTERAS DE PROCEDENCIA DE LA PIEDRA NATURAL

Las tablas 1.1. y 1.2 incluyen las principales construcciones que Antonio Palacios levantó y/o reformó en Madrid, Pontevedra, Ourense y A Coruña, señalándose su denominación original. Se excluyen ciertas ampliaciones, los proyectos que no llegaron a ejecutarse y la arquitectura desaparecida. Se indican únicamente los materiales pétreos y cerámicos utilizados en los paramentos exteriores, señalados también en las figuras 1.1, 1.2 y 1.3, haciendo referencia a la posible procedencia de algunas calizas y granitos observados. La mayor parte del material de cubierta y de los morteros de revestimiento se corresponde con material de sustitución. Se excluyen los aplacados pétreos de portales y locales comerciales inferiores, colocados en obra con posterioridad.

Tabla 1.1. Principales construcciones de Palacios existentes actualmente en la ciudad de Madrid.

| nº | Construcción | Años | Ubicación | Uso actual | Materiales |
|----|----------------------------|------------|--------------------------|----------------------|-------------------|
| 1 | Viviendas | 1903-1905 | c/Serrano 51 | Vivienda | GB, Mr |
| 2 | Viviendas | 1904-1905 | c/Humilladero 28 | Vivienda | A, Mr |
| 3 | Palacio Comunicaciones | 1904-1919 | Plaza Cibeles | Ayuntamiento Madrid | GB, CO, Ca, Mr |
| 4 | Viviendas | 1906-1907 | c/Marqués Villamejor 3 | Vivienda | CO, Mr |
| 5 | Casa Palazuelo | 1908-1911 | c/Alcalá 54 | Inmobiliaria | GB, CO, Mr |
| 6 | Talleres ICAI | 1908-1915 | c/Alberto Aguilera 25 | Escuela ICAI | GB, Ca, L, Mr |
| 7 | Hospital Jornaleros | 1908-1916 | c/Maudes 17 | Consejerías CAM | GB, Ca, A, Mr |
| 8 | Banco Río de la Plata | 1910-1918 | c/Alcalá 49 | Instituto Cervantes | GB, Ca, M, Mr |
| 9 | Casa Agustín Manso | 1911-1913 | Gta. Quevedo 6 | Vivienda | Mr |
| 10 | Banco Comercio-Industria | 1913-1914 | c/Cedaceros 6 | En obras | GB, Gr |
| 11 | Casa Bugallal | 1913-1917 | Gta. Cánovas Castillo 4 | Hotel | GB, CO, Mr |
| 12 | Viviendas | 1914-1921 | c/Castellana 28 | Vivienda | GB, CO, Mr |
| 13 | Casa Martín Lago | 1915 | c/Velázquez 100 | Vivienda | GB, CO, Mr |
| 14 | Viviendas | Antes 1916 | c/Ortega y Gasset 25 | Vivienda | GB, L, Mr |
| 15 | Viviendas | Antes 1916 | c/Serrano 40 | Vivienda | Mr |
| 16 | Ampliación cobertizos | 1916 | c/Juan Bravo 62 | Vivienda | Mr |
| 17 | Viviendas | 1918-1920 | c/Goya 41 | Vivienda | Mr |
| 18 | Talleres-cocheras Metro | 1919 | c/Reina Victoria 9 | EMT | L |
| 19 | Viviendas | 1919-1920 | Paseo Castellana 10-12 | Vivienda | GB, L, Mr |
| 20 | Casa Palazuelo | 1919-1921 | c/Mayor 4 c/Arenal 3 | Inmobiliaria | GB, Ca, Mr |
| 21 | Casa Matesanz | 1919-23 | c/Gran Vía 27 | Tiendas y oficinas | GB, Gr, M, Mr |
| 22 | Círculo Bellas Artes | 1919-1926 | c/Alcalá 42 | Círculo Bellas Artes | GB, Gr, Ca, M, Mr |
| 23 | Subestación térmica | 1920 | c/Olid 9 | Suministro eléctrico | GB, Gr, L, Mr |
| 24 | Hotel Alfonso XIII | 1921-24 | c/Gran Vía 34 | Hotel | GB, Gr, L, Mr |
| 25 | Central eléctrica | 1922-1923 | c/Valderribas 47 | Suministro eléctrico | GB, Ca, L, Mr |
| 26 | Subestación eléctrica | 1923 | c/Castelló 19 | Suministro eléctrico | Gr, Mr |
| 27 | Viviendas | 1923-1925 | Plaza Luca de Tena 13 | Vivienda | GB, L, A, Mr |
| 28 | Casa Doctor Rey | 1923-25 | c/Viriato 20 | Vivienda | Mr |
| 29 | Viviendas | 1924 | c/Sagasta 23 | Vivienda | GB, CO, Mr |
| 30 | Viviendas | 1924-1925 | c/Alcalá 139 | Vivienda | Mr |
| 31 | Laboratorios Rey | 1925 | c/Gral. Mtnz. Campos 4 | Colegio | GB, Mr |
| 32 | Panteón Fdez. Aguilera | 1929 | Cementerio San Isidro | Panteón familiar | GB, Gr |
| 33 | Banco Mercantil-Industrial | 1935-1943 | c/Alcalá 31 | Consejería CAM | GB, Gr, Ca, Mr |
| 34 | Viviendas | 1936-1940 | c/José Abascal 51 | Oficinas | Gr, L, Mr |
| 35 | Viviendas | 1935-1941 | c/Fernández de la Hoz 70 | Vivienda | GB, Mr |

ICAI: Instituto Católico de Artes e Industrias. CAM: Comunidad de Madrid. EMT: Empresa Municipal de Transportes.

GB: Granito berroqueño, CO: Caliza de Colmenar de Oreja, Gr: otros granitos, Ca: otras calizas, M: mármol, L: ladrillo, A: azulejo, Mr: mortero de revestimiento/piedra artificial.

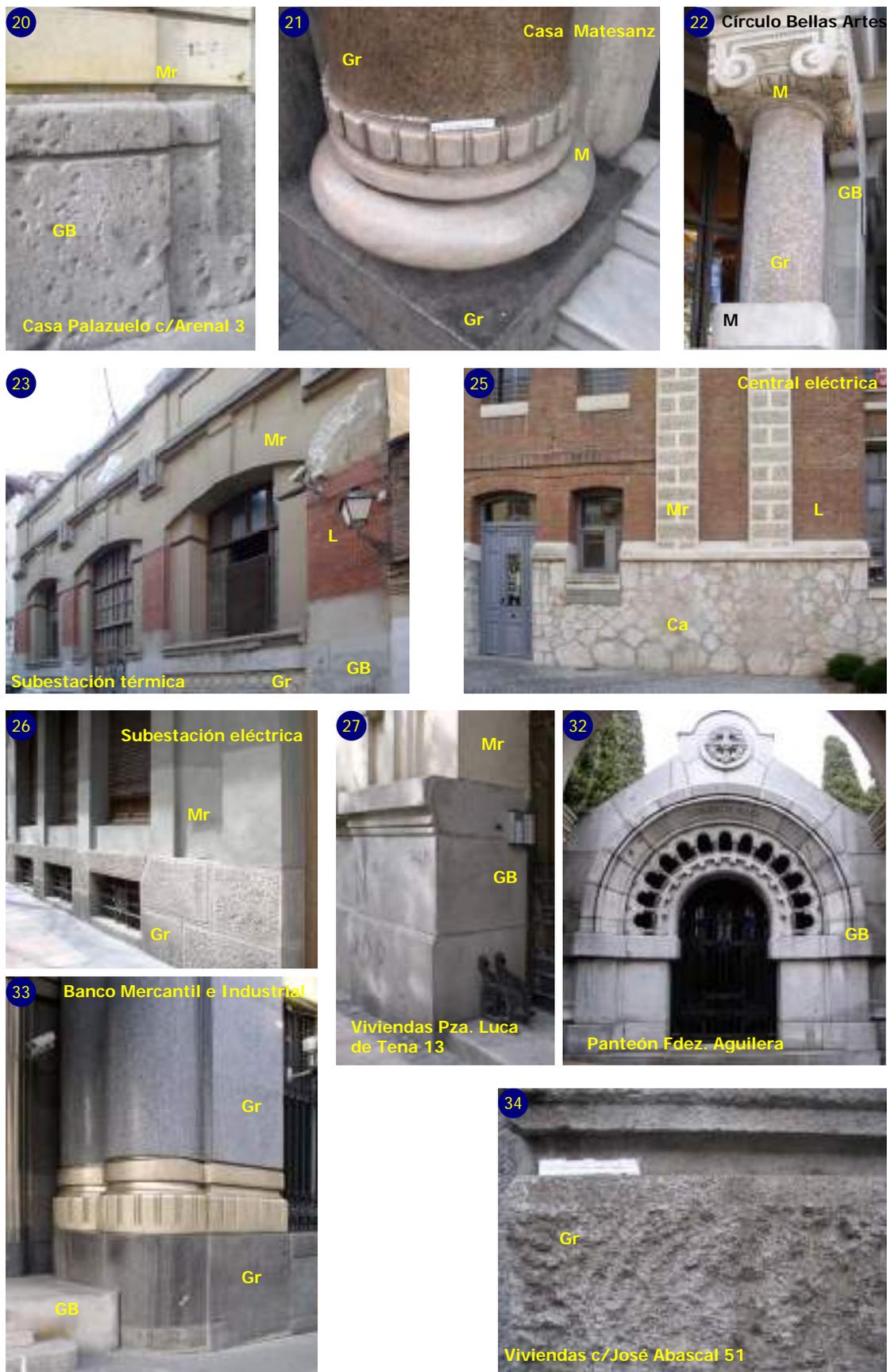


Fig.1.2. Materiales pétreos empleados en construcciones madrileñas de Antonio Palacios.

GB: granito berroqueño, CO: caliza de Colmenar de Oreja, Gr: otros granitos y/o roca ígnea, Ca: otras calizas, L: ladrillo, Mr: revestimiento y/o piedra artificial. Se indica la denominación original de los inmuebles y la numeración de las fotografías hace referencia a la tabla 1.1.

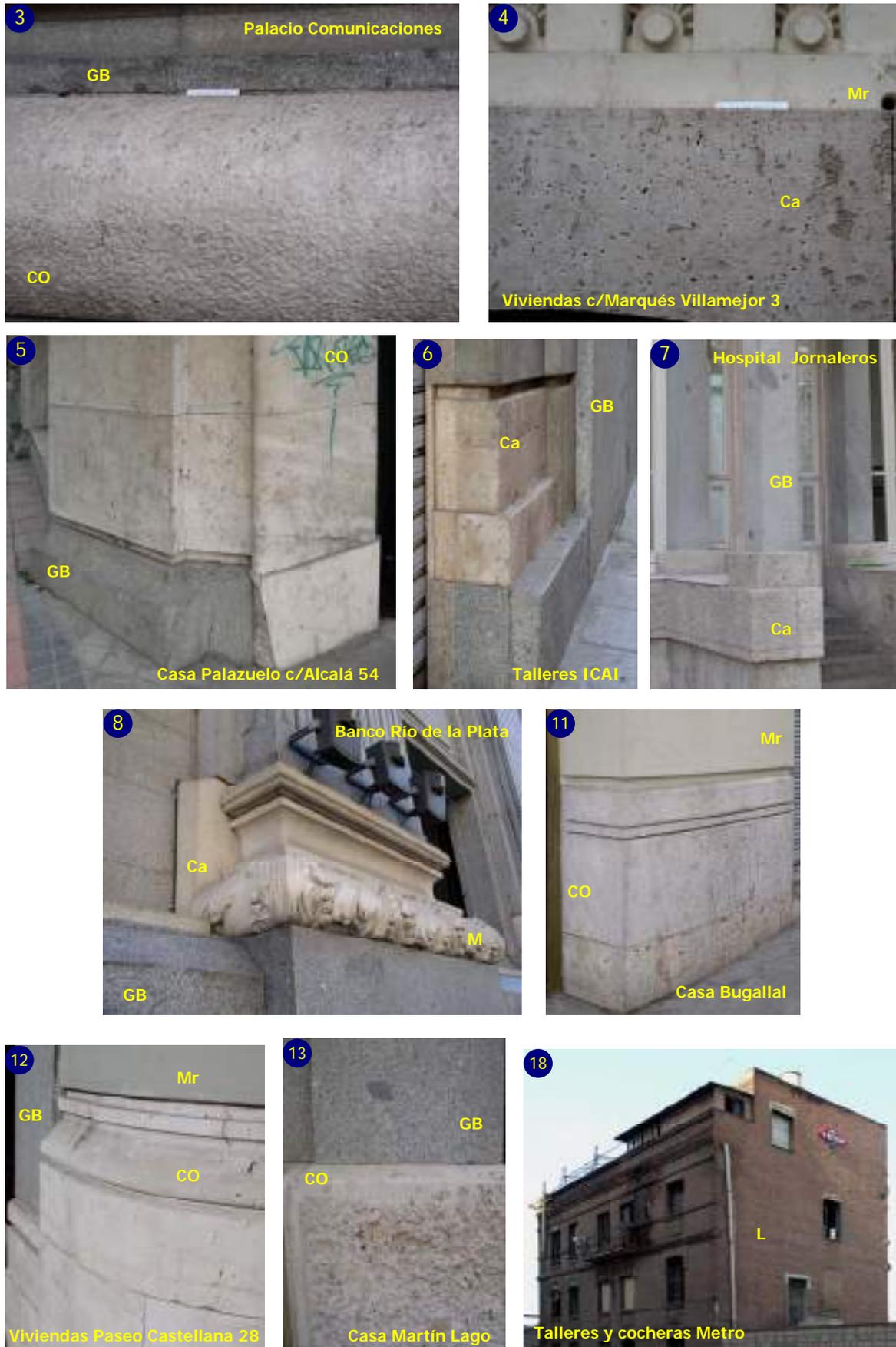


Fig.1.1. Materiales pétreos utilizados en la arquitectura madrileña de Antonio Palacios.

GB: granito berroqueño, CO: caliza de Colmenar de Oreja, Ca: otras calizas, L: ladrillo, Mr: revestimiento y/o piedra artificial. Se indica la denominación original de los inmuebles y la numeración de las fotografías hace referencia a la tabla 1.1. El edificio nº18, conocido como casa Tuduri, fue derribado en el año 2011.

Tabla 1.2. Obra de Antonio Palacios existente hoy en día en Pontevedra, Ourense y A Coruña.

| nº | Construcción | Años | Ubicación | Uso actual | Materiales |
|----|-----------------------------------------|------------|----------------------------------|-------------------------|------------|
| 1 | Fuente Santo Cristo | 1907 | O Porriño, Pontevedra | Ornamentación | Gr, A |
| 2 | Pabellón Recreo Artístico-Industrial | 1908-1090 | Santiago de Compostela, A Coruña | Guardería infantil | Gr, Mr |
| 3 | Planta embotellado | 1908-1909 | Mondariz, Pontevedra | Instalaciones hoteleras | Gr |
| 4 | Botica Nova | 1909 | O Porriño, Pontevedra | Farmacia | Gr, A |
| 5 | Gran hotel sanatorio | 1909-1915 | Mondariz, Pontevedra | Hotel | Gr |
| 6 | Virgen de la Roca | 1909-1930 | Bayona, Pontevedra | Ornamentación | Gr, A, M |
| 7 | Edificio comercial La Baranda | 1910 | Mondariz, Pontevedra | Instalaciones hoteleras | Gr |
| 8 | Sucursal correos y telégrafos | 1910 | Mondariz, Pontevedra | Instalaciones hoteleras | Gr |
| 9 | Teatro Rosalía de Castro | 1906-1927 | Vigo, Pontevedra | Centro Cultural-Teatro | Gr |
| 10 | Tempete Metro Red San Luis | 1918-1919 | O Porriño, Pontevedra | Ornamentación | Gr |
| 11 | Pabellón de la Fuente | 1920 | Mondariz, Pontevedra | Instalaciones hoteleras | Gr, A |
| 12 | Hotel | 1920 | Mondariz, Pontevedra | Instalaciones hoteleras | Gr |
| 13 | Ayuntamiento | 1919-1924 | O Porriño, Pontevedra | Ayuntamiento | Gr |
| 14 | Chalet Sileno en Playa América | 1920 | Nigrán, Pontevedra | Vivienda | Gr |
| 15 | Central eléctrica Tambre | Hacia 1924 | Noya, A Coruña | Central eléctrica-hotel | Gr, Mr, Tj |
| 16 | Restaurante y casa baños en Playa Simil | 1929 | Vigo, Pontevedra | Sala Fiestas | Gr |
| 17 | Casa Paramés | Hacia 1930 | Puentearreas, Pontevedra | Restaurante | Gr, Tj |
| 18 | Restaurante | Hacia 1930 | Monte Santa Tegra, Pontevedra | Museo | Gr |
| 19 | Templo Votivo del Mar en Panxón | 1932-1937 | Nigrán, Pontevedra | Templo religioso | Gr, A |
| 20 | Chalet Celso Méndez en Playa América | 1934 | Nigrán, Pontevedra | Vivienda | Gr, Tj |
| 21 | Banco Viñas Aranda | 1941-1944 | Vigo, Pontevedra | Sucursal bancaria | Gr, A |
| 22 | Monasterio Visitación Salesas Reales | 1942-1945 | Vigo, Pontevedra | Monasterio | Gr |
| 23 | Iglesia Veracruz | 1943-1952 | O Carballino, Ourense | Templo religioso | Gr, Pz |

Gr: granito, A: azulejo, M: mármol, Ms: mosaico, Mr: mortero de revestimiento, Tj: teja, Pz: pizarra.

En los granitos utilizados, se identifican diversas tipologías. La teja y la pizarra de las cubiertas corresponden principalmente a materiales de sustitución. No obstante, originariamente el material de cubierta de la iglesia de la Veracruz era también pizarra (Otero Cerdeira 2004).

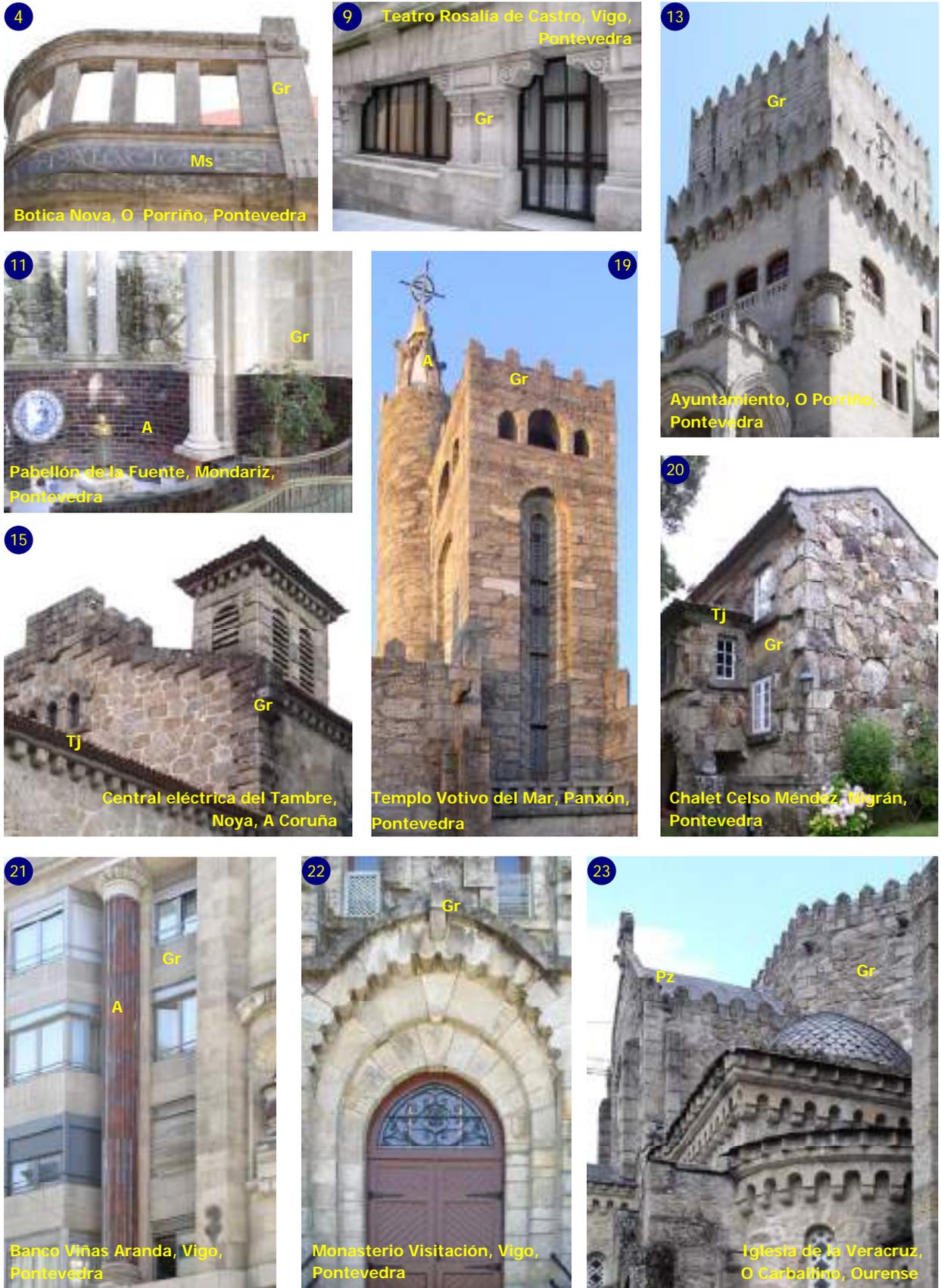


Fig.1.3. Materiales pétreos de construcción utilizados en la obra gallega de Antonio Palacios.

Gr: granito, A: azulejo (cerámica esmaltada), M: mármol, Tj: teja, Pz: pizarra.

Se indica la denominación original de los inmuebles y la numeración de las fotografías hace referencia a la tabla 1.2.

Si bien mediante la combinación de materiales pétreos, tanto naturales como artificiales, Palacios otorga expresividad a los paramentos de sus construcciones (tablas 1.1 y 1.2 y figuras 1.1, 1.2 y 1.3), queda claro que la piedra natural es el material empleado por excelencia en su obra. Las tipologías de piedra natural utilizadas en sus construcciones gallegas y madrileñas se corresponden principalmente con piedra tradicional, suponiendo una seña de identidad de los lugares en los que construía y remitiendo al sustrato geológico sobre el que asientan (Pérez-Monserrat et al. 2013). Además del claro dominio que Palacios tenía sobre la técnica constructiva en piedra, como se ha referido en la nota 2 del presente capítulo, el arquitecto visitaba y era conocedor de las canteras donde se explotaba la piedra destinada a sus construcciones (Otero-Cerdeira 2004).

En general, los edificios de Palacios en Madrid están levantados con dos tipos de piedra tradicionalmente empleadas en la arquitectura de la provincia, denominadas genéricamente *piedra berroqueña* y *piedra de Colmenar* (Pérez-Monserrat et al. 2013). La primera se corresponde con los granitoides variscos que afloran en el Norte y Noroeste (figura 1.4.a) de la región (ITGE 1990). La segunda se trata de los carbonatos fluviolacustres de la Unidad del Mioceno Superior de la cuenca terciaria continental de Madrid (figuras 1.4.b y 1.4.c), que se extienden entre las localidades de Colmenar de Oreja, Villar del Olmo y Arganda (García del Cura et al. 1994). Como se verá en el capítulo 4, para el Palacio de Comunicaciones, se seleccionaron las canteras de Colmenar de Oreja (Madrid), Petrel (Alicante), Sigüenza y Tamajón (Guadalajara), decidiéndose finalmente por la caliza de Petrel y de Colmenar de Oreja (Arévalo-Cartagena 1999).

En su obra gallega, Palacios mostró una clara predilección por el granito, como buen gallego y en gran parte por su familiaridad con las canteras de Atios y Budiño (O Porriño, Pontevedra, figura 1.4.d) así como la abundancia de esta piedra en el sustrato geológico de Galicia. Como se ha indicado, Palacios fue uno de los primeros en descubrir las cualidades del granito porriñés, correspondiente a granodioritas de edad pérmica (IGME 1981, figura 1.4.e), promoviendo la adquisición de maquinaria que permitiera su pulido para transformarlo en una roca ornamental de lujo, empleándolo en el Balneario de Mondariz y en el Círculo de Bellas Artes de Madrid (Otero-Cerdeira 2004). Para la construcción de la Iglesia de la Veracruz en O Carballino (Ourense), seleccionó el granito varisco de dos micas de las canteras localizadas en las localidades cercanas de Piteira y Anllo (figura 1.4.f), la pizarra gris plateada, con elevado contenido en micas, del monte Paraño (localizado cerca del límite entre Ourense y Pontevedra) la pizarra azul oscura, con restos carbonosos, que aflora en los alrededores de O Carballino, y la pizarra ferreña de Brués, al Noroeste de O Carballino (IGME 1974, Otero-Cerdeira 2004).

Además de su clara predilección por el empleo de materiales locales, como se verá en la segunda parte de la Tesis, fueron varios los motivos que influyeron en Palacios a la hora de seleccionar los materiales pétreos empleados en su obra. Por un lado, la ideología de los proyectos y su deseo por plasmar un carácter regionalista a las construcciones, especialmente en su obra gallega tardía. Por otro, el sustrato geológico de Galicia y de la provincia de Madrid, así como la situación de las canteras y de las vías de comunicación existentes por entonces. Por último, indicar que, puntualmente y tal vez como impronta de modernidad, Palacios apostó por la utilización de piedra procedente del extranjero. Así, algunos de los granitos empleados en el Banco Mercantil (Madrid) se correspondían con un decomisado suizo (Gutiérrez-Burón 1988) y para el Círculo de Bellas Artes (Madrid) se emplearon granitos argentinos (Landeró 2001). Naturalmente, en muchos de los aspectos indicados, las cuestiones económicas desempeñaron un papel esencial.



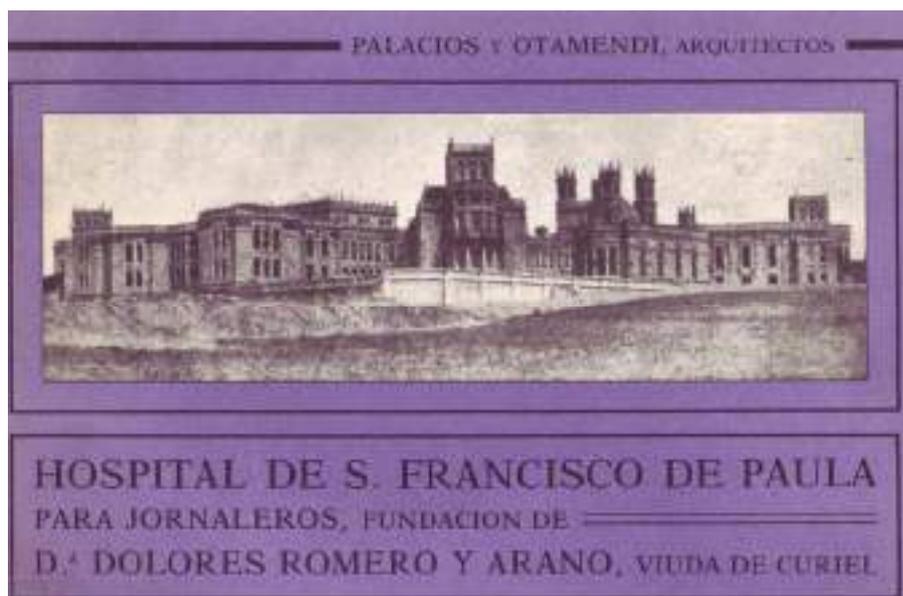
CAPÍTULO 2. EL HOSPITAL DE JORNALEROS DE MAUDES

Antes de intervenir en un inmueble patrimonial, deben conocerse algunos de sus aspectos históricos y constructivos, pues este conocimiento permite la mejor comprensión de la construcción y colabora con una actuación más respetuosa. Las dimensiones del solar destinado para su construcción, localizado en el ensanche Norte de Madrid cerca de la glorieta de Cuatro Caminos, y la ausencia de edificaciones anexas, permitieron el diseño de una construcción cargada de simbolismo a la vez que garantizaba la ventilación e insolación necesarias.

El inmueble ha sido objeto de tres intervenciones fundamentales, las dos primeras correspondientes a un cambio de uso, de Hospital de Jornaleros a Hospital Militar (años 40) y a edificio administrativo (1984-1986), actuándose en la última fundamentalmente sobre los paramentos exteriores (2006-2008). Fue principalmente la imposibilidad para reanudar la actividad sanitaria en el Hospital hacia finales de los años setenta, lo que propició su abandono total y, tal vez, el empeño por mantener la función para la que fue concebido hubiera acabado con la ruina total del edificio. Con sus aciertos y desaciertos, la historia ha demostrado una clara preocupación por su conservación, por parte de la sociedad en general y de las instituciones en particular. Hoy en día, el Antiguo Hospital ofrece un servicio público, acogiendo la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid.

La rehabilitación integral de los años 80 fue considerada muy acertada y respetó al máximo el proyecto original, si bien el inmueble como edificio administrativo no resulta tan funcional como debía serlo cuando era un hospital. La restauración de los paramentos efectuada entre los años 2006-2008 se centró en la conservación de sus materiales y en la mejora del aspecto estético del inmueble.

Entre los nombres que ha adoptado el inmueble, ha prevalecido la referencia del lugar en el que se ubicaba, refiriéndose al mismo como Hospital de Maudes. Tal vez, imaginándose cómo evolucionarían el urbanismo y la sociedad, o confiando que el edificio se convirtiera en figura emblemática para la ciudad, Palacios ideó una construcción capaz de acoger los cambios de la historia madrileña. El Antiguo Hospital ha sabido amoldar estos cambios, pasando de ser referente en su entorno original a quedar embebido en el mismo.



Portada de la reproducción facsímil del documento original firmado por Palacios y Otamendi y editado con motivo de la inauguración del Hospital de Jornaleros en 1916, impresa por la Consejería de Ordenación del Territorio, Medio Ambiente y Vivienda de la Comunidad de Madrid en 1986.

2.1. PROYECTO DEL HOSPITAL DE JORNALEROS DE MAUDES

2.1.1. Objeto del hospital

Debido a la despreocupación que estado había mostrado por las cuestiones sociales y sanitarias, en el siglo XIX comienza a plantearse la extensión de la sanidad a los más necesitados desde instituciones benéficas públicas y/o privadas (Ciudad y Carrillo 2001). Motivada por su religiosidad y por las corrientes filantrópicas de la alta clase social (Sánchez 1986, Urrutia 1997), Doña Dolores Romero y Arano, viuda del millonario ferretero Francisco Curiel y Blasi, crea una fundación benéfica consagrada a San Francisco de Paula. Construye en un solar de su propiedad, delimitado por las calles Treviño, Alenza, Maudes y el antiguo Paseo de Ronda (figura 2.1), un hospital con todos los adelantos médicos de la época, que ofreciera asistencia sanitaria gratuita a los jornaleros. Encarga el proyecto a Antonio Palacios, que estaba construyendo el Palacio de Comunicaciones, y levantará un hospital con carácter higienista y humanitario, acorde a las necesidades y a la lógica (en *Crónica e Información* 1912) y con un fuerte carácter simbólico y monumental (Pérez-Rojas 1987). Para la construcción del Hospital, Palacios contó con la colaboración de su amigo y socio Joaquín Otamendi Machimbarrena (López-Urrutia 1926, en *Crónica e Información* 1912, Álvarez-Sierra 1952, Pérez-Rojas 1985)¹.

En la memoria del proyecto hace referencia al entorno en el que se ubica el hospital, indicando *que la utilidad social de esta benéfica institución será aún mayor por el emplazamiento del edificio en las cercanías de uno de los barrios populares de mayor población de los suburbios de Madrid*. El barrio de Cuatro Caminos era una zona de expansión comercial, con serrerías, imprentas, almacenes de maderas, muebles y tejidos, pequeños laboratorios farmacéuticos y actividades relacionadas con la metalurgia. En las proximidades del solar destinado a al hospital se extendían tierras de labor, tejares y pequeñas construcciones de ladrillo (Checa 1982).

Además de los fines nobles y altruistas (López-Urrutia 1926), debe considerarse el carácter productivo del hospital, pues su objeto era *alojar todos los servicios correspondientes a un hospital de jornaleros, para 150 camas, en que estos reciban la medicación y cuidados necesarios desde su ingreso hasta su completo restablecimiento, considerándose el periodo de su convalecencia de tal modo que el obrero curado pueda acudir a su trabajo habitual al día siguiente de su salida* (Palacios 1909).

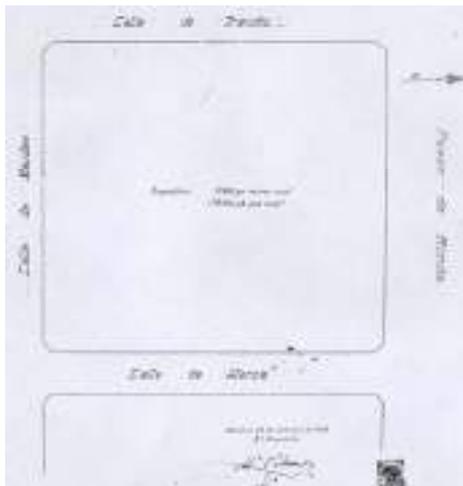


Fig.2.1. Plano de situación del solar destinado a la construcción del Hospital de Jornaleros, en Palacios (1909).

Las dimensiones indicadas por Antonio Palacios en la memoria son:

Superficie del solar: 13.752,70 m².

edificación: 4.687 m².

patios y jardines: 9.065,70 m².

Paseo de Ronda (Norte): 108,93 m.

Calle de Treviño (Oeste): 126,50 m.

Calle de Alenza (Este): 122,44 m.

Calle de Maudes (Sur): 112,06 m.

¹ Si bien Palacios y Otamendi tenían formas de trabajar muy diferentes, en numerosos proyectos que realizaron conjuntamente se desconoce dónde empieza la autoría de cada uno (Pérez-Rojas 1987). En el caso del Hospital de Jornaleros, la participación de Otamendi responde más bien a una importante colaboración en el proyecto ideado por Palacios. Por un lado, en el folleto editado con motivo de su inauguración, figuran los dos arquitectos (imagen mostrada en la presentación del capítulo 2) y gran parte de la correspondencia referente a la construcción del hospital iba dirigida a ambos. Sin embargo, en los planos y memoria sólo firma Palacios (Pérez-Rojas 1987, Arévalo-Cartagena 1999) y en los documentos del Ayuntamiento de Madrid referentes al Hospital de Jornaleros, el nombre de Otamendi no aparece (De Castro 1986). El motivo de la ausencia de Otamendi en la memoria del proyecto se debió a lo gravemente enfermo que estuvo durante su redacción (Arévalo-Cartagena 1999).

2.1.2. Distribución del hospital

Palacios (1909) indica la distribución general del hospital (figura 2.2), que incluía *la iglesia y dependencias de la comunidad, el pabellón médico-administrativo y de servicios generales, cuatro pabellones de enfermos con sus anejos, el pabellón de aislamiento, la sala de reconocimiento y pequeñas operaciones, galerías de comunicación y escalera, depósito de cadáveres y autopsias*. Señala interesantes explicaciones sobre la distribución, condicionada por la topografía y la orientación. Por ejemplo, la ubicación de la iglesia respondía a la importancia del Paseo de Ronda; la entrada al hospital se efectuaba por la calle Maudes, debido a la mayor facilidad de acceso que presentaba, puesto que la rasante del solar coincidía con el nivel de la calzada. Por el mismo motivo, y por ser zona menos transitada, la recepción de los abastecimientos también se realizaba por la calle Maudes. La localización del depósito de cadáveres y autopsias en la zona Norte del solar se debía a su orientación favorable².

El proyecto atiende especialmente al público al que iba destinado el hospital, premisa que igualmente caracteriza la obra de Palacios. De este modo, parte esencial del proyecto eran los patios y jardines, que dotaban al hospital de numerosas sombras y abundante vegetación, haciendo del conjunto un lugar alegre y saludable. La luminosidad y relajante sensación de optimismo del edificio proporcionaba unos reconfortantes efectos psicológicos en los enfermos (Pérez-Rojas 1987). La importancia del patio de entrada queda recogida en la memoria: *a la elevación de este cuerpo de edificio se ha procurado imprimirle un carácter agradable, con su pórtico abierto, que permite la vista del patio central desde el exterior, todo lo cual ejercerá beneficiosa influencia moral sobre los enfermos en el momento de su ingreso*. Se añaden galerías de comunicación *completamente abiertas, con objeto de que no puedan encauzar el aire viciado []*. *En su arquitectura se ha procurado que contribuyan con su diafanidad, pues permiten ver los jardines del establecimiento en toda su extensión, al aspecto alegre que conviene tenga el edificio*.

Aprovechando la luz y los vientos saludables de la zona, Palacios proyecta un edificio basado en el modelo panóptico de las cárceles españolas y en el esquema tradicional de los hospitales del siglo XVI. Constituido por cuatro naves dispuestas en diagonal que giran en torno a un anillo circulatorio central, el cual envuelve un patio octogonal con una fuente en el centro. Este diseño posibilitaba la iluminación y ventilación, a la vez que se beneficiaba de los mínimos recorridos de circulación (González-Amezqueta 1967, De Castro 1986). Para el mejor aprovechamiento del desnivel del solar, al cuerpo de entrada y a las dos naves orientadas al Sur, les añade una planta inferior. Resultan muy significativas las edificaciones anexas, separadas del edificio principal, y la pasarela metálica acristalada que comunica la galería superior del anillo central con la sala de operaciones. También es importante el traslado de la iglesia del centro del conjunto, para permitir así la organización del inmueble a partir de un espacio central (González-Amezqueta 1967).

Todo el espacio quedaba cerrado por un muro perimetral, que delimitaba el solar y contenía las tierras, cuya existencia hizo innecesario el vallado de la obra (Arévalo-Cartagena 1999). Hacia la mitad del Paseo de Ronda, y de las calles Maudes y Treviño, el muro se abría para permitir la entrada a la iglesia, al hospital y a la consulta pública, respectivamente. A la izquierda de la entrada al hospital, también un paño quedaba abierto en el muro para permitir el acceso de mercancías y suministros (figura 2.3.b). En el proyecto finalmente ejecutado (figura 2.2.b), en la calle Alenza el muro también quedaba abierto, en esta ocasión desplazado de su zona central, correspondiendo con la fachada del mortuario (figura 2.4.c).

² En su día sorprendió el aprovechamiento del terreno en la zona de la iglesia (en *Crónica e Información* 1912), donde se incluía el depósito de cadáveres y autopsias, el aljibe, diversas instalaciones y la cripta. Por otro lado, aunque el depósito fue construido y existe en la actualidad, se estimó poco apropiado el lugar por su proximidad a la entrada de la iglesia, siendo finalmente ubicado con salida directa a la calle Alenza (nº7 en la figura 2.3.b), donde la cota del terreno igualmente permitía no fuera visible.

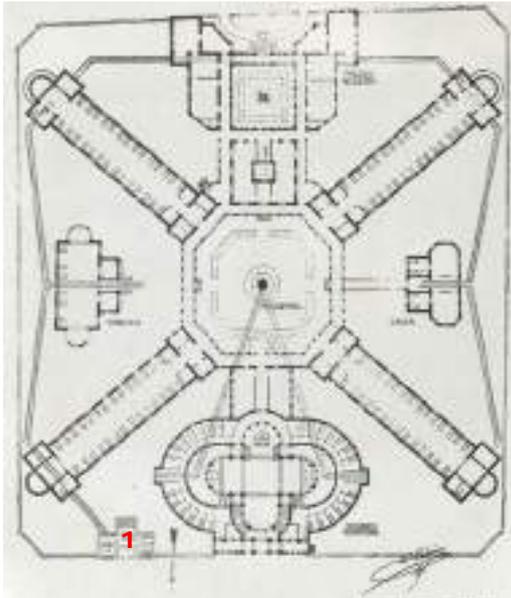
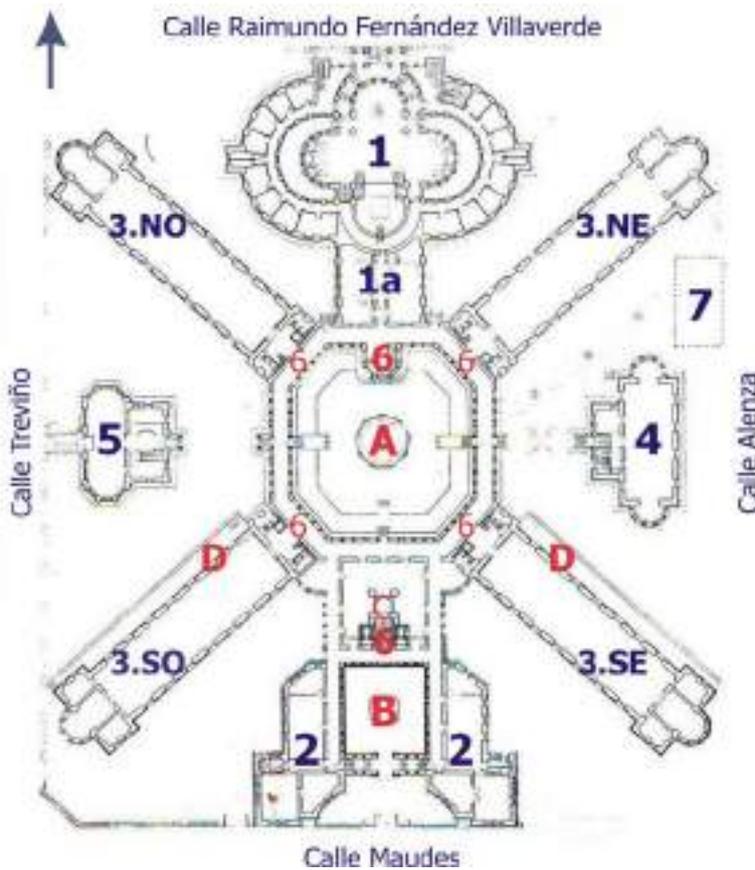


Fig.2.2.a. Planta del proyecto original, en Palacios (1909).

Se observa la localización primitiva (1, en rojo) del depósito de cadáveres y autopsias bajo los jardines de la iglesia, orientado al Norte y comunicado con el pabellón de enfermería Noreste.



1. Iglesia y dependencias.
2. Pabellón entrada.
3. Pabellones enfermería.
4. Pabellón aislamiento.
5. Consulta y operaciones.
6. Galerías y escalera absidal.
7. Mortuorio.
- A. Patio central.
- B. Patio de entrada.
- C. Patio de luces.
- D. Patios ingleses.

Fig.2.2.b. Planta del proyecto finalmente ejecutado.

Nótese que el Norte coincide en este caso con el borde superior de la hoja, mientras que en la figura 2.2.a. se dirige hacia el borde inferior de la misma. Se puede atender al trazado del ramal subterráneo que conectaba el anillo central del Hospital con el mortuorio, instalado definitivamente con salida directa a la calle Alenza y cuya fachada coincidía con el muro de cerramiento, parcialmente mostrado en la figura. La zona 1a corresponde a las dependencias de la comunidad religiosa que conectaban con el edificio hospitalario.

2.2. HISTORIA DEL HOSPITAL

Se han establecido seis etapas en la historia del inmueble objeto de estudio³ (tabla 2.1). Principalmente se atiende a los cambios en la función desempeñada por el edificio, a aspectos relacionados con su conservación y a las modificaciones en los materiales de construcción, salvo en la piedra natural, materiales cerámicos y morteros (de junta y revestimiento) así como piedra artificial que configuran los paramentos, pues estos materiales son analizados en la segunda parte de la Tesis.

2.2.1. Construcción y primeros años del hospital (1906-1936)

En 1906 Dolores Romero crea la fundación benéfica San Francisco de Paula, en 1908 solicita la tira de cuerdas y en 1909 comienzan las obras. En la imagen 2.3.c se aprecia la topografía irregular de la zona y los movimientos de tierras realizados para nivelar el solar, también una grúa y que el paño del muro anexo al chaflán de las calles Maudes con Alenza estaba abierto, para facilitar el acceso de material y maquinaria. Las principales modificaciones respecto al proyecto original se produjeron en el diseño exterior de la iglesia (Pérez-Rojas 1987). El acceso desde el Paseo de Ronda a la ubicación primitiva del mortuorio (figura 2.5.a), finalmente trasladado si bien la estancia fue igualmente construida (figura 2.2.a), existiendo en la actualidad, debió sellarse a la finalización de las obras, puesto que no se observa en las imágenes mostradas correspondientes a 1916 (figuras 2.4.a y 2.4.c). Finalizada la construcción en 1916, entra en funcionamiento en 1917 administrado por la Orden Hospitalaria de San Juan de Dios. En 1918 recibe el premio del Ayuntamiento y en 1924 la administración del hospital es adjudicada a las Hijas de la Caridad de San Vicente de Paul. La fundadora encarga en 1926 la escritura de recopilación y modificación de los estatutos de la fundación a la notaría de Leopoldo López-Urrutia.

2.2.2. Hospital durante la Guerra Civil (1936-1939)

En el verano de 1936, el hospital es incautado por las Milicias Populares para cubrir las necesidades sanitarias de la guerra. Durante la contienda, recibe el nombre de Sanatorio de Milicias Populares y funciona como hospital de sangre, motivo por el que tal vez se salvó de los bombardeos. Se construye un pasadizo subterráneo, que desde la nave Noroeste y por debajo de la iglesia se dirigía al refugio antiaéreo de la calle Cicerón, al otro lado del Paseo de Ronda (Izquierdo 2007). En 1939 pasa a ser Hospital Militar de Urgencias por la destrucción del hospital de Carabanchel.

2.2.3. Hospital Militar de Urgencias (1940-1970)

En 1940 comienza su rehabilitación para acondicionarlo a su nuevo uso como Hospital Militar. Entre 1950 y 1964 se efectúan pequeñas obras de emergencia y mantenimiento, conservadoras y actuando únicamente en la zona afectada (Archivo Militar de Ávila). El pabellón de infecciosos se transforma en sala de consultas y en las dependencias de la comunidad religiosa se instalan las habitaciones de los jefes y oficiales. Se alicatan y pintan salas interiores, se reparan las humedades originadas por roturas de bajantes mediante la introducción de planchas de plomo, se arreglan las azoteas⁴, se sustituyen azulejos deteriorados en zócalos interiores, se arreglan algunos pavimentos interiores así como del patio central, o se construye un doble cerramiento de carpintería en la galería superior del cuerpo de acceso (figura 2.5.e). En los sesenta comienza el declive del hospital, favorecido en parte por la construcción del hospital militar de Argüelles, al que son trasladados los militares. En 1970 se cierra el edificio ante la imposibilidad de la fundación para reactivarlo, comenzando su abandono y decadencia.

³ Para la redacción del epígrafe 2.2, la información ha sido extraída principalmente de Ciudad y Carrillo (2001), consultándose igualmente otros documentos existentes en el Centro de Documentación Especializada de la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio.

⁴ Aquí debió sustituirse el asfalto natural original (figura introducción 2ª parte de la Tesis) por la baldosa catalana (figura 2.8.a).

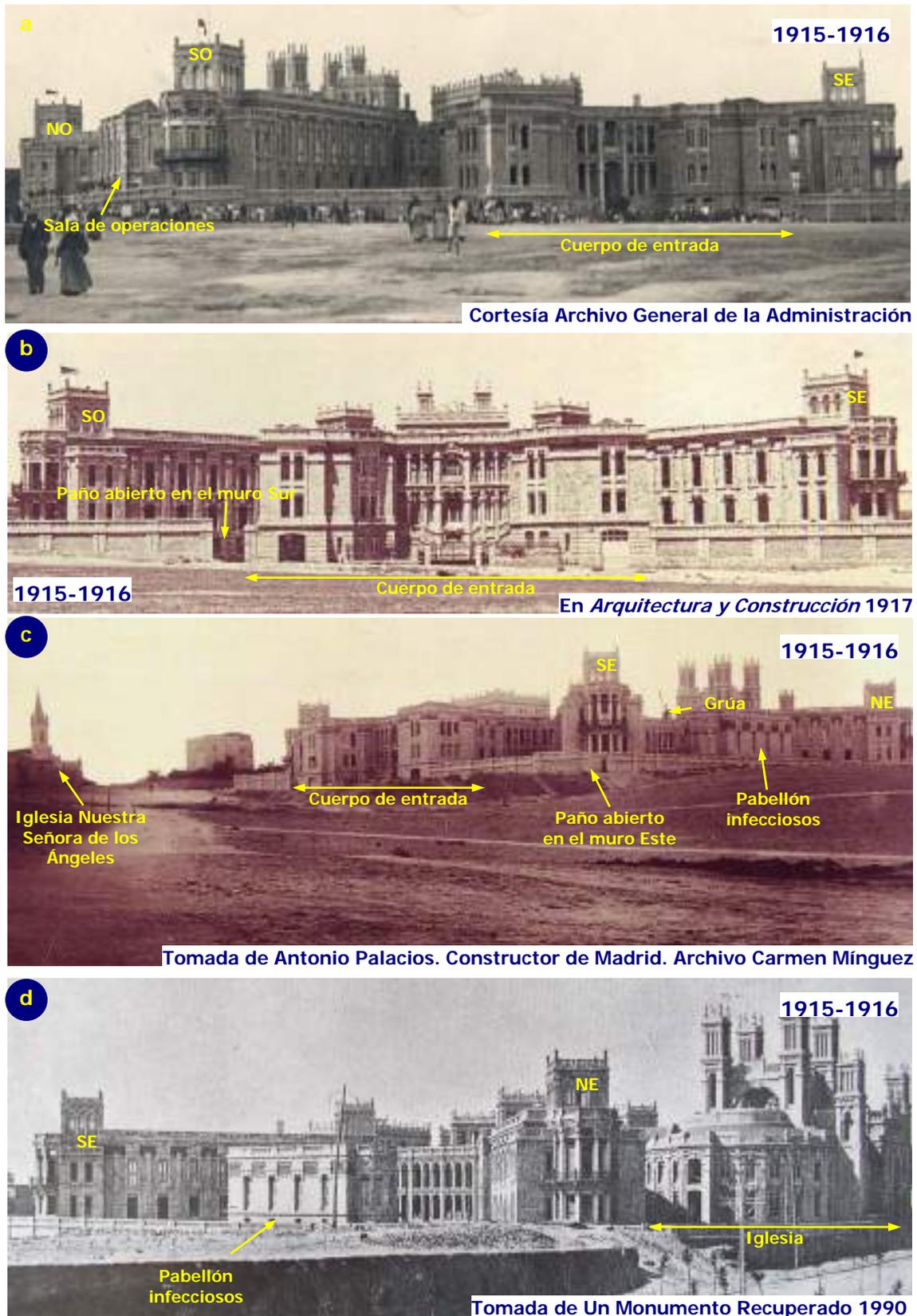


Fig. 2.3. El Hospital de San Francisco de Paul en el tramo final de su construcción.

- Intersección de las calles Treviño y Maudes. Sala de operaciones entre las alas Noroeste y Suroeste, cuerpo administrativo de entrada al Hospital y nave Sureste.
- Fachada a la calle Maudes. Pabellón médico-administrativo y de servicios entre las naves Suroeste y Sureste.
- Cruce de la calle Maudes con Alenza. De las dos construcciones próximas, sólo la iglesia de Nuestra Señora de los Angeles se ha conservado hasta la actualidad.
- Calle Alenza esquina con el Paseo de Ronda. Pabellón de infecciosos entre las alas Sureste y Noreste y la fachada principal de la iglesia orientada al paseo de Ronda.

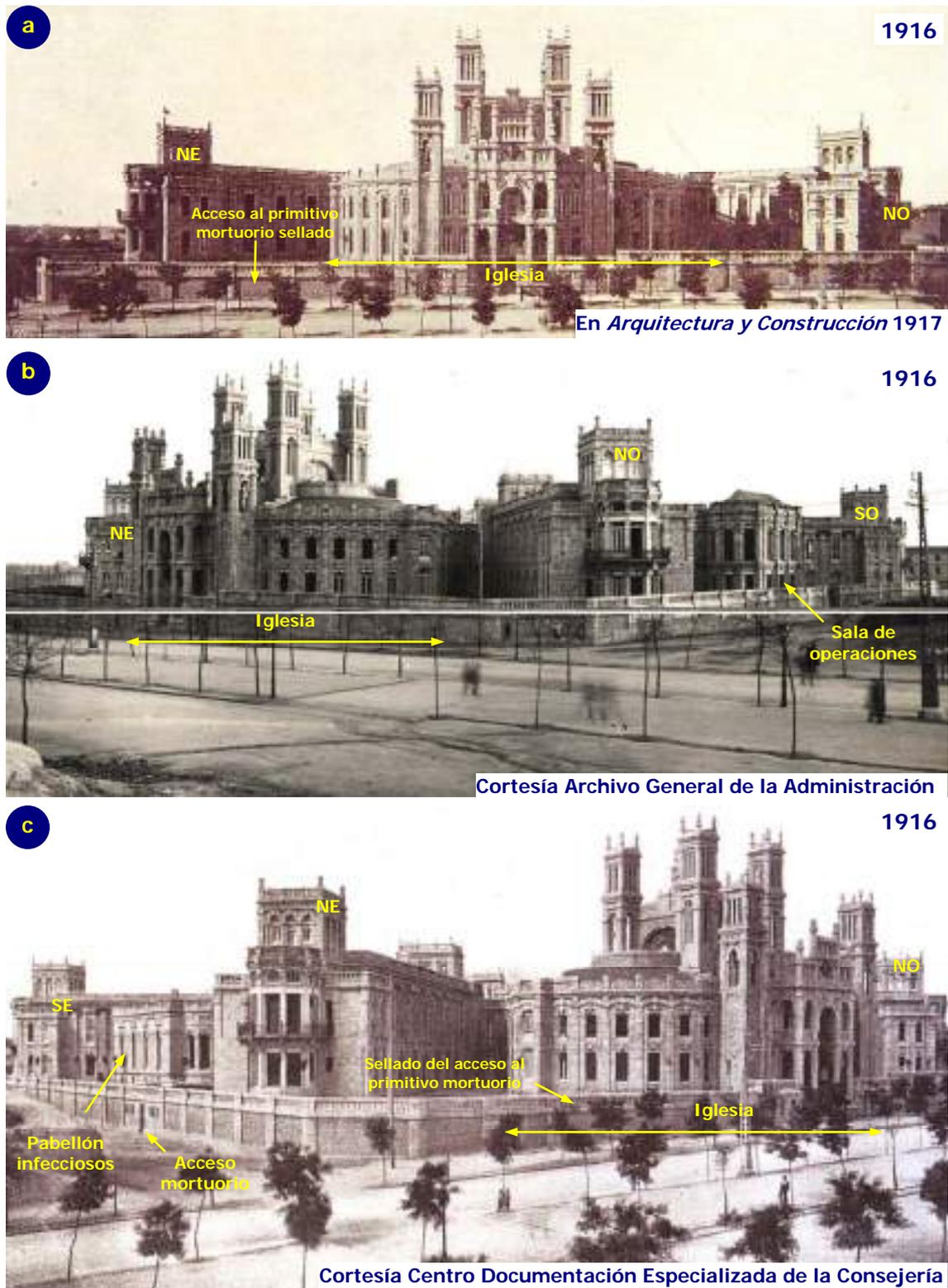


Fig.2.4. El Hospital de Jornaleros de Maudes recién construido.

- Fachada de la iglesia, entre las alas Noreste y Noroeste, desde el paseo de Ronda.
- Vista desde el cruce del paseo de Ronda con la calle Treviño, iglesia al paseo de Ronda y sala de operaciones entre las naves Noroeste y Suroeste.
- Pabellón de infecciosos y acceso al mortuorio, entre las alas Sureste y Noreste, y cuerpo de la iglesia, desde la esquina de la calle Alenza con el paseo de Ronda.

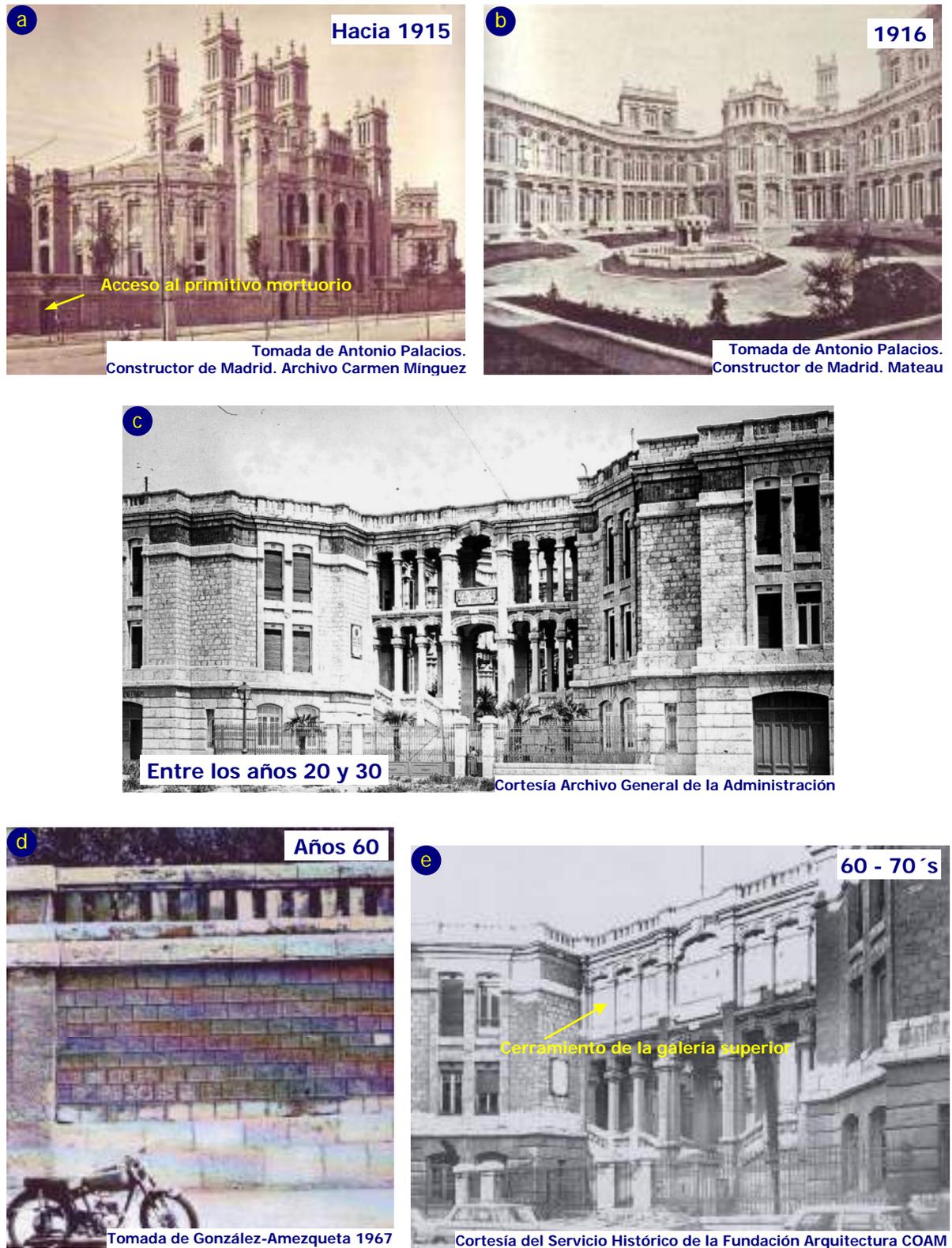


Fig.2.5. Imágenes del Hospital de Jornaleros como centro sanitario.

- Puerta abierta en el flanco Norte del muro, con salida directa al paseo de Ronda, para el acceso al primitivo mortuario.
- Inauguración del hospital (1916), patio central con la fuente y el parterre original.
- Entrada al hospital por calle Maudes, posiblemente entre la segunda mitad de los años veinte y principios de los treinta.
- Cara externa del muro perimetral, hacia 1965.
- Entrada al recinto por la calle Maudes durante su funcionamiento como Hospital Militar.

2.2.4. **Abandono y subasta del hospital (1970-1984)**

Tras su cierre definitivo, el inmueble se convirtió en lugar de robos y vivienda marginal, perdiéndose numerosos elementos y avanzando su deterioro (figura 2.6)⁵. En el Plan de Reforma Interior del Antiguo Ensanche de 1972, el hospital es catalogado como edificio o conjunto arquitectónico a conservar, acogiendo su primera protección como Bien Cultural y Arquitectónico. Posiblemente relacionado con esta catalogación, en 1973 se redacta un informe donde se indica que el hospital representa uno de los más singulares conjuntos edificatorios de Madrid y que responde a una edificación de carácter monumental. Comienzan entonces gestiones privadas para dar otro uso al inmueble, que generaron numerosas polémicas puesto abundaban intereses especulativos y comerciales⁶, contemplándose incluso su demolición al resultar su conservación muy costosa.

En 1974, el patronato de la fundación defiende que, abandonado el hospital, es insolvente para su rehabilitación, que al estar declarado Bien de Interés Arquitectónico no podía ser vendido ni derruido y que estaban programadas intervenciones de urgencia y conservación. En 1976, la Dirección General de Patrimonio incoa un expediente para la declaración del edificio como Monumento Histórico Artístico. En 1977 la visitadora provincial de la fundación abre un expediente que permita modificar el objeto para el que fue creada y posibilite la venta del inmueble⁷. En el mismo se exponía que el hospital no estaba en condiciones para ejercer su función sanitaria, que su gran tamaño resultaba impropio para un hospital, que la Seguridad Social ya cubría las necesidades básicas sanitarias de los ciudadanos, y que la fundación es incapaz de atender a los pacientes.

El informe redactado en 1978 por el Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid propone un uso social para el edificio y alerta de su pésimo estado, iniciando ese mismo año la Diputación de Madrid las gestiones para adquirir el inmueble. La fundación quiso vender el solar, pero el Colegio de Arquitectos de Madrid (COAM) incoa un expediente de declaración y en 1979 es declarado Monumento Histórico Artístico de carácter nacional, al concluir el expediente iniciado en 1976 (Real Decreto 2122/1979), obligándole a proteger sus valores mediante el impedimento de realizar intervenciones que pudieran perjudicarlos e imposibilitando su demolición. Ese año, el hospital también obtuvo el grado de Protección Integral en el plan especial de Conservación de Edificios y Conjuntos de Interés Histórico Artístico de la Villa de Madrid. Bajo el lema "Salvad Maudes", surge una fuerte movilización vecinal que participó activamente para la conservación del inmueble. En 1980, la Junta de Chamberí sufraga los gastos de las reparaciones efectuadas en las cubiertas y propone igualmente una salida social o cultural para el edificio. Tras su oferta de adquisición en subasta pública, no exenta tampoco de polémica, la recién creada Comunidad de Madrid compra en 1984 el inmueble por 234 millones de pesetas. En principio, se pensó ubicar en el Antiguo Hospital la Consejería de Turismo y Cultura (Sánchez 1986), instalándose definitivamente la nueva Consejería de Ordenación del Territorio, Medio Ambiente y Vivienda de la Comunidad de Madrid (COTMAV), incluyendo su biblioteca, el Centro Cartográfico Regional y la sala de exposiciones Antonio Palacios. La iglesia y sus dependencias se constituyeron como finca independiente antes de la subasta y quedaron excluidas de la compra, perteneciendo hasta la actualidad a la fundación.

⁵ El sellado generalizado de los vanos más accesibles (figura 2.8.a) no impidió la entrada al edificio. Sobre las porterías de la iglesia se levantaron sendas tapias y la entrada al templo también fue sellada (figura 2.6.a), manteniéndose una pequeña puerta para permitir el acceso, puesto que durante este periodo se siguió celebrando el culto, que ya albergaba la actual parroquia de la Divina Pastora (Anónimo 1973, COAM 1978).

⁶ Este informe, de autoría desconocida, señala: "la obligatoriedad de conservación del edificio parece que no se opone en principio a la posible construcción de locales comerciales o de otro tipo, bajo esta zona de patios, conservando las áreas ajardinadas sobre sus cubiertas. Esto llevaría consigo el estudio cuidadoso de cómo deberían tratarse exteriormente, para que en ningún caso supusieran una devaluación del conjunto. Asimismo, parece igualmente posible, la creación de una o dos plantas subterráneas de garaje, bajo estos mismos patios y jardines, ya que resulta evidente la necesidad de resolver el problema de aparcamiento, para cualquiera de los usos a que pueda destinarse este singular edificio".

⁷ López-Urrutia (1926) especifica: "se prohíbe la injerencia de la Iglesia y del Estado en la fundación y el cambio de destino del edificio y rentas. De no poderse cumplir los fines de la institución, agotadas personas y formas legales, faculta al patronato para incautarse del edificio y bienes y destinarlos a los fines mas análogos sin interposición de personas, estando los bienes destinados a fines benéficos y obrando los patronos como representantes de la fundación".

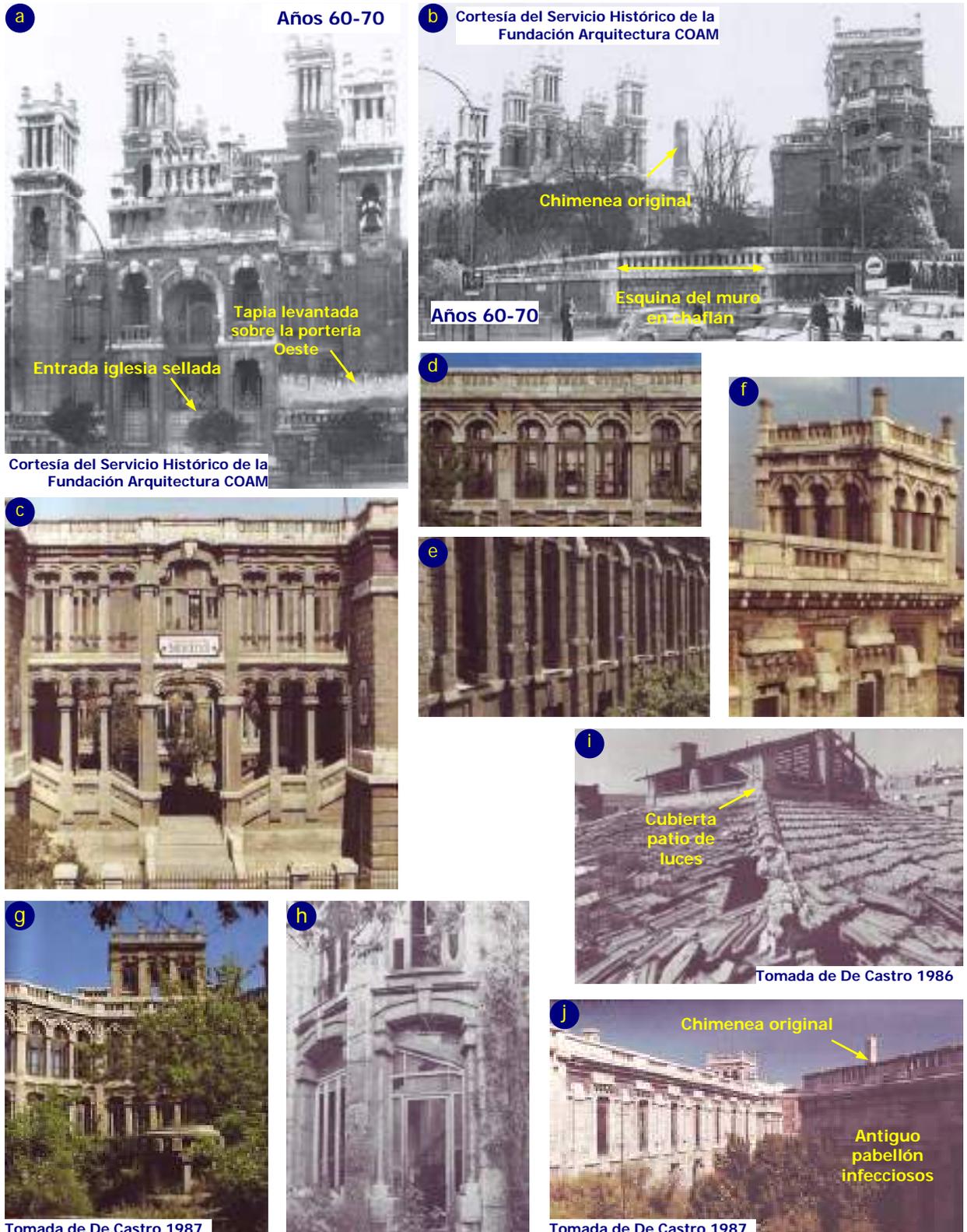


Fig.2.6. Estado del Antiguo Hospital antes de su restauración y rehabilitación integral en los años ochenta.

- a. Fachada principal de la iglesia.
- b. Vista general desde la intersección de la calle Raimundo Fernández Villaverde con Treviño.
- c. Cuerpo de entrada por la calle Maudes, con la escalinata de acceso y patio de entrada originales.
- d. Fachada al patio central, galería superior del anillo circulatorio.
- e. Fachada de uno de los antiguos pabellones de enfermería dirigidos a la calle Raimundo Fernández Villaverde.
- f. Torreón exterior de remate en una de las naves diagonales.
- g. Patio octogonal y su fuente central.
- h. Escalera absidal del patio central.
- i. Cubierta del torreón central del pabellón de entrada y de su patio de luces.
- j. Jardín entre la nave Noreste y el antiguo pabellón de infecciosos.

Todas las fotografías, salvo indicaciones, realizadas hacia 1983-1984 y tomadas de Un Monumento Recuperado (1990).

2.2.5. Rehabilitación y recuperación del hospital (1984-1986)

El arquitecto Fernando de Castro López-Villarino efectuó en 1984 los estudios previos, definiendo el estado de conservación del edificio y realizando su levantamiento. Bajo la dirección del arquitecto Andrés Perea Ortega, se acometieron entre los años 1984 y 1986 las obras de rehabilitación y restauración del Antiguo Hospital para su nueva configuración como edificio administrativo⁸. A pesar del lamentable estado del inmueble, no presentaba el estado de ruina que se esperaba (De Castro 1986, 1987), recuperándose las fábricas y elementos portantes. El Programa de Rehabilitación y el Proyecto de Restauración (1984) consideró necesaria una actuación urgente para contener el deterioro, debido a que la sustracción de las instalaciones había posibilitado la entrada del agua, con los consiguientes problemas de humedad, oxidación y pudrición de elementos (en *Blanco y Negro* 1986). Se establecieron como prioritarios los trabajos de consolidación y restauración de fachadas y cubiertas, se cuidaron los aspectos más valiosos y representativos del proyecto original, se respetó al máximo el contorno del edificio, la unión espacial de las antiguas salas de enfermos y su relación con galerías y jardines (Perea 1986).

Si bien el inmueble supone uno de los más importantes edificios hospitalarios de la construcción moderna española (Pérez-Rojas 1987), la reforma necesaria para su adaptación a un hospital actual hubiera exigido una profunda modificación de la obra original (Perea 1986). Aunque el edificio albergaba una funcionalidad más allá de su tiempo (Programa de Rehabilitación 1984), hubo una serie de problemas para adecuarlo a su nuevo uso (en *Arte y Cemento* 1987). Así, tuvo que conjugarse la conservación de una construcción histórica con la adaptación de las antiguas fábricas a los nuevos usos (Fernández-Galiano 1990). Fue necesaria una mínima intervención para la nueva actividad institucional a desempeñar, puesto que de ser un edificio pensado para trabajar hacia adentro pasó a funcionar hacia fuera (Perea 1990).

Desbrozados los jardines y patios y vaciado el interior del edificio, se efectuó la limpieza de los paramentos exteriores, y la restauración de carpinterías, cerámicas, cristalerías, cerrajerías y elementos complementarios. En el interior, las principales operaciones efectuadas fueron la instalación en la antigua sala de operaciones de la biblioteca y del centro de documentación especializada⁹, la transformación del pabellón de infecciosos en sala de exposiciones, dedicada a Antonio Palacios, y la separación de la zona religiosa del resto del edificio. Aprovechando el desnivel del solar, en las naves orientadas hacia el Norte se construyó una planta inferior más y se excavó una galería subterránea que bajo el jardín Oeste comunicaba la biblioteca con el anillo central. Se modificó el remate superior de la escalera absidal¹⁰ y el cerramiento del patio de luces, elementos que quedaron originariamente inconclusos (Arévalo-Cartagena 1999, Perea 1986, 1990). Fue muy significativa la transformación del acceso original por la calle Maudes, mediante el vaciado del patio de ingreso para introducir el nuevo vestíbulo. Se desmontó la escalinata de entrada (figura 2.7.a) y se instaló una puerta acristalada¹¹ (figura 2.7.b). En el centro del antiguo patio de acceso se construyó una pirámide acristalada (figura 2.7.e), justo donde se ubicaba una de las fuentes originales (figura 2.7.d), que fue trasladada junto a la nueva sala de exposiciones (figura 2.7.f). En el antiguo garaje, con acceso desde la calle Maudes (puerta blanca en la figura 2.3.b), se instaló el centro de venta directa de documentación e información urbanística, derribándose tras la limpieza el paño adyacente del muro (figura 2.7.i) y colocando una puerta para el paso de coches y servicios (figura 2.7.j).

⁸ Si bien estas obras no incluyeron la rehabilitación de la iglesia ni de sus dependencias, se restauraron sus fachadas y vidrieras.

⁹ También se excavó una galería subterránea que bajo el jardín Oeste comunicaba la biblioteca con el anillo central del edificio.

¹⁰ Arévalo-Cartagena (1999) indica: "la escasez de recursos económicos al final de la obra se detecta en algunos elementos que no se llegaron a ejecutar, como el peto sobre el volumen de la escalera al patio".

¹¹ En esta operación se enumeraron las piedras para que fueran colocadas nuevamente en su lugar original (anastilosis). Dicha transformación fue y sigue siendo criticada, al considerar que modificaba sensiblemente la originalidad del proyecto y la singularidad de dicho patio, único en Madrid con estas características (Izquierdo 2007). La escalinata eliminada presentaba un diseño muy similar al de las escaleras de acceso al pabellón de infecciosos (figura 2.7.f).



Fig.2.7. El Antiquo Hospital antes y después de la intervención acometida entre 1984 y 1986 y en el año 2005.

En la figura 2.7.f se observa la ubicación actual, junto a la sala de exposiciones, de la fuente del patio de entrada y uno de los lucernarios que iluminaban el pasillo dirigido hacia el mortuario. En la figura i se aprecia el aspecto original del trasdós del muro donde se abrió la puerta para la entrada al nuevo garaje hacia la calle Maudes.

Las fotografías mostradas en las figuras a, b, d, g, k y l han sido tomadas de Un Monumento Recuperado (1990).

Se transformó la salida original del mortuorio (figura 2.7.g) mediante la prolongación de las ventanas originales (figura 2.7.h). La chimenea junto a la iglesia (figuras 2.6.b y 2.8.a) se redujo en altura, eliminándose las existentes sobre el pabellón de infecciosos (figura 2.6.j y 2.8.a) y junto al torreón interno de la nave Suroeste (figura 2.8.a y 1 en figura 6.4.a). Se alargaron los vanos del torreón central del pabellón de entrada (figura 2.8) y se modificaron otros, como en el nivel inferior de la biblioteca (en la figura 6.5.d se observan los originales).

El estado de conservación de las terrazas era bastante bueno, incluso se planteó dejarlas como estaban, pero la desaparición de bajantes y sumideros era una de las principales causas del deterioro del edificio y se optó por su completa restauración, sustituyéndose la baldosa catalana por placas de terrazo (figuras 2.8.a y 2.8.b). Las tejas de las cubiertas en el cuerpo de entrada y su torreón, cuerpo que une la iglesia con el edificio principal y los cuerpos semicirculares interiores de la iglesia fueron sustituidas por cubiertas metálicas (figuras 2.8.a y 2.8.b). En cuanto a la pavimentación de patios y jardines, en los patios de entrada y central se colocaron plaquetas de terrazo de diversos tamaños y colores (figuras 2.7.e y 2.7.l). Los jardines adyacentes al cuerpo administrativo fueron pavimentados con hormigón, al transformarse en aparcamientos para el personal de la Consejería¹². Se mantuvieron los jardines anexos a la sala de operaciones, a la comunidad religiosa y al pabellón de infecciosos, este último pavimentado parcialmente de forma similar al patio central (figura 2.7.f). En el nuevo acceso por la calle Maudes se colocaron solados correspondientes a dos tipologías de rocas graníticas.

Respecto a los materiales empleados en el interior del edificio, los pavimentos originales que se conservaron fueron la baldosa hidráulica de la cafetería y del comedor, el terrazo de la pasarela metálica y el mosaico Nolla del pabellón de infecciosos¹³. Los primitivos zócalos (figura 2.7.k) pudieron recuperarse en gran parte, siendo necesaria la fabricación de nuevas piezas, tanto cerámicas como baldosas hidráulicas. Se conservó la fuente cerámica existente en la zona inferior de la escalera absidal, si bien se inhabilitó su uso como tal, así como los revestimientos cerámicos del comedor y del arco que daba paso al despacho de la fundadora.

También se conservó la madera de la cafetería y la práctica totalidad de las carpinterías originales fueron restauradas. Esto en gran parte se debió a la dificultad que suponía ajustar el proceso industrial de fabricación de nuevas carpinterías con la carpintería original, realizada de forma artesanal (en *Arte y Cemento* 1987). Con las cristalerías ocurrió algo similar, teniendo que abandonarse el doble acristalamiento previsto en el proyecto (Perea 1990). Los perfiles metálicos de la pasarela que comunicaba el anillo central del edificio con el antiguo pabellón de operaciones, la escalera metálica de caracol ubicada en su fachada Norte así como aquellas, también metálicas, existentes en el interior de las naves, las verjas y todos los elementos metálicos de las ventanas, se restauraron y/o reprodujeron en su totalidad.

El coste final de la compra del inmueble y de su rehabilitación ascendió casi a los 900 millones de pesetas, aportados por el entonces Ministerio de Transportes. En septiembre de 1986 se inauguró el edificio como sede de la Consejería de Ordenación del Territorio, Medio Ambiente y Vivienda (COTMAV) de la Comunidad de Madrid. La inauguración tampoco estuvo exenta de polémica, pues se acusaba a la Comunidad de haber comprado un palacio para su uso particular y no para el disfrute de los madrileños. Esta alegaba que mucho más costoso hubiera resultado un edificio de nueva construcción en AZCA y que la propia Consejería tenía que dar ejemplo de su preocupación por conservar el patrimonio construido (en *Blanco y Negro* 1986).

¹² El informe anónimo de 1973 ya planteaba el aprovechamiento del terreno para construir aparcamientos. Uno de los problemas que ha conllevado el cambio de uso, ha sido que el edificio no estaba pensado para albergar el gran número de personas que trabajan hoy en día en su interior.

¹³ Si bien las dependencias religiosas quedaron exentas de su rehabilitación, quiere indicarse que también corresponden a materiales originales las plaquetas de pizarra de la cubierta (figuras 2.8.a y 2.8.b), el pavimento interior de mármol, las cerámicas de los altares y de la sillería del altar mayor, la baldosa hidráulica (completamente de cemento) de la sacristía y el mosaico Nolla (creado por la casa valenciana Miguel Nolla) de las porterías.

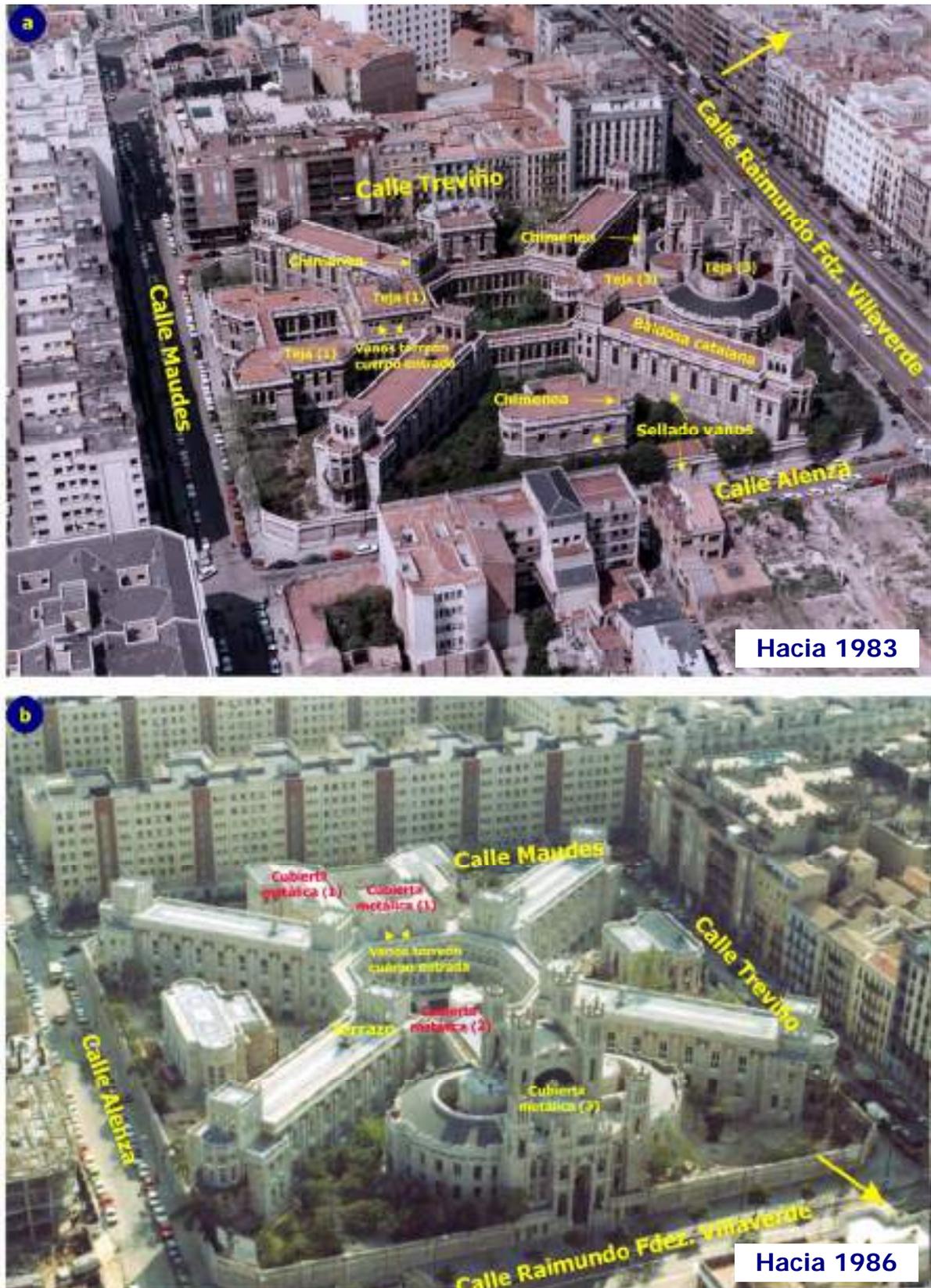


Fig.2.8. Vistas aéreas del Antiguo Hospital de Jornaleros de Maudes.

- a. Hacia 1983, antes de su rehabilitación integral y restauración.
- b. Hacia 1986, finalizando la intervención acometida para dotar al inmueble de su nueva función administrativa.

- 1: Cuerpo de entrada y su torreón interior.
- 2: Cuerpo de unión iglesia con el edificio principal.
- 3: Cuerpos semicirculares interiores de la iglesia.

Imágenes cedidas por el Centro de Documentación Especializada de la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid.

2.2.6. El Antiguo Hospital como edificio administrativo (1987-actualidad)

En 1987, la Comunidad de Madrid adquiere la propiedad de la zona comprendida entre la iglesia y el flanco norte del anillo circulatorio central (1a en la figura 2.2.b), perteneciente hasta entonces a la comunidad religiosa. En 1997, el inmueble es incluido en el catálogo de edificios protegidos con el grado de protección especial en el Plan General de Ordenación Urbana de Madrid, salvándose de reformas que pudieran afectar a sus valores históricos y artísticos. En 1999 se mejora la accesibilidad al edificio por la entrada principal mediante la construcción de unas rampas laterales (figura 2.7.c). En el año 2001, se habilita el acceso desde la calle Maudes al centro de venta directa de documentación e información urbanística, aprovechando la puerta de entrada al garaje original de la fundadora (figura 2.7.j).

Hacia el año 2001, no efectuándose desde 1986 apenas modificación alguna de los materiales que configuran los paramentos (fachadas y muro) del inmueble, la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio estima necesaria una nueva intervención en el mismo, centrada en la conservación y ralentización de los procesos de deterioro de los materiales así como en la mejora del aspecto estético de sus paramentos. Solicita en 2002 a la arquitecta María Ruiz Antón, de la empresa Micra, un estudio sobre el estado de alteración de la piedra. En 2004, encarga otro estudio a José María Cabrera, de la empresa Conservación del Patrimonio Artístico (CPA, S.L.), para establecer los antecedentes históricos del edificio, su estado de conservación con su diagnóstico y los criterios de intervención para la reparación de las fachadas.

Ese mismo año solicita a los geólogos M^aConcepción López-Azcona y Rafael Fort González, del grupo de investigación *Petrología Aplicada a la Conservación del Patrimonio* del Instituto de Geociencias IGEO (CSIC-UCM), entonces Instituto de Geología Económica (CSIC-UCM), al que pertenecía Elena Pérez Monserrat, los estudios previos sobre la conservación de los paramentos así como la evaluación de diferentes métodos para su limpieza. En octubre de 2004 entregan a José María la Calle, entonces subdirector general de arquitectura de la consejería, dos informes. En uno se detallan los estudios previos a realizar para su restauración y conservación, y en otro, el plan de control de las actuaciones de restauración. Los estudios propuestos en el primer informe son efectuados por diversos miembros del citado grupo de investigación, entre ellos Elena Pérez Monserrat, durante octubre del 2004 y diciembre del 2005. Estos estudios incluyen la evaluación de diversas técnicas de limpieza, la recopilación de la documentación existente sobre el Antiguo Hospital, la caracterización de la piedra caliza y de los principales morteros de fábrica empleados en la construcción del inmueble así como la evaluación de diferentes tratamientos de conservación y morteros de resturación. Estos informes supusieron el arranque de la Tesis presentada.

En mayo de 2006, comienza la restauración integral de las fachadas y muro de cerramiento del Antiguo Hospital, efectuada por la empresa CPA, S.L. y finalizada en junio de 2008, manteniendo el inmueble su función administrativa y de servicio público durante toda la intervención. El presupuesto de la intervención superó los 4 millones de euros, aportados por la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio. La restauración ha incluido numerosas actuaciones y se ha centrado principalmente en los paramentos exteriores del inmueble, incluyendo la limpieza de la piedra, la aplicación de nuevos morteros de junta, la restauración de las cerámicas, morteros de revestimiento, elementos configurados con piedra artificial, carpinterías y elementos metálicos, así como de las fuentes originales.

A partir del deterioro que mostraba la caliza en particular y los paramentos en general, la limpieza apostó por la conservación de la piedra procurando minimizar su deterioro físico-químico y estético; se efectuó mediante proyección en húmedo de partículas de sílice, siguiendo las recomendaciones indicadas tras la evaluación previa de los métodos de limpieza ensayados *in situ* (capítulos 11 y 12).

La retirada de la práctica totalidad de los diversos morteros de junta y sustitución por un nuevo a base de cal y propiedades biocidas supuso una operación de especial envergadura. Los gruesos morteros de junta existentes hasta el año 2006 contribuían de forma significativa al deterioro de los paramentos, suponían además un importante agente de deterioro y en determinadas zonas presentaban el desarrollo de abundantes películas microbianas (capítulo 9). Estos morteros se retiraron antes de proceder con las operaciones de limpieza, quedando las juntas de la fábrica pétreo exentas durante las mismas. Finalizadas las operaciones de limpieza y secadas completamente las superficies, la aplicación del nuevo mortero de junta fue considerablemente diferente a la que mostraban los antiguos morteros (capítulo 6), quedando la superficie del mortero ligeramente retranqueda respecto a la superficie de las piezas pétreas que rejunta. Además de emplear un mortero de restauración cuya composición resulta más compatible con el soporte pétreo carbonático y resista mejor los agentes de alteración que operan en el inmueble, con su forma de aplicación se pretendía, entre otras cosas, ralentizar su ensuciamiento por deposición de materia particulada, con la consiguiente formación de costros negras (capítulo 9). La tonalidad y forma de aplicación del nuevo mortero de junta participaban igualmente del aspecto homogéneo que mostraban los paramentos tras la limpieza en el año 2008 (capítulo 12).

El mortero de revestimiento que cubría las fábricas de ladrillo de los torreones interiores, del cuerpo central de la iglesia y del cuerpo de entrada o dependencias administrativas (capítulo 6) fue limpiado, eliminando el verdín y biofilms que presentaba en numerosas zonas, y pintado de nuevo. Se retiró un enfoscado de cemento que presentaba el trasdós del muro, en el lienzo Norte. Se efectuaron algunas reposiciones y/o cosidos, tanto en estas fábricas de ladrillo revestidas como en la piedra artificial y elementos pétreos de caliza. En cuanto a las cerámicas que decoraban las fachadas y las fuentes se conservaron completamente, recuperando sus vivos colores mediante su limpieza y reintegrando las uniones de las piezas.

Tabla 2.1. Cronología del Antiguo Hospital de Maudes indicando los aspectos más importantes referentes a su funcionalidad, modificaciones externas y/o conservación.

| Años | Cambio de uso, transformación y/o conservación del inmueble |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1906 | Creación por Dolores Romero de una fundación benéfica consagrada a San Francisco de Paula |
| 1908 | Primer documento de la tira de cuerdas para la construcción del hospital |
| 1909 | Palacios redacta la memoria del proyecto. Solicitud de licencia de obras e inicio de las obras |
| 1916 | Finaliza la construcción del hospital |
| 1917 | El hospital entra en funcionamiento administrado por la Orden Hospitalaria de San Juan de Dios |
| 1918 | El hospital recibe el premio del Ayuntamiento |
| 1924 | Cambia la administración del hospital a las Hijas de la Caridad de San Vicente de Paul |
| 1926 | Redacción de los reglamentos del hospital y de la escritura de recopilación y modificación de los estatutos de la fundación por la notaría de Leopoldo López-Urrutia |
| 1936-1939 | Incautación del hospital por las Milicias Populares, funcionando como hospital de sangre |
| 1940 | Comienza la rehabilitación del inmueble para acondicionarlo como Hospital Militar |
| 1950-1964 | Se efectúan numerosas obras de mantenimiento |
| 1960 | Comienza el declive del hospital |
| 1970 | Cierre del hospital ante la imposibilidad de la fundación para su reactivación |
| 1972 | El hospital recibe su primera protección como Bien Cultural y Arquitectónico |
| 1973 | Un informe anónimo indica que el hospital responde a una edificación de carácter monumental y que representa uno de los más singulares conjuntos edificatorios de Madrid. Comienzan gestiones privadas para dar otro uso al edificio e incluso se plantea su derribo |
| 1974 | El patronato de la fundación se declara insolvente para la rehabilitación del hospital |
| 1976 | La Dirección General de Patrimonio abre un expediente para la declaración del edificio como Monumento Histórico Artístico |
| 1977 | Incoación de un expediente para modificar el objeto de la fundación y posibilitar la venta del inmueble |
| 1978 | El COAM alerta del pésimo estado del edificio. La Diputación de Madrid comienza a gestionar su adquisición |
| 1979 | El hospital es declarado Monumento Histórico Artístico de carácter nacional y consigue el grado de Protección Integral en el plan especial de Conservación de Edificios y Conjuntos de Interés Histórico Artístico de la Villa de Madrid. Surge una fuerte movilización vecinal para la conservación del edificio |
| 1980 | La Junta de Chamberí sufraga los gastos de las reparaciones efectuadas en las cubiertas y propone una salida social o cultural para el Antiguo Hospital |
| 1984 | La recién creada Comunidad de Madrid compra el edificio en subasta pública, exceptuando la iglesia y sus dependencias, para instalar la nueva Consejería de Política Territorial |
| 1984-1986 | Restauración y rehabilitación del edificio para recuperarlo y acondicionarlo a su nuevo uso administrativo |
| 1986 | Inauguración del inmueble como sede de la Consejería de Ordenación del Territorio, Medio Ambiente y Vivienda (COTMAV) de la Comunidad de Madrid |
| 1987 | La Comunidad de Madrid adquiere la propiedad de la zona comprendida entre la iglesia y el patio central |
| 1997 | El Antiguo Hospital es incluido en el catálogo de edificios protegidos con el grado de protección especial |
| 1999 | Colocación de unas rampas laterales para mejorar la accesibilidad en la entrada principal |
| 2001 | Habilitación para el acceso directo desde la calle Maudes al servicio de venta de documentación e información urbanística |
| 2002 | Estudio del estado de alteración de la piedra por la empresa Micra |
| 2004-2005 | Informes de la empresa CPA, S.L. para la reparación de las fachadas y del Instituto de Geología Económica (CSIC-UCM) sobre los estudios previos a realizar para la conservación de la piedra |
| 2006-2008 | Restauración integral de las fachadas y del muro perimetral acometida por la empresa CPA, S.L. |

Etapas establecidas en la historia del Antiguo Hospital de Jornaleros de Maudes.

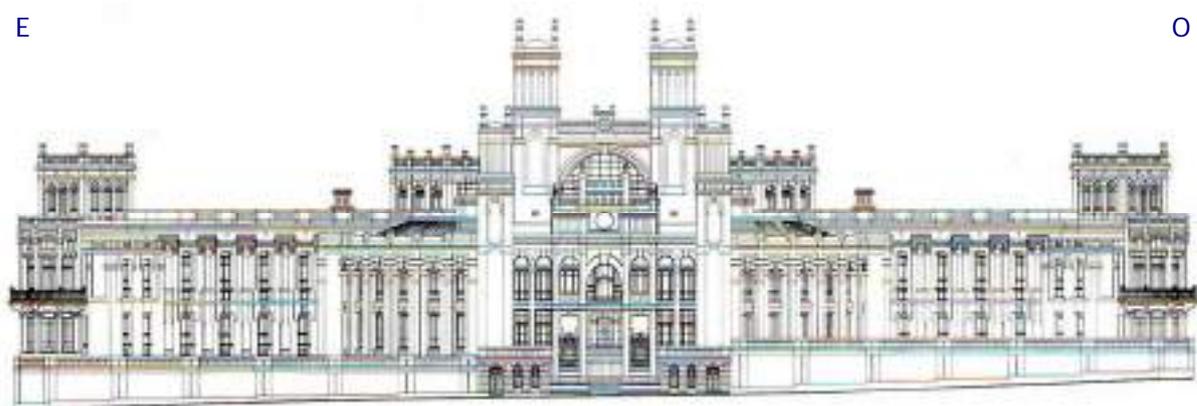
- 1906-1936: Construcción y primeros años.
- 1936-1939: El hospital durante la Guerra Civil.
- 1940-1970: Hospital Militar de Urgencias.
- 1970-1984: Abandono y subasta del hospital.
- 1984-1986: Rehabilitación y recuperación del hospital.
- 1986-actualidad: El Antiguo Hospital como edificio administrativo.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE PARAMENTOS Y MATERIALIDAD PÉTREA EN EL ANTIGUO HOSPITAL

En el estudio de los materiales empleados en un edificio histórico sobre el que se va a intervenir, el análisis de los paramentos supone un instrumento de gran utilidad para las actuaciones a realizar. En el inmueble objeto de estudio, esta lectura ayuda a la analizar y entender los patrones o distribución de color que se generan en los paramentos (capítulos 7 y 8). El Hospital de Jornaleros se levanta en pleno apogeo del hierro y el cristal, de la prefabricación y ensamblaje en el proceso constructivo y de la estandarización de los proyectos, suponiendo un ejemplo de la sistematización que caracteriza la obra de Antonio Palacios. El planteamiento constructivo artesanal y el gusto por la grandiosidad de la rudeza queda patente en los paramentos, donde la construcción se limita casi al ensamble de las piezas.

Los muros del Antiguo Hospital se corresponden con una fábrica mixta a dos caras, siendo la exterior de cantería y conformada por piezas de morfologías y tamaños muy diversos, presentando los paramentos un plano principal y diferentes planos de avance. El tratamiento de las superficies es otorgado, por un lado, mediante el acabado tosco de las superficies y el almohadillado de las piezas. Por otro, a partir de las aristas de las piezas resultan diferentes juntas de cantería, que remarcan el despiece de la fábrica y suponen un elemento diferenciador de los planos y niveles de los paramentos. Estos recursos plásticos y constructivos son empleados por Palacios en muchas de sus obras, tanto madrileñas como gallegas. La variabilidad de formas y tamaños de las piezas pétreas se debe en gran medida a la necesidad de amoldar el despiece de los paramentos a la potencia de los bancos en las canteras, para conseguir el máximo aprovechamiento de la piedra. De este modo, el diseño de los paramentos y el tratamiento otorgado a las superficies, responden tanto al gusto de Palacios por mostrar al máximo las cualidades naturales de los materiales como a la necesidad del saneo económico de la construcción.

Considerando que esta Tesis apuesta por el conocimiento del inmueble como estrategia para su conservación, el análisis presentado acerca el edificio al ciudadano, que normalmente lo observa “de paso” y sumergido en la vorágine de la ciudad, quedando además gran parte de las fachadas fuera de su alcance. También, remite al patrimonio industrial de la época, en cuanto a las herramientas y técnicas de labra empleadas. Los paramentos del hospital suponen un ejemplo perfecto de la textura aportada por los materiales a la obra, resultando excepcional la materialidad pétreo del inmueble. Cabrera (2004) indica: “es en las hechuras donde radican los elementos determinantes de la identidad de un edificio, su mismidad y, por esto, la autenticidad del mismo quedara protegida en la medida en que tomemos conciencia de esas hechuras suyas, individuales y únicas, actuando con el respeto que otorga el conocimiento de las manufacturas que lo conforman”.



Alzado de la fachada principal a la calle Raimundo Fernández Villaverde; naves Noreste y Noroeste en los laterales, la iglesia en el centro y la cara Norte del muro perimetral (De Castro 1987).

3.1. LECTURA DE PARAMENTOS

El Antiguo Hospital presenta un fuerte desarrollo horizontal (Armero 2001), distribuyéndose alternadamente macizos y vanos, lo que imprime ligereza a las fachadas así como un interesante juego de luces y sombras¹. Si bien su inconfundible perfil torreado recuerda al Palacio de Comunicaciones (Chueca 2001), el Hospital carece del ornato escultórico de aquél y es el edificio en su totalidad la propia escultura.

Apenas existían otras edificaciones en el entorno inmediato del Antiguo Hospital cuando éste fue construido y, a pesar del muro perimetral, la visión exterior del mismo debía ser considerablemente mejor que en la actualidad. Hoy en día, se consigue una muy buena vista del inmueble desde la calle Raimundo Fernández Villaverde, gracias a su amplitud y a la zona ajardinada existente frente a los edificios Géminis. Sin embargo, el muro de cerramiento y el encajonamiento que presenta el edificio en el entramado urbano que le rodea, dificultan poder atender desde el exterior a los elementos constructivos que constituyen las fachadas del Antiguo Hospital.

El análisis realizado en el inmueble ha permitido establecer un módulo unidad, cuyo traslado en la horizontal constituye las fachadas del edificio y los lienzos del muro perimetral. De forma general, los paramentos presentan un plano principal, constituido principalmente por sillarejos, y diferentes planos de avance, conformados por sillares y piezas de diversa morfología. Precisamente, el fuerte desarrollo en la horizontal del inmueble es compensado por el movimiento que otorgan estos planos que se adelantan respecto al plano principal, y por el propio despiece de los paramentos en muy diversos volúmenes. Estos aspectos, junto a la ligereza que otorga la sucesión de huecos y macizos, impiden que las fachadas en su conjunto resulten monótonas, algo que podría ocurrir al presentar dimensiones tan grandes y estar construidas en su práctica totalidad con un único material.

Se recorre el cuerpo principal de las fachadas de las naves diagonales y el muro perimetral. Se atienden, de abajo a arriba, a la disposición y morfología de los elementos constructivos que los configuran.

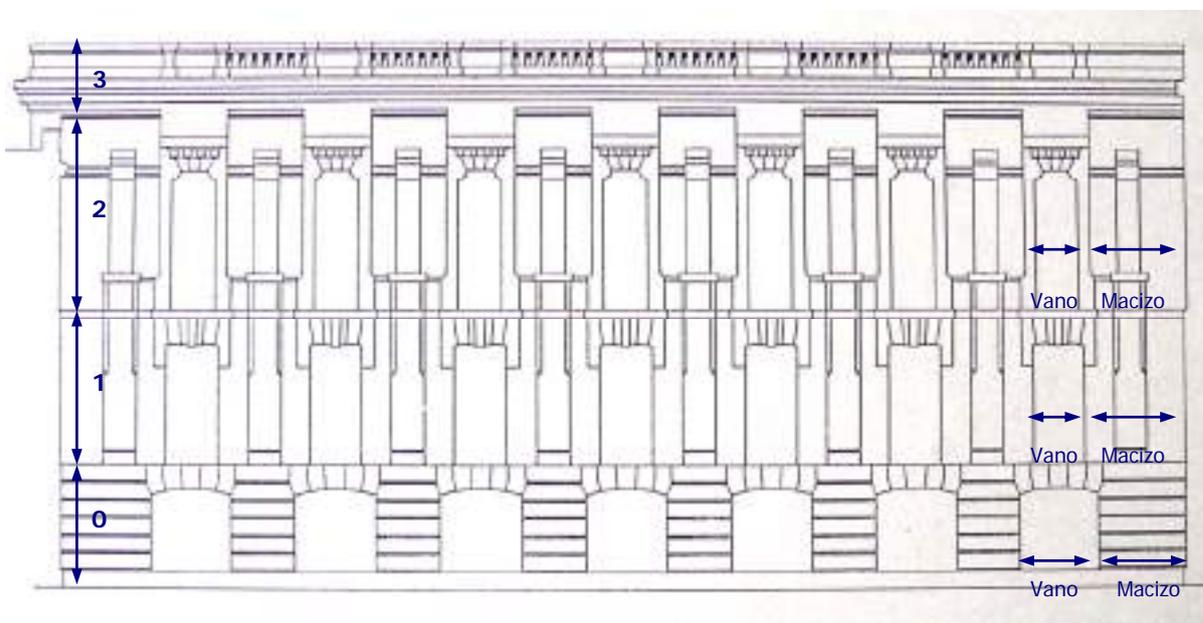


Fig. 3.1. Alzado original dibujado por Antonio Palacios correspondiente a las naves diagonales, con orientación Sur, del Antiguo Hospital donde se ha realizado la lectura de los paramentos en las fachadas.

Nivel basamento (0), nivel inferior (1), nivel medio (2) y nivel superior (3).

El alzado mostrado se corresponde con el cuerpo principal de las naves, quedando excluidos los cuerpos laterales interior y exterior, el mirador semicircular que cierra el cuerpo exterior y los dos torreones de remate dispuestos sobre ambos cuerpos (figura 3.2.e).

¹ Posiblemente, este juego participara también de la escala humana otorgada por Palacios al Hospital, puesto que el cambio de luminosidad con las horas del día y con las estaciones resultaría igualmente beneficioso para los enfermos (De Castro 1986).

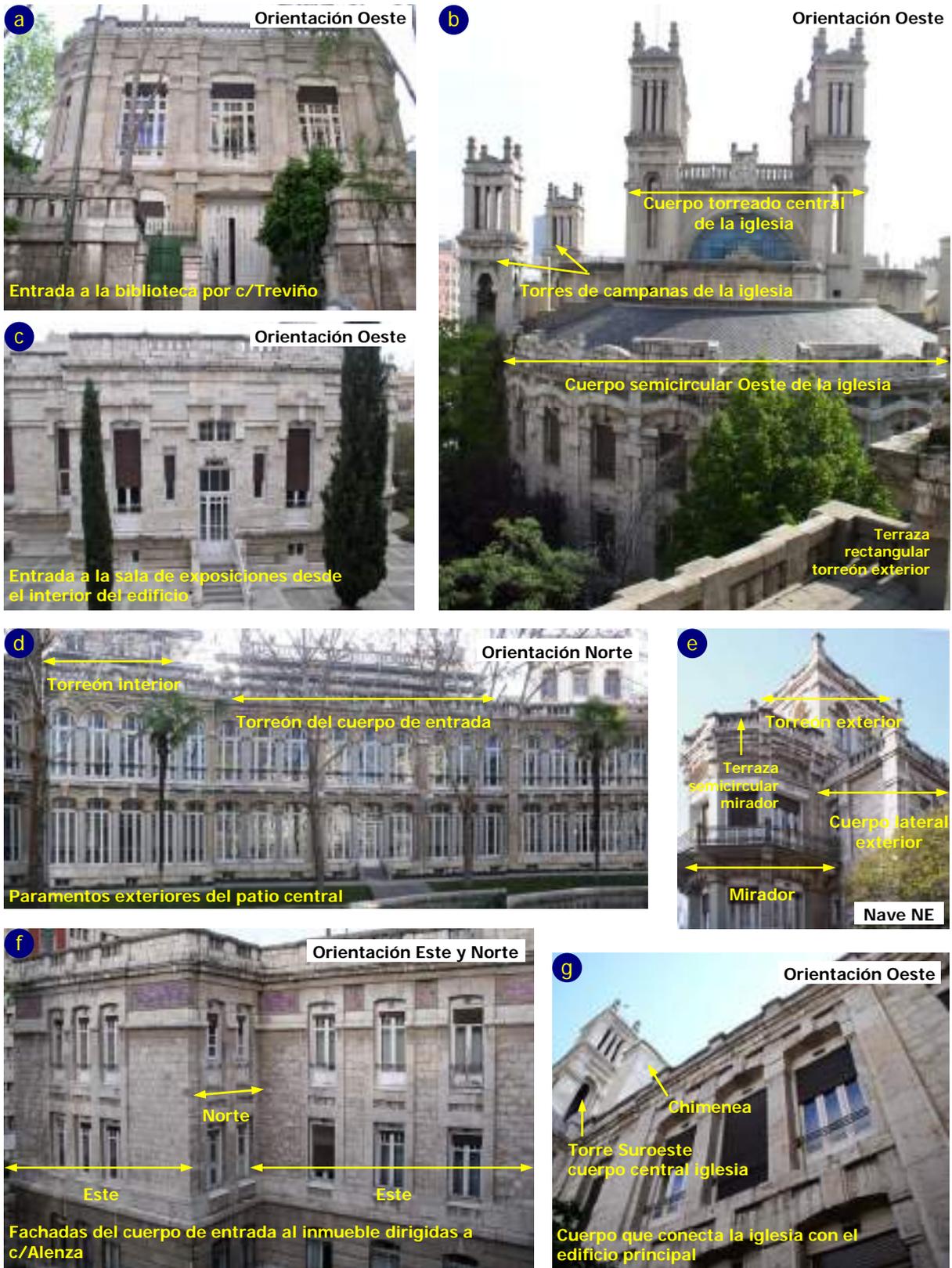


Fig.3.2. Algunas de las fachadas del inmueble cuya lectura no ha sido realizada.

3.1.1. Lectura de paramentos en el edificio principal

Únicamente se realiza la lectura de las fachadas en las naves diagonales, exceptuando los paramentos de los cuerpos laterales, miradores semicirculares y torreones de remate, al considerarse las más representativas y donde mejor se observa la sistematización de la obra (figura 3.1)². Se han diferenciado en la vertical diversos niveles de fachada (figuras 3.1 y 3.3), el nivel inferior (1), el nivel medio (2), constituido por el subnivel piso (2a) y el subnivel friso (2b), y nivel el superior (3), en el que se diferencia la cornisa (3a) y la balaustrada (3b). La planta baja añadida que presentan las naves Sureste y Suroeste (figura 3.1) se ha denominado nivel basamento (0). Las fachadas de las naves diagonales resultan del traslado en la horizontal de un módulo unidad, en cada uno de sus niveles, más los dos cuerpos laterales coronados por sendos torreones (figura 3.3).

Para cada uno de los niveles de fachada, salvo en el nivel superior (3), el módulo unidad consta de un vano y macizo. El inicio del módulo se puede establecer empezando desde el macizo o desde el hueco, quedando siempre uno de los dos macizos laterales, algo más anchos en todos los niveles de fachada, carentes del vano correspondiente (figura 3.1). La variante que muestra la zona central de las cuatro fachadas de las dos naves orientadas al Norte (figura 3.5.b), tal vez responda a un posible acceso directo desde los jardines a las naves desde los jardines que Palacios contemplara, o simplemente a un ligero tratamiento diferencial de los paramentos. La continuidad en la vertical de las pilastras articula las fachadas, otorgando además esbeltez a las mismas, puesto que con la altura reducen progresivamente su anchura. Los niveles están conectados en la horizontal mediante diversas líneas de impostas, quedando las fachadas también constituidas por el traslado horizontal de un módulo unidad que abarca toda la altura de las mismas.

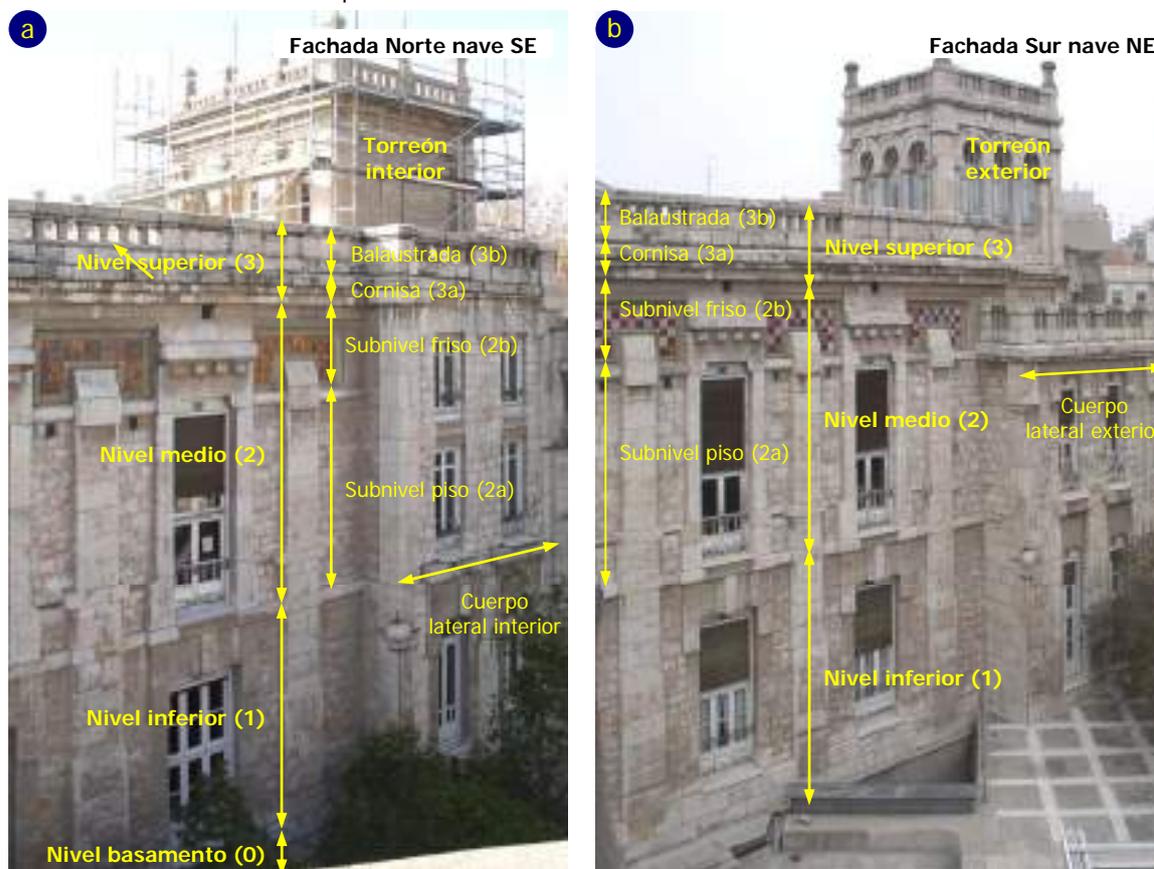


Fig.3.3. Niveles de fachada establecidos en la vertical para los paramentos de las naves diagonales.

² A pesar de esta sistematización, tanto el tamaño y número de las piezas que conforman los diversos elementos constructivos del módulo unidad como las medidas generales del mismo, difieren a lo largo de las fachadas. Por otro lado, la lectura de todos los paramentos del inmueble extendería excesivamente el epígrafe 3.1, ya de por sí extenso, permitiendo la documentación gráfica aportada en la Tesis atender a los mismos.

3.1.1.a. Nivel basamento (0)

0. M Ó D U L O
 B
 A
 S
 A
 M
 E
 N
 T
 O

Macizo y vano rematado superiormente por una arcada. Ambos cuerpos asientan sobre un zócalo que se adelanta ligeramente y el conjunto avanza respecto al plano principal de fachada de los niveles superiores (figura 3.4.a).

Zócalo: constituido por una hilada de sillería.

Macizo: 6 hiladas compuestas por 2-3 sillares. Las dos superiores son más estrechas al amoldarse con la pieza de remate del hueco adyacente, articulándose la quinta hilada con el mismo mediante una moldura en el vértice del sillar correspondiente (figura 3.4.c). Los sillares están retranqueados por el lecho (figura 3.4.b) y presentan tiradas lisas en sus bordes horizontales, a veces también en los verticales (figuras 3.4.b y 3.4.c).

Arcada remate vano: constituida por 5 piezas adoveladas. La forma de las dovelas laterales permite su acoplamiento con las hiladas del macizo contiguo (figura 3.4.c).

Observaciones: en ocasiones los sillares no presentan la tirada en alguna de sus aristas lisas y otras veces ésta presenta modificaciones en su espesor (figura 3.4.b). La junta rehundida inferior de los sillares muestra una labra con cierta inclinación (figura 3.4.b). Este nivel basamento (0), existente únicamente en las naves orientadas hacia el Sur, viene a ser el zócalo del nivel inferior (1) suprayacente.

3.1.1.b. Nivel inferior (1)

1. M Ó D U L O
 N
 I
 V
 E
 L
 S
 I
 N
 F
 E
 R
 I
 O
 R

Macizo, dividido en dos por una pilastra, que alterna con un vano rectangular enmarcado en jambas y rematado por un gran arco adintelado. El nivel queda delimitado inferiormente por un zócalo, salvo en las naves con nivel basamento (0), y superiormente por una línea de imposta. La pilastra, arco adintelado, zócalo e imposta avanzan, en diferente medida, respecto al plano principal de fachada (figura 3.5.a).

Zócalo: constituido por una doble hilada de sillares.

Macizo: 17-20 hiladas compuestas por sillarejos de dos tamaños principales.

Pilastra: basa constituida por un sillar almohadillado (a), salvo por su arista inferior, que articula el zócalo con el cuerpo principal de la pilastra, el cual está constituido por 9-10 sillares con sus bordes verticales lisos. En el sillar inferior de dicho cuerpo principal, con tirada en su arista inferior, puede observarse la junta rehundida. A partir del cuarto sillar, éstos se estrechan y muestran sus esquinas en chaflán (b).

Jambas: constituidas por dos cubos y dos prismas rectangulares intercalados, abarcando dos y cuatro hiladas del macizo respectivamente, y coincidiendo con el plano principal de fachada.

Arco adintelado: conformado por 6 piezas distribuidas simétricamente respecto a una dovela central tripartita que avanza en la vertical escalonadamente. Las dos piezas inferiores del arco (c) permiten su articulación con las jambas. Las caras de la dovela central presentan también una estrecha tirada lisa en sus aristas verticales.

Imposta: constituida por 8-10 piezas prismáticas con su arista inferior lisa. Las piezas más alargadas suelen rematar la dovela tripartita del arco infrayacente y/o coincidir con la pilastra. La imposta muestra distintos planos de avance al acoplarse al arco adintelado y a la pilastra.

Observaciones: algunos de los sillares que conforman las pilastras corresponden con dos piezas (d y la basa de la pilastra en la figura 3.5). En ocasiones, los prismas rectangulares de las jambas son sustituidos por dos piezas de menor tamaño (e). En las dos naves orientadas al Norte, tanto el macizo como el vano de la zona central de fachada presentan mayor tamaño y diferente morfología (figura 3.5.b).

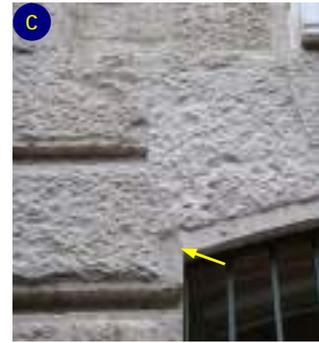


Fig.3.4. Nivel basamento (0).

- a. Módulo unidad.
- b. Sillares con junta rehundida, quedando su lecho retranqueado, exentos parcialmente de bordes lisos. Sobre la superficie interior de la junta, pueden observarse unas marcas diagonales.
- c. Moldura para la articulación de las hiladas del macizo con la pieza de remate del hueco adyacente.

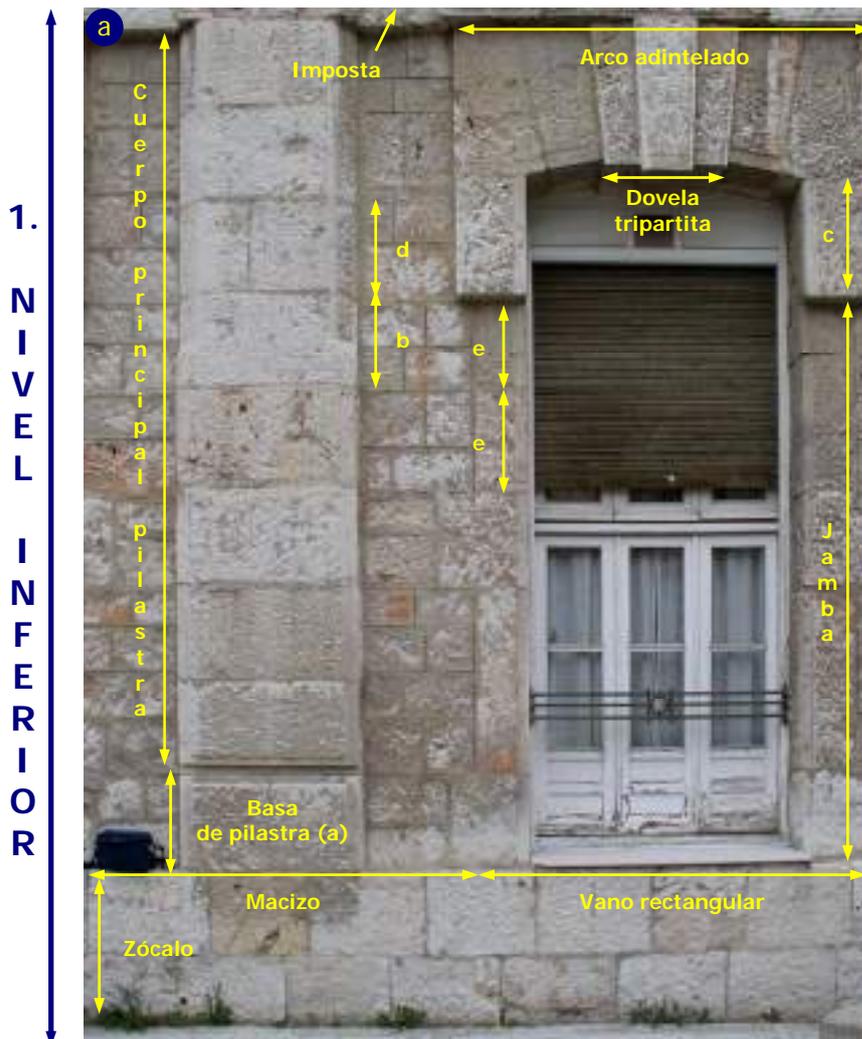


Fig.3.5. Lectura de paramentos en el nivel inferior (1) de las fachadas.

- a. Módulo unidad.
- b. Variante del módulo unidad en el centro de las cuatro fachadas de las dos naves con orientación Norte.

3.1.1.c. Nivel medio (2)

Este nivel se ha dividido en dos subniveles, el subnivel piso (2a) y el subnivel friso (2b), formando parte de ambos el arco adintelado del vano y el sillar superior de remate de las pilastras (figura 3.6). Las pilastras, recercados de los huecos y líneas de imposta avanzan respecto al plano principal de fachada.

| | | |
|----------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M O D U L O | 2a. | <p>Macizo dividido en dos por una pilastra que alterna con un vano rectangular enmarcado por jambas y arco adintelado. El nivel queda encajado por sendas impostas, que limitan con el nivel inferior (1) y el subnivel friso (2b). Las jambas y pilastra avanzan conjuntamente respecto al plano principal de fachada (figura 3.6).</p> |
| S U B N I V E L P I S O | 2. | <p>Macizo: 15-17 hiladas constituidas por 4-6 sillarejos de dos tamaños principales. La hilada superior es algo más alta y presenta dos pequeños huecos rectangulares (a), que forman parte del sistema de ventilación de los muros.</p> <p>Pilastra: basa constituida por dos hiladas de diferente altura, que coinciden en anchura con los sillares infrayacentes y presentan también su borde exterior en chaflán. Una pieza prismática compuesta que sobresale lateralmente (b), separa la basa del cuerpo principal de pilastra. Dicho cuerpo está formado por 6 sillares con sus aristas verticales lisas, y rematado por otro sillar completamente almohadillado, siendo ésta la pieza que más se adelanta del plano principal.</p> <p>Jambas: constituidas por 4 elementos prismáticos, siendo el inferior más ancho y presentando su vértice superior exterior curvado (d).</p> <p>Arco adintelado: ver remate del vano en el subnivel friso (2b).</p> <p>Imposta: constituida por 2 piezas prismáticas con tiradas lisas en sus bordes horizontales y que presentan su borde inferior retranqueado.</p> <p>Observaciones: la cuarta hilada del plano principal (c) está constituida por dos piezas prismáticas dispuestas simétricamente respecto a la pilastra, uniendo la misma con la jamba adyacente. Su menor espesor tal vez responda a la mayor facilidad que debía suponer dimensionar un prisma frente a una pieza que se amoldara a la esquina curvada de la jamba, quedando parte de dicha hilada como una hendidura. La morfología y anchura de la base de la pilastra participa de la continuidad en la vertical de las fachadas.</p> |
| N I V E L | 2b. | <p>Constituido por el remate del vano inferior y por un hueco retranqueado respecto al plano principal de fachada, conectados ambos en su parte superior por la línea de imposta que da paso al nivel cornisa. Los cuerpos que configuran el remate del vano y la imposta se adelantan en diferente medida respecto al plano principal, avanzando conjuntamente la imposta, la hilada superior sobre las piezas en voladizo y el arco adintelado.</p> <p>Remate del vano: se distinguen tres cuerpos, el arco adintelado, el voladizo y la hilada superior. El arco adintelado está conformado por tres dovelas convergentes (e) y dos piezas lobuladas laterales (f). Su parte superior queda constituida por la alternancia de cinco piezas cúbicas (g) y cuatro gotas que avanzan (h) enlazadas mediante unas pequeñas piezas alargadas (i). El voladizo está constituido por tres piezas que muestran su cara superior en ligera pendiente, siendo este elemento el que más avanza respecto al plano principal de fachada. La hilada superior está formada por tres sillares, que suelen coincidir con las piezas infrayacentes del voladizo.</p> <p>Hueco retranqueado: paramento liso rectangular rematado superiormente por una pieza alargada, con su arista horizontal inferior lisa y ligeramente oblicua. En la zona inferior se introduce un sillar que muestra una morfología en cuña y totalmente almohadillado, correspondiente al remate superior de la pilastra. El paramento alberga 40 piezas enmarcadas por un cordón en relieve.</p> <p>Imposta: constituida por 6-8 piezas prismáticas. En la zona central sobre el remate del vano se observa otro hueco rectangular (a), correspondiente también al sistema de ventilación del muro.</p> |
| M E D I O | M O D U L O | |
| F R I S O | | |

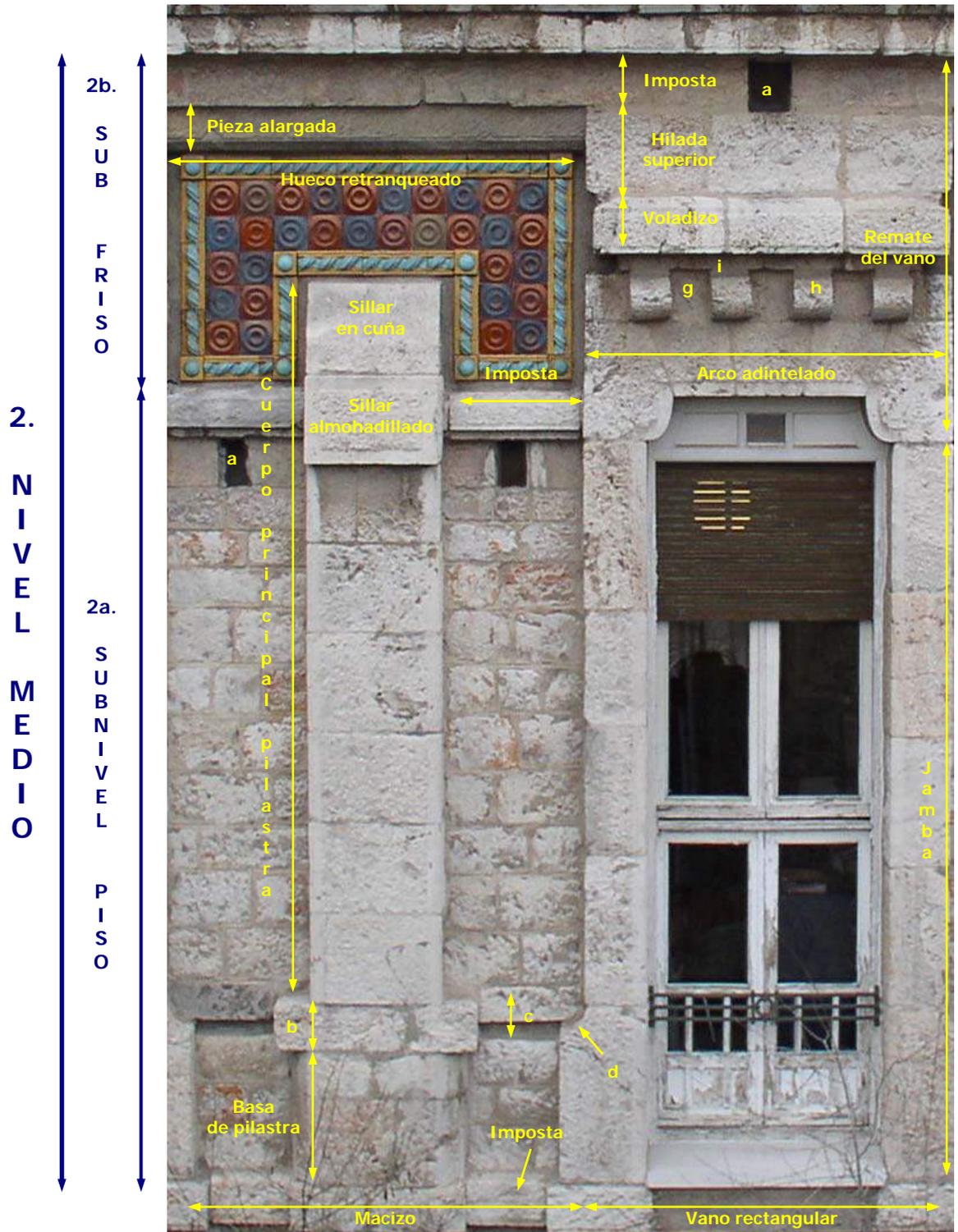


Fig.3.6. Lectura en los subniveles piso (2a) y friso (2b) del nivel medio (2).

3.1.1.d. Nivel superior (3)

| | | | | |
|----|-------------------------------------------------------------------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3. | N I V E L S U P E R I O R | 3a. | M Ó D U L O C O R N I S A | Constituido por tres líneas de imposta que se adelantan progresivamente desde la línea de imposta superior del subnivel friso (2b) infrayacente. Las impostas están formadas por piezas prismáticas de tamaños similares, siendo la imposta intermedia más estrecha que las otras dos y presentando su arista inferior en chaflán. Las piezas de ésta y de la imposta inferior presentan su arista inferior almohadillada, mientras que en la imposta superior presentan tiradas lisas en sus aristas horizontales (figura 3.7.a). |
| | | 3b. | M Ó D U L O B A L A U S T R A D A | <p>Alternancia de un antepecho coincidente con el remate del vano del subnivel friso (2b) y la combinación de huecos con balaustres. El conjunto asienta sobre una hilada de sillería y está coronado por albardillas, a modo de un pasamanos corrido (figuras 3.6 y 3.7).</p> <p>Hilada inferior: constituida por 7-8 sillares con el borde horizontal superior liso.</p> <p>Antepecho: conformado por cuatro piezas, dos gruesos balaustres laterales y dos sillares de gran tamaño centrales.</p> <p>Zona balaustres: 6 balaustres que apoyan en una superficie curvada, la cual asienta sobre los sillares de la hilada inferior. Los balaustres presentan una superficie rugosa en su cara anterior, cuyas aristas verticales están ligeramente retranqueadas (figura 3.7.b). Sus caras laterales y posterior muestran una superficie lisa y sus bordes verticales en chaflán (figura 3.7.c).</p> <p>Coronación: constituida por 6 albardillas con su borde inferior retranqueado (figura 3.7.a), aristas horizontales lisas (figura 3.7.b) y ligeramente curvadas en su cara superior (figura 3.7.d). Las dos albardillas que apoyan sobre los balaustres laterales del antepecho están adelantadas respecto al plano principal de balaustrada y están totalmente almohadilladas.</p> |

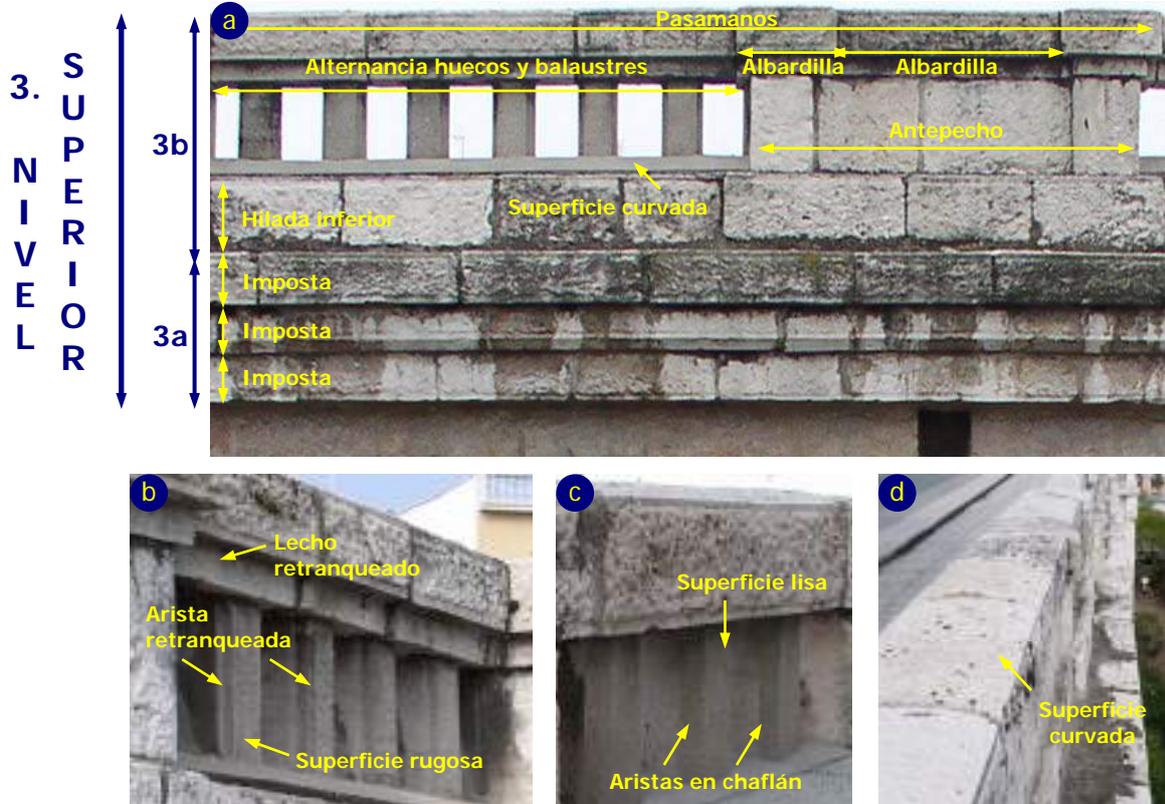


Fig.3.7. Lectura de paramentos en el nivel superior (3).

- a. Módulo unidad.
- b. Morfología de la cara anterior de las piezas que conforman los balaustres y albardillas de coronación.
- c. Superficie lisa y bordes verticales en chaflán en la cara posterior de los balaustres.
- d. Ligera curvatura en la cara superior de las albardillas o piezas de coronación en la balaustrada.

3.1.2. Lectura de paramentos en el muro perimetral

Los cuatro lienzos del muro son prácticamente paralelos a la cuadrícula en la que se encuadra el Antiguo Hospital, delimitada por las calles Raimundo Fernández Villaverde, Maudes, Treviño y Alenza (figura 2.1). Los lienzos están abiertos en su parte central (figuras 3.8.a, 3.8.b y 3.8.c) para permitir el acceso desde la calle al edificio, quedando en Alenza la abertura trasladada hacia el Norte³. El muro presenta sus esquinas en chaflán (figuras 3.8.d, 3.8.e, 3.8.f y 3.8.g) y está constituido por una cara externa y otra interna o trasdós (figura 3.8.h), salvo en las zonas donde el muro queda abierto⁴.

3.1.2.a. Cara externa

El módulo unidad consiste en un paño limitado por sendas pilastras, asentado sobre un zócalo y rematado por una gruesa línea de imposta sobre la que apoya una balaustrada (figura 3.9). Presenta igualmente diversos niveles en la vertical y varios planos de avance sobre un plano principal⁵. Por el traslado en la horizontal de este módulo, los lienzos del muro quedan segmentados verticalmente por pilastras dobles (figura 3.8.i). Cada uno de los cuatro lienzos del muro está constituido por diferente número de paños, de anchura variable, presentando los correspondientes a los chaflanes una anchura considerablemente mayor. En los chaflanes, las piezas laterales del zócalo, imposta, hilada sobre la que apoyan los balaustres y de la albardilla presentan una morfología en ángulo para acometer el chaflán (figuras 3.10.a y 3.10.b). Debido a la diferencia topográfica del solar, para nivelar la línea superior de la balaustrada en todo el perímetro del muro, bien se modifica la altura y/o el número de hiladas en el nivel medio, bien se incrementa el número de hiladas en el nivel inferior, pues las piezas empleadas en el zócalo y en el nivel superior mantienen su tamaño constante⁶ (figuras 3.8.d, 3.8.e, 3.8.f y 3.8.g).

3.1.2.b. Cara interna o trasdós

Constituida por mampuestos de tamaños y morfologías muy diversas (figura 3.8.h), que en ocasiones siguen cierto orden. Así, en algunos tramos se disponen según hiladas, ocupando los mampuestos de mayor tamaño las hiladas superiores. Hacia la zona Sur del solar, la diferencia de altura salvada se hace especialmente notoria⁷ (figura 3.10.c), siendo mayor el desmonte necesario para nivelar aquí el terreno. En el jardín Este de la iglesia y en el que rodea la sala de exposiciones, la tierra cubre la práctica totalidad de esta hoja interna, observándose únicamente la balaustrada (figura 3.10.d). Se observa que los balaustres laterales que rematan las pilastras, no corresponden a piezas enterizas, sino quedan conformados por la unión de fragmentos diversos (figura 3.10.a). Se consideran en este epígrafe los muros de mampostería concertada que sostienen los jardines, apreciables en los patios ingleses de de las naves Sureste (figura 3.10.e) y Suroeste y en la entrada a la biblioteca desde la calle Alenza, y los pequeños muros, también de mampostería, de las cubetas de las fuentes y escaleras de acceso a las habitaciones soterradas bajo el jardín Este de la iglesia.

³ Aunque el Hospital quedaba comunicado con el exterior también por la calle Alenza, esta abertura no era propiamente una entrada sino la fachada del mortuorio. Hoy en día es el acceso desde la calle a la sala de exposiciones (figura 2.7.h).

⁴ En la obra de Palacios, en ocasiones existe un muro perimetral cuyo diseño presenta cierta similitud con la construcción que encierra. Además del Hospital de Jornaleros, este muro se observa en la Central Eléctrica de la calle Valderribas (1922-1923) y en la casa que se construyó en la localidad madrileña de El Plantío en 1942. Construcciones ya desaparecidas, como el Palacio del Marqués de la Maza (1907-1908) en Madrid, y la Escuela Fernández Areal (1904-1906) en O Porríño, Pontevedra, igualmente presentaban un muro de cerramiento.

⁵ Debido a su menor altura, los niveles corresponden más bien a los diversos elementos constructivos que constituyen los paños. No obstante, se ha mantenido la misma terminología que la utilizada para las fachadas.

⁶ En los chaflanes de Maudes con Treviño (figura 3.8.d) y de Maudes con Alenza (figura 3.8.g) se observan saltos en la línea superior de la balaustrada, debido al considerable desnivel a salvar en la zona Sur del solar. Originariamente, el zócalo debía quedar más visible de lo que hoy en día se observa. Así, en las calles Maudes, Alenza y Treviño está constituido al menos por tres hiladas de sillería, impidiendo la pavimentación de la acera determinar si en la cara del muro orientada a Raimundo Fernández Villaverde está formado por dos o más hiladas.

⁷ En las zonas exentas de jardines, la cara interior podría indicar la altura que originariamente debió presentar la hoja externa del muro (figura 3.10.c), hoy parcialmente camuflada al quedar el zócalo cubierto por las aceras. También pudo ocurrir que el terreno se excavara más en la zona Sur, no coincidiendo el nivel del suelo con la cota topográfica existente fuera del muro.

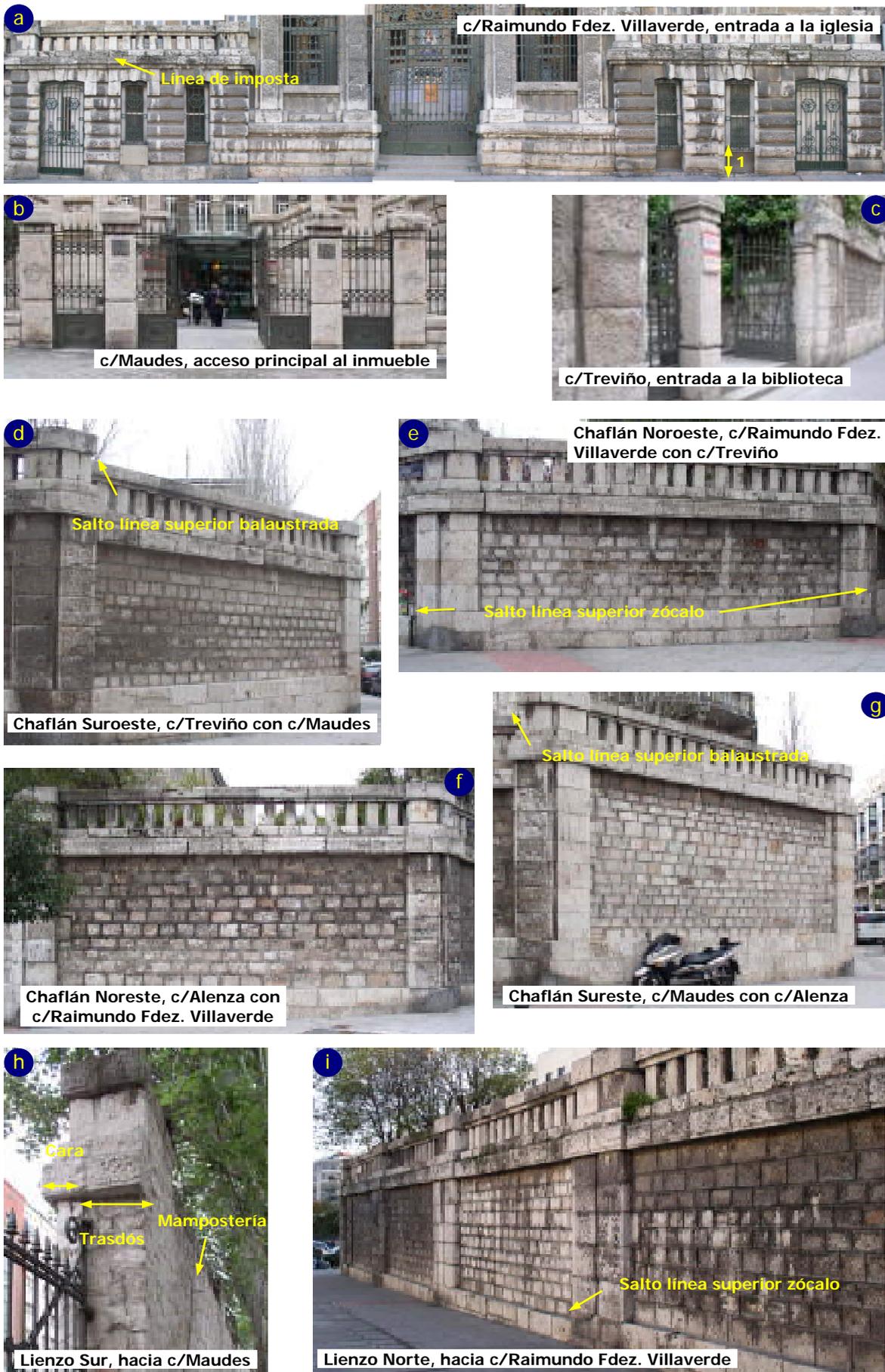


Fig. 3.8. Diversos aspectos del muro perimetral que bordea el Antiguo Hospital de Jornaleros de Maudes.

Módulo unidad de la cara exterior del muro perimetral:

1. **I** **Zócalo:** constituido por 2-3 hiladas de sillería, formadas cada una por 8-9 sillares. Las
N hiladas presentan diferente altura, que permanece prácticamente constante en todo el
N **F** perímetro. La hilada inferior o intermedia, según la cara del muro considerada, es la que
I **E** presenta mayor altura.
V **R** **Observaciones:** la línea superior de zócalo (a) no coincide en todo lo largo de la cara,
E **I** siendo el salto notorio en la cara Norte (figura 3.8.i) y en el chaflán Noroeste con los
L **O** paños adyacentes (figura 3.8.e). El despiece del zócalo queda algo desencajado en el
R paño de la cara Norte donde en su día hubo una puerta.
2. **Plano principal:** constituido por un número variable de hiladas, entre 6 y 12 según la
N cara del muro y según la localización de los paños. La altura de las hiladas también varía
I considerablemente, tanto de un paño a otro como dentro del mismo paño. En muchos
V paños, las hiladas inferior y superior (b) son más altas que el resto de las hiladas. Hacia
E la mitad, en el contacto con las pilastras la mayoría de los paños presentan una o dos
L piezas alargadas (c), que abarcan un par de hiladas. Debido al avance que presentan
M todos los elementos del muro respecto a este plano principal, el mismo queda
E retranqueado entre líneas verticales y horizontales.
D **Pilastras:** constituidas por 3-6 sillares con tiradas lisas en sus aristas verticales. Si bien
I el tamaño medio del sillar permanece bastante constante, muchas pilastras presentan
O en su parte superior dos sillares de menor altura (d). El plano de pilastra avanza
conjuntamente con el del zócalo y conecta el mismo con la imposta del nivel superior.
Normalmente, una de las aristas verticales de las pilastras coincide con el borde de uno
de los sillares que conforman el zócalo infrayacente (e).
3. **Imposta:** línea horizontal que une las dos pilastras laterales con el plano principal del
N paño y da paso a la balaustrada. Constituida por 5-6 piezas prismáticas sobre el plano
I principal, más otras dos de mayor tamaño sobre las pilastras. Estas dos piezas actúan
V como elemento de enlace con la pilastra contigua del paño adyacente (f_1). La imposta
E avanza en menor medida que el zócalo, si bien presenta dos planos al adelantarse en la
L misma medida respecto al plano principal y respecto a las pilastras. Todas las piezas
presentan sus aristas horizontales lisas, estándolo también el borde vertical exterior de
aquellas que avanzan sobre las pilastras.
S **Balaustrada:** constituida generalmente por 12 balaustres estrechos con sus cuatro
U aristas verticales lisas, más dos gruesos laterales coincidentes con las pilastras que sólo
P presentan bordes verticales lisos en su cara anterior. El conjunto descansa sobre una
E hilada formada por un número variable de piezas prismáticas, a las que se añaden otras
R dos. Sobre estas últimas apoyan los balaustres laterales, atando igualmente los mismos
I con los dos balaustres gruesos del paño adyacente (f_2). Esta hilada queda en un plano
O de avance intermedio entre los balaustres y la imposta inferior. La coronación consta de
R 6 albardillas, más otras dos laterales que también enlazan con los paños anexos (f_3).
Estas piezas presentan las mismas características que la coronación de la balaustrada en
las fachadas, aristas horizontales lisas, lecho retranqueado y su cara superior
ligeramente curvada (figura 3.10.f).
Observaciones: los gruesos balaustres laterales no presentan tiradas lisas en sus
aristas verticales posteriores, puesto que no resultan superficies vistas (figura 3.10.a).

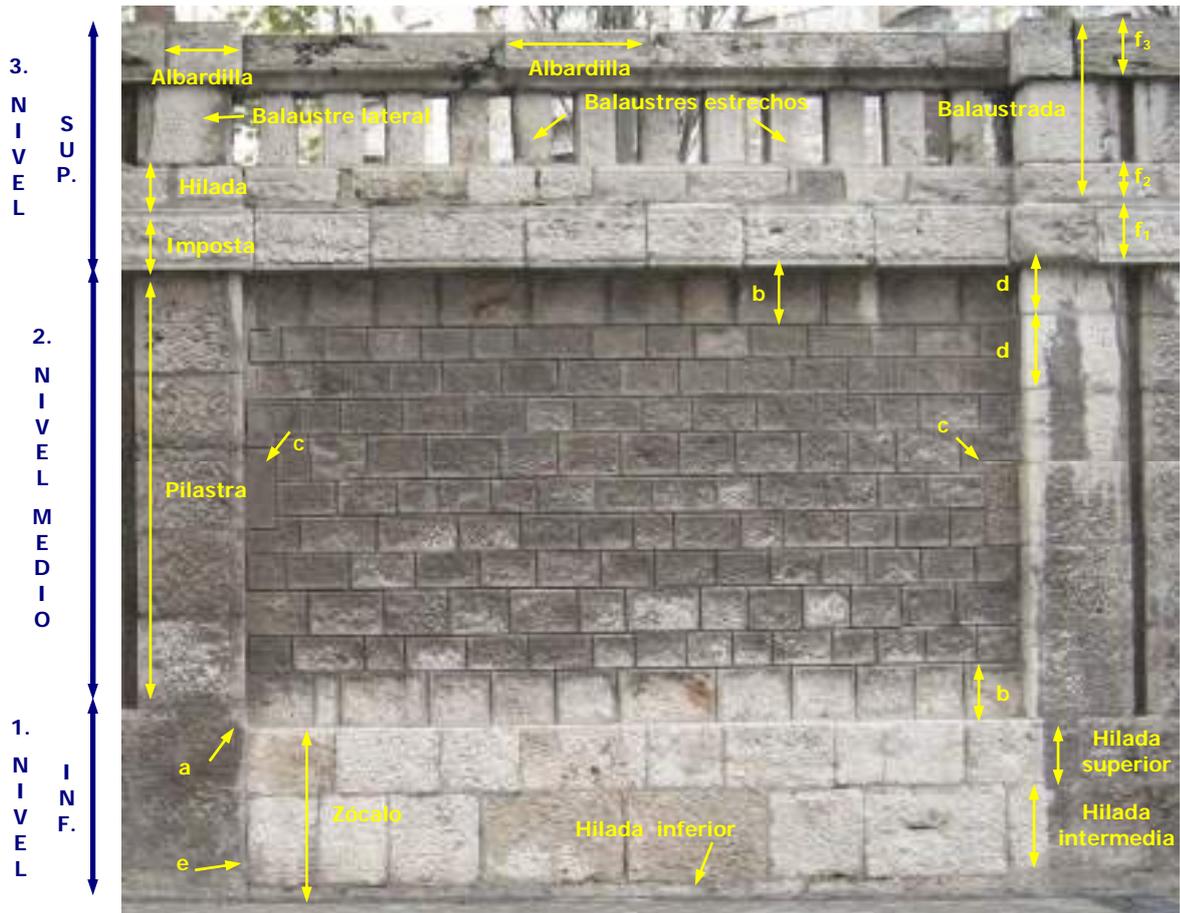


Fig.3.9. Módulo unidad que constituye por la cara externa del muro perimetral.



Fig.3.10. Lectura de paramentos en el muro perimetral del Antiguo Hospital.

- a. Encuentro en esquina de la parte posterior de las piezas que conforman el remate superior de las pilastras (trasdós).
- b. Acometida en ángulo de las piezas laterales que constituyen el zócalo (cara externa).
- c. Altura máxima del muro, trasdós hacia la calle Maudes.
- d. Trasdós cubierto por el jardín anexo a la sala de exposiciones, quedando vista únicamente la balaustrada.
- e. Muro de mampostería concertada que contiene de las tierras junto a la sala de exposiciones y patio inglés en nave Sureste.
- f. Cara superior ligeramente curvada en las piezas de coronación de la balaustrada.

3.2. MATERIALIDAD PÉTREO DE LOS PARAMENTOS

El monumental trabajo artesanal de las fachadas del Antiguo Hospital recuerda a una fábrica de cantería constituida por muros de doble hoja, levantados con hiladas de sillería y material de relleno en su interior. Sin embargo, la construcción de sus muros se corresponde con una fábrica mixta a dos caras, la exterior de cantería y la interior un trasdosado de ladrillo (figura 3.11.a), combinada con forjados metálicos (Palacios 1909, López-Urrutia 1926)⁸. En las galerías, la cantería no actúa como revestimiento de los muros, coincidiendo el grosor de los mismos con el espesor de las piezas pétreas (figura 3.11.b). En el muro de cerramiento sí resulta apropiado hablar de fábrica de cantería, puesto que no se trata del revestimiento de una estructura interna, sino que las piezas pétreas conforman en su totalidad la cara exterior e interior del mismo (figura 3.18.h). El grueso material pétreo de revestimiento, que también desempeña una función estructural, corresponde a piezas de morfologías y tamaños muy diversos, fundamentalmente sillarejos y mampuestos en el plano principal y sillares y piezas diversas en los planos de avance. En Maudes imperaba la necesidad de utilizar un estilo directo y económico, resultando una molduración fuerte y de gran rusticidad mediante el puro ensamble de las piezas (González-Amezqueta 1967, Pérez-Rojas 1985). El tratamiento rudo de las superficies, responde tanto al gusto de Palacios por mostrar al máximo las cualidades naturales de los materiales como a la necesidad del saneo económico de la construcción⁹ (Arévalo-Cartagena 1999).



Fig.3.11. Aspecto de los paramentos interiores.

Dicho tratamiento es conseguido mediante el acabado tosco de las superficies y el almohadillado de las piezas, recursos plásticos denotan una construcción económicamente ajustada, imprimiendo además el carácter regionalista que caracterizará la obra posterior de Palacios¹⁰. Ya había empleado sendos acabados en el Palacio de Comunicaciones (nº3 en figura 1.1 y figura 3.12.a), repitiéndolos en numerosas ocasiones. En Madrid, en el Banco del Río de la Plata, en las viviendas de las calles de Velázquez (nº13 en figura 1.1) y de José Abascal (nº34 en figura 1.2), en las subestaciones eléctricas de las calles Olid, Valderribas (figura 3.12.b) y Castelló (nº26 en figura 1.2). En Galicia, en el Teatro Rosalía de Castro (figura 3.12.c) y en el Banco Viñas de Aranda (figura 3.12.d), mostrando otras construcciones un tosco superficial (nº15, 19, 20, 22 y 23 en figura 1.3).



Fig.3.12. Acabado rústico y almohadillado de piezas pétreas en obras de Palacios.

⁸ Si bien en las fachadas del Antiguo Hospital no resulta totalmente riguroso hablar de fábrica de sillería, el considerable grosor de las piezas empleadas como material de revestimiento permite referirse a las mismas como sillares y/o sillarejos.

⁹ Arévalo-Cartagena (1999) indica que "la piedra apenas desbastada en las fachadas fue solución cuya economía se aprovechó para conferir fuerza al proyecto". Por otro lado, injustamente se relacionó en ocasiones la rudeza de los paramentos con la condición social de los moradores del Antiguo Hospital, los jornaleros, cuando en la memoria del proyecto se refleja el carácter humanitario que Palacios quiso otorgar al inmueble.

¹⁰ Salvo por la indicación a las *piedras graníticas*, el extracto de la memoria de los proyectos para los Bancos Mercantil y Viñas de Aranda, mostrado en el epigrafe 1.2.3, podría pertenecer igualmente al proyecto para el Hospital de Jornaleros.

3.2.1. Almohadillado y rusticidad de los paramentos

El almohadillado de una pieza pétreo consiste en el desbastado a escuadra de sus caras laterales, para permitir su posterior introducción en el muro, y en el tallado hacia los bordes de unas tiradas de mayor o menor anchura (figuras 3.13.a y 3.13.b). Realmente, una pieza almohadillada está inacabada, mostrando su cara vista una superficie más o menos rugosa al quedar sin desbastar, tal cual resulta del corte de los bloques de partida en cantera, más o menos realizada en relación con las aristas (VVAA 1999, Cabrera 2004).

Sobrino (2002) indica que desde la Antigüedad es conocido el acabado rústico de los materiales pétreos, respondiendo su origen a motivos prácticos más que estéticos. Por un lado, otorgaba a las construcciones cierta sensación de fuerza y peso, configurando además paramentos muy llamativos. Por otro lado, su empleo economizaba las obras, puesto que conseguía el máximo aprovechamiento del material y reducía los tiempos de trabajo. El almohadillado estuvo desde su origen asociado a la imagen de dominio propia de las obras civiles y militares. Durante la Edad Media, el empleo de este recurso respondía más bien al tipo de piedra tosca utilizada, y no tanto a la economía de las construcciones. El almohadillado otorgaba a los muros una mayor resistencia contra la percusión, algo que resultó de suma importancia en la arquitectura medieval fortificada (Viollet le Duc 1996). En el Renacimiento se siguió empleando este tipo de acabado para regular la apariencia de una estereotomía heterogénea, y en las cárceles norteamericanas del siglo XIX era muy común el tratamiento tosco de los sillares (Arévalo-Cartagena 1999). Sobre la superficie rugosa sin desbastar, las tiradas laterales se pueden perfilar con el martillo cóncavo o con un escafilador, punteando finalmente la superficie con martillina o bujarda (figura 3.13.c). La pieza almohadillada resulta de la conjunción del acabado rústico con la labra fina de las aristas, mejorando las tiradas el aspecto final de las piezas una vez colocadas en obra. El almohadillado permite el mejor acoplamiento de las piezas, actúa como ornamento de las mismas y posibilita que obras de cantería irregular aparenten una total homogeneidad, revelando el despiece de la fábrica pétreo.

En el Antiguo Hospital, el almohadillado de los paramentos potencia el carácter pétreo del inmueble. Todas las piezas de cantería empleadas para levantar las fachadas y el muro perimetral muestran en su cara vista¹¹ un acabado superficial rugoso, presentando muchas de ellas sus bordes lisos en mayor o menor medida, incluso aquellas que configuran las fuentes o las barandillas de las escalinatas de acceso. Tanto en las fachadas como en el muro perimetral, gran parte de las piezas presentan todas o algunas de sus aristas lisas, oscilando la anchura de la tirada entre los 4 y 8 cm según el tamaño de la pieza, y están repasadas con martillina o bujarda (figura 3.14.a). En general, muestran bordes lisos los sillares del nivel basamento, las piezas que conforman los diversos planos de avance y aquellas que enmarcan los huecos de fachada. No ocurre así en las ventanas superiores de los torreones de las naves, en el zócalo de las ventanas inferiores de la biblioteca, en las fachadas Este y Oeste del cuerpo que une la iglesia con el patio central y en las fachadas semicirculares de la iglesia (figura 3.14.b).

Únicamente los sillares correspondientes al remate superior de las pilastras y las piezas que avanzan en la coronación de las balaustradas en las fachadas, muestran sistemáticamente las cuatro aristas lisas (figura 3.6). Algunas piezas presentan tres aristas lisas, como algunos sillares del nivel basamento (figura 3.7.a), los dos sillares inferiores de las pilastras (figura 3.5) o las piezas que avanzan en las líneas horizontales del nivel superior en la hoja externa del muro (figura 3.9), otras solamente las aristas verticales, como los sillares de las pilastras (figura 3.5), y otras únicamente una, como las piezas que conforman los recercados de los vanos, en las que únicamente se ha labrado la tirada en la arista dirigida hacia el hueco (figura 3.5).

¹¹ También las superficies ortogonales al frente de fachada así como las superficies inferiores de algunas piezas (en cornisas y balaustradas) muestran un acabado rugoso y/o tiradas lisas en sus bordes.

Merece la pena atender a la rugosidad superficial de los peldaños en las escaleras exteriores, que minimiza el riesgo de deslizamiento, presentando las superficies verticales igualmente tiradas lisas en los bordes (figura 3.14.c). La cara inferior de las piezas que configuran impostas y cornisas muestran un goterón, tallado para evitar que el agua alcance los paramentos verticales inferiores, tanto en las fachadas (figura 3.14.d) como en el muro perimetral, donde además se puede observar su superficie acabada con martillina (figura 3.14.e). No se ha observado marca alguna que correspondiera a la huella dejada por las diversas herramientas que pudieron utilizarse para el traslado y/o colocación de las piezas en la obra. Salvo las grandes piezas de los zócalos y pilastras, su tamaño posiblemente permitiera su manipulación manual, con la ayuda de rodillos, carretillas o poleas. No obstante, puede que se utilizara algún tipo de herramienta, quedando la marca dejada por la misma en caras no vistas de las piezas. En Maudes, la tirada de las piezas se labró en la propia construcción, posiblemente antes de su puesta en obra, cuidándose especialmente el traslado hasta su colocación definitiva para evitar el desportillado de las aristas. Cabrera (2004) indica que el repaso con martillina de los bordes se efectuaba una vez concluidas las fachadas y el muro perimetral.

En otras construcciones madrileñas, Palacios apostó por emplear piezas pétreas almohadilladas, pero con una ligera rugosidad de la superficie vista mediante el empleo de martillina y un fino perfil a modo de tafilete. Así se observa en la Casa Bugallal (figura 3.15.a) o en las viviendas de las calles Marqués de Villamejor (nº4 en figura 1.1), Paseo de la Castellana 28 (figura 3.15.b), Velázquez (figura 3.15.c) y Ortega y Gasset. El mismo aspecto presentan los morteros de revestimiento empleados en la Casa Bugallal (nº11 en figura 1.1), las viviendas de las calles Ortega y Gasset y Paseo de la Castellana 10-12 (figura 3.15.d), la Casa Palazuelo de la calle Mayor 4 (nº20 en figura 1.2) o en las subestaciones eléctricas de Valderribas (figura 3.15.e) y Castelló (figura 3.15.f)¹².

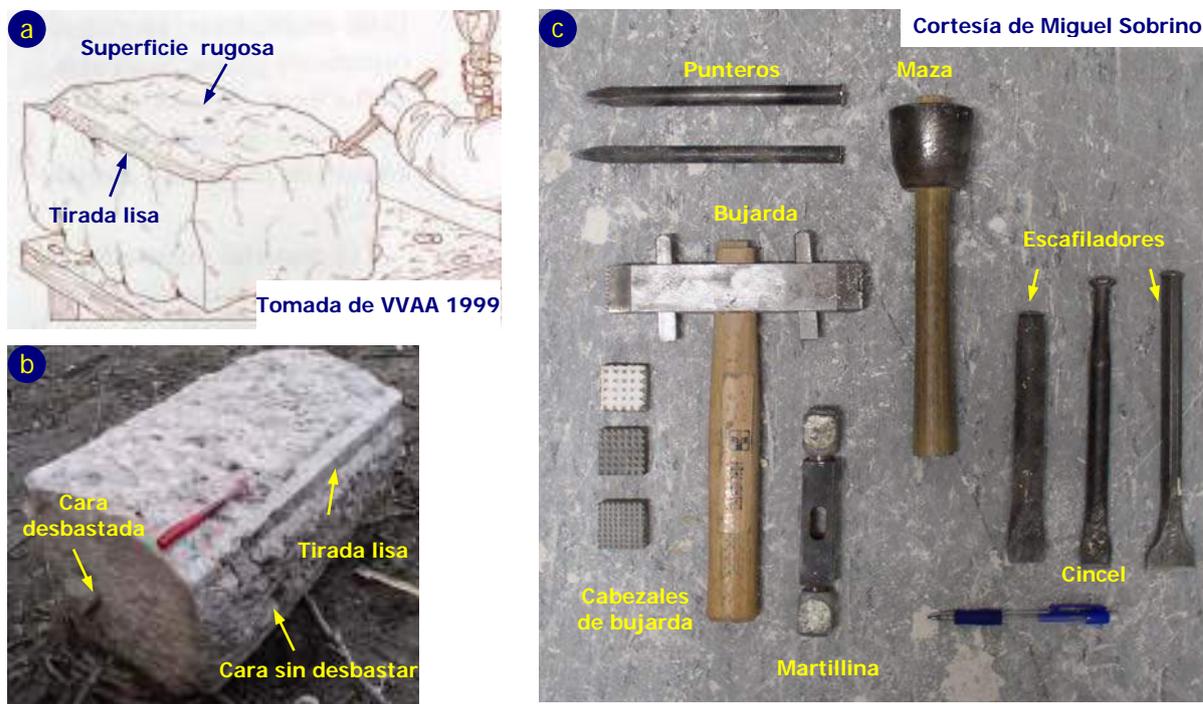


Fig.3.13. Aspectos relacionados con el dimensionado y la labra de las piezas pétreas utilizadas en los paramentos del Antiguo Hospital.

- Labra de un sillar almohadillado.
- Albardilla de la balaustrada del muro perimetral con sus caras vistas almohadilladas.
- Algunas de las herramientas utilizadas para la labra de las piezas de cantería.

¹² Aunque en la tabla 1.1 se indicaba que los morteros de revestimiento hoy en día existentes en las construcciones de Palacios en Madrid no corresponden a los originales, concretamente en las instalaciones eléctricas de las calles Valderribas y Castelló sí se conservan los primitivos morteros. Estos revestimientos simulaban un aspecto pétreo, mostrando un tratamiento superficial (figuras 3.15.e y 3.15.f) similar al otorgado a la piedra en otros inmuebles.



Fig.3.14. Diversas observaciones sobre el almohadillado de las piezas de cantería que constituyen los paramentos del Antiguo Hospital.



Fig.3.15. Diversos tratamientos superficiales en los materiales pétreos empleados en la obra madrileña de Antonio Palacios.

- Piezas con tiradas lisas en las aristas horizontales y superficie central lisa repasada con martillina y/o bujarda.
- Idem que la figura anterior, pero bordes verticales exteriores también lisos y con tiradas lisas de menor grosor.
- Pieza con tiradas lisas en sus cuatro aristas y con ligera rugosidad superficial de la zona central.
- Mortero de revestimiento con estrechas tiradas lisas en sus bordes horizontales.
- Acabado tosco superficial realizado con puntero y aristas lisas en mortero de revestimiento.
- Revestimiento almohadillado, quedando la superficie central realzada respecto a las aristas lisas.

3.2.2. Juntas de fábrica en los paramentos

A partir de las aristas de las piezas, tanto en las fachadas como en el muro perimetral, resultan diferentes juntas de cantería, que remarcan el despiece de la fábrica y suponen un elemento diferenciador de los planos y niveles de los paramentos (figura 3.16.a). De forma general, en los planos de avance el dimensionado de las piezas es bastante regular y la fábrica presenta juntas lisas (figura 3.16.b), mientras que en el plano principal el corte de las piezas es más irregular, la fábrica está concertada y presenta juntas llagueadas (figura 3.16.c). El rejuntado de la fábrica en el plano principal de los paramentos, otorga a los mismos un aspecto muy ordenado y expresivo (Cabrera 2004). La regularidad de la fábrica es conseguida por el tratamiento ortogonal del material de rejuntado, en el que por incisión queda la zona central de la llaga rehundida, extendiéndose este material hacia el centro de las piezas (figura 3.16.d). En el muro perimetral, la zona superior de los sillarejos que constituyen el plano principal queda ligeramente inclinada respecto a la arista superior de la superficie vista (figura 3.16.f)¹³. Esta morfología, que deja gruesas juntas llagueadas en el paramento (6-8 cm), no se observa en el plano principal de las fachadas, donde las juntas no llegan a ser tan anchas y la pérdida del rejuntado permite en ocasiones atender a las cuñas de madera utilizadas para el asiento de las piezas (figura 3.16.g).

El tercer tipo de junta se trata de una junta rehundida, resultado de labrar una segunda entalladura más profunda en uno de los laterales de la pieza (figura 3.16.h). Una vez se colocan las piezas en la construcción, éstas quedan retranqueadas por el lecho, presentando las gruesas juntas de cantería una forma en canal (figura 3.16.i). La junta rehundida se observa en el nivel basamento de las dos naves orientadas al Sur (figura 3.4), del cuerpo de entrada (figura 3.2.f), de la sala de exposiciones (figura 3.2.c) y de la portada de la iglesia (figuras 3.8.a y 3.16.i). En otras zonas de los paramentos también se observan piezas labradas empleando este recurso, como en aquéllas que constituyen la imposta que subdivide el nivel medio (figura 3.6), las columnas de las puertas abiertas en el muro de las calles Maudes y Treviño (figuras 3.8.b y 3.8.c respectivamente) y las albardillas de las balaustradas. Precisamente, por la posición que ocupan, estas piezas de coronación permiten atender a la morfología completa que presenta una pieza en la que se ha labrado una entalladura más profunda a partir de una de sus aristas (figura 3.7.d parte anterior y figura 3.7.e parte posterior).

Este recurso acentúa la fuerza los paramentos, ya de por sí proporcionada por el almohadillado de las piezas. Sin embargo, no es utilizado en los zócalos de las naves orientadas al Norte, de la biblioteca, de las fachadas semicirculares de la iglesia, de los patios interiores ni de la cara externa del muro, donde los sillares carecen totalmente de tiradas en sus aristas, mostrando superficies rugosas. Únicamente se observa la junta rehundida sobre la arista superior de los sillares que articulan el zócalo con el cuerpo principal de las pilastras en las fachadas de las naves orientadas al Norte (1 en figura 3.16.a). Palacios empleó diversos tipos de junta rehundida para incrementar la magnificencia de sus obras, principalmente en los basamentos. En Madrid, en el Palacio de Comunicaciones, Casa Palazuelo de la calle Alcalá, Banco del Río de la Plata, Casa Matesanz, Banco Mercantil e Industrial o en las viviendas de la calle José Abascal (figura 3.17). En Galicia, en el Teatro Rosalía de Castro, el Balneario de Mondariz y en el Banco Viñas de Aranda (figura 3.17). Hoy en día, en casi todas sus construcciones madrileñas se observa que las fábricas revestidas con morteros también muestran las juntas horizontales rehundidas, presumiblemente como lo estuvieron en origen, presentando cierta continuidad con los basamentos y actuando a veces como elemento unificador en las fachadas. Puede atenderse a estos revestimientos con junta rehundida en las Casas Palazuelo de las calles Mayor y Alcalá, Casa Bugallal, Hotel Alfonso XIII o en las casas de las calles Humilladero, Paseo de la Castellana, Velázquez, Ortega y Gasset y Fernández de la Hoz (figura 3.18).

¹³ Esta observación ha sido posible gracias a la retirada del mortero de junta efectuada en la intervención acometida en el inmueble durante la realización de la presente Tesis Doctoral (figura 3.16.e).



Fig.3.16. Diversos aspectos relativos a las juntas de cantería en los paramentos del Antiguo Hospital. Dibujos tomados de Cabrera (2004).



Fig.3.17. Construcciones madrileñas y gallegas de Antonio Palacios cuyos paramentos de cantería presentan juntas rehundidas (zona indicada con flecha amarilla).

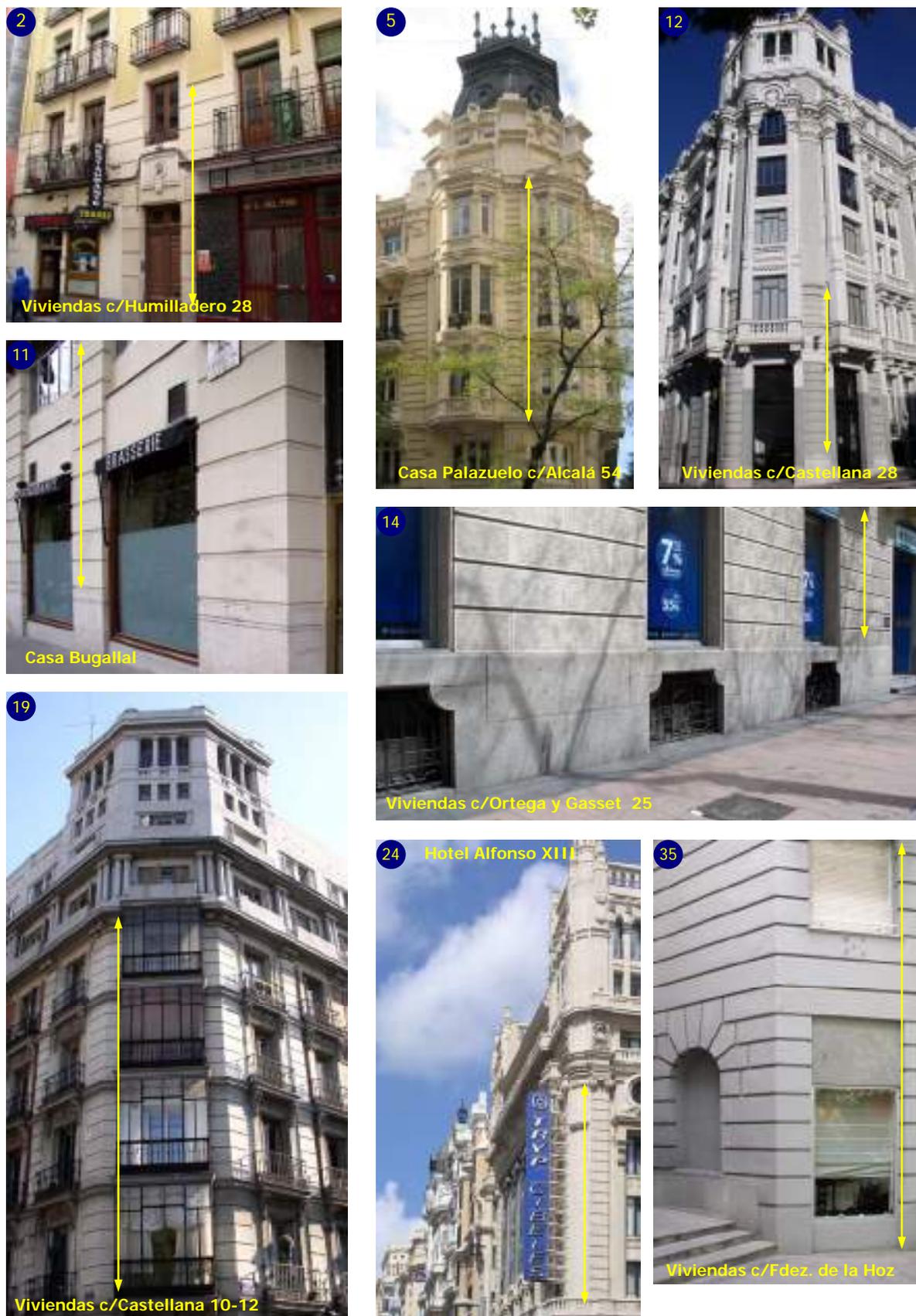


Fig.3.18. Construcciones madrileñas de Palacios con paramentos de fábrica revestida mostrando juntas rehundidas (zona señalada con flecha amarilla).

La numeración de las fotografías está referida a la tabla 1.1.

**MATERIALES PÉTREOS Y CERÁMICOS UTILIZADOS EN LOS
PARAMENTOS DEL ANTIGUO HOSPITAL**

N—Construcción—Se emplearan en el edificio, los siguientes materiales y sistemas de construcción:

En cimientos, que serán a ranja corrida, hormigón de piedra silícea y mortero hidráulico.

Para muros, se empleará cantería granítica en socalos, y fábricas mixtas de ladrillo y mampostería caliza, en todos los pabellones, con algunos elementos de cantería en el pórtico principal de la Iglesia, pilares de arquerías en patios, etc.; piedra artificial en impostas, cornisas, pináculos y otros.

Suelos de viguetas de acero y bovedillas, empleándose también los de cemento armado.

Las cubiertas serán en terrazo, con asfalto natural en pabellones de enfermos, Iglesia y galerías. En el resto, pisana española.

Solados de mármol en la Iglesia y escaleras, y de baldosín hidráulico en el resto del edificio. En los patios cubiertos, de planta baja de pabellones y sótanos, asfalto natural, sobre hormigón.

La simbiosis entre materiales heterogéneos es uno de los temas favoritos de Palacios, destacando su "tendencia a valorarlos directamente y a hacer de ellos casi el elemento sustancial de todo el edificio" (González-Amezqueta 1969). Los materiales de construcción empleados en el Antiguo Hospital y cuyo estudio se aborda en la Tesis se corresponden con materiales pétreos y cerámicos, incluyéndose en los primeros materiales pétreos naturales (la piedra natural) y artificiales (la piedra artificial y los morteros). La caliza y el granito así como las materias primas utilizadas para la elaboración de las cerámicas, de la piedra artificial y de los morteros procedían de canteras españolas (*Crónica e Información* 1912, Arévalo-Cartagena 1999).

Para cada una de las tres tipologías principales de materiales estudiados (piedra, materiales cerámicos y piedra artificial-morteros) se analizan los motivos que condicionaron su selección y utilización, condicionados por aspectos como la ideología del proyecto, el sustrato geológico de la Comunidad de Madrid, la situación extractiva de las materias primas por entonces o el deseo de Palacios por plasmar cierta modernidad a la construcción. Por otro lado, se efectúa su reconocimiento visual en los paramentos y se atiende a su disposición. Los materiales se corresponden bien con material original bien de sustitución, reflejando las modificaciones de las que han sido objeto entre 1916 (finalización de la construcción) y 2006 (inicio de la última intervención acometida).

En tercer lugar, tras la descripción macroscópica de los materiales objeto de estudio, se analizan mediante Espectrofotometría, Microscopía Óptica de Polarización (MOP), Difracción de Rayos X (DRX) y/o Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) en modo electrones secundarios (ES) y/o retrodispersados (ER) con Microanálisis de Energía Dispersiva de Rayos X (MEB-EDS), técnicas ampliamente utilizadas en la caracterización de materiales empleados en el patrimonio construido. Se aborda además la caracterización petrofísica de la caliza, información que resulta esencial a la hora de abordar su deterioro así como de efectuar intervenciones de conservación, aspectos analizados en la tercera y cuarta parte de la Tesis.

Si bien el protagonismo de la caliza en los paramentos del Antiguo Hospital es indudable, llegando a pasar algo desapercibidos los materiales cerámicos así como la piedra artificial y los morteros, todos desempeñan un papel esencial en la construcción del Antiguo Hospital, aspecto que otorga a estos materiales un importante valor patrimonial en sí. El estudio presentado a continuación supone el comienzo de una novedosa línea de investigación, pues establece la relación de los materiales pétreos y cerámicos con el pensamiento de Palacios y la ideología de sus proyectos, concretamente el Hospital de Jornaleros, y estos materiales son analizados por primera vez mediante técnicas de caracterización. Por tanto, este estudio posibilita el mejor conocimiento de sus construcciones y una intervención más respetuosa, suponiendo una apuesta por su difusión y conservación.

CAPÍTULO 4. PIEDRA CALIZA DEL ANTIGUO HOSPITAL

Para la construcción del Hospital de Jornaleros se empleó caliza, granito, pizarra, mármol y *pedra sílicea* (Palacios 1909), siendo la caliza la tipología pétreo que configura los paramentos en su práctica totalidad.

En primer lugar, se analizan los motivos que condicionaron la selección de la caliza empleada, se atiende a su disposición en los paramentos en el año 2006 y se indican las modificaciones de las que ha sido objeto entre los años 1916 y 2006. Considerando la costumbre de Palacios por incorporar material local a sus obras y la consulta del documento López-Urrutia (1926), que especifica la procedencia de la caliza empleada en el Antiguo Hospital, su estudio nos remite al sustrato geológico de la Comunidad de Madrid, concretamente al Sureste de la región. La existencia del documento de López-Urrutia (1926) ha supuesto un privilegio excepcional, pues especifica la procedencia de la caliza empleada en el Antiguo Hospital, extraída en canteras de la provincia de Madrid. Así, en segundo lugar, se analiza la evolución de estas canteras y se atiende a los vestigios de actividad minera que hoy en día pueden observarse en la zona. Tras la caracterización del frente de cantera, se comparan los caracteres macroscópicos y petrográficos de la caliza del edificio y del afloramiento. En tercer lugar, se efectúa la caracterización petrofísica de la variedad pétreo más ampliamente empleada en la construcción del inmueble, prestando especial atención a las propiedades relacionadas con la idoneidad de la caliza para configurar elementos constructivos y con su comportamiento frente a la acción tanto de agentes de deterioro, especialmente el agua, como de tratamientos de conservación.

La caliza que configuraba los paramentos en el año 2006 se correspondía con material original, siendo mayoritariamente una caliza compacta de tonalidad clara correspondiente con las facies homogénea (caliza micrítica) y estromatolítica-oncolítica (bioesparita) de los carbonatos lacustres de la Unidad Superior Miocena de la cuenca continental terciaria del Sureste. Considerando su época de construcción (1908-1916), el Antiguo Hospital también resulta tradicional en cuanto a la caliza empleada, correspondiente a un material tradicional de la región pero que había empezado sustituirse desde finales del siglo XIX por calizas procedente de otros lugares. Entre los factores que influyeron en su selección, la ideología del proyecto, el sustrato geológico de la provincia de Madrid y la situación de las zonas extractivas y de las vías de comunicación jugaron un papel fundamental.

Las facies caracterizadas se formaron en un ambiente lacustre somero, en donde se produce la rápida colmatación de la cuenca y los sedimentos carbonáticos sufren importantes modificaciones debido a fluctuaciones en el nivel de agua. Los procesos diagenéticos acontecidos en los estadios iniciales de la diagénesis, corresponden a la alternancia de periodos de encharcamiento con etapas de exposición subaérea. El ambiente geológico de formación y los procesos diagenéticos otorgan a la caliza unas propiedades petrográficas y petrofísicas determinadas, resultando un material de construcción estéticamente agradable muy apropiado para configurar elementos portantes, especialmente resistente a la acción del agua y al propio paso del tiempo.



La piedra caliza en los paramentos del Antiguo Hospital (izda.) y las canteras de Cornicabra, en Morata de Tajuña, Madrid (dcha.).

4.1. INTRODUCCIÓN

4.1.1. La cuenca terciaria continental del Sureste de la Comunidad de Madrid

Uno de los principales dominios geológicos de la provincia es la cuenca continental de Madrid, perteneciente a la depresión terciaria del Tajo, cuyo relleno sedimentario tuvo lugar durante el Terciario y el Cuaternario. La cuenca de Madrid, de forma triangular y unos 12.000 km² de extensión, limita hacia el Sur por los Montes de Toledo, Norte y Oeste por el Sistema Central y Este con la Cordillera Ibérica y Sierra de Altomira (figura 4.1.a).

Se trata de una cuenca intracratónica generada durante la orogenia Alpina (Portero y Aznar 1984, Vegas et al. 1986), cuya deformación ha estado dirigida por movimientos tectónicos en sus márgenes (De Vicente et al. 1994), que controlaron a su vez la sedimentación en la cuenca y originaron las diversas disconformidades existentes entre las secuencias terciarias. Aguirre et al. (1976) establecen dos episodios en la actividad tectónica pliocena acontecida en la cuenca, una primera fase que origina ligeros plegamientos y fracturaciones, y una segunda fase que produce el basculamiento hacia el Sur de la submeseta meridional.

Sobre la cuenca continental terciaria del Tajo, en el primer tercio del siglo XX destacan, entre otros, los trabajos de Hernández-Pacheco (1923 y 1926) y Royo (1929). A partir de los años cincuenta, se profundiza en sus aspectos tectónicos (Capote y Carro 1968, Alia et al. 1973, Capote y Fernández-Casals 1978), sedimentológicos (Riba 1957, Quirantes 1966, Riba et al. 1969), mineralógicos (Benayas et al. 1960, García del Cura 1979) e hidrogeológicos (Villarroya 1977). En los años 80 y 90, Alonso-Zarza et al. (1992a, 1992b, 1993), Calvo et al. (1989, 1996), Cañaveras et al. (1996), García del Cura et al. (1991, 1994), Megías et al. (1983), Ordóñez et al. (1983, 1991), Ordóñez y García del Cura (1994), Rodríguez-Aranda et al. (1991) y Sanz-Montero et al. (1989, 1995), aportan importantes síntesis sedimentológicas y paleoclimáticas del relleno terciario la cuenca de Madrid, así como un mejor conocimiento de las calizas continentales.

Durante el Terciario, la cuenca de Madrid es rellenada por sedimentos fluviales y lacustres, perteneciendo la mayoría al Neógeno y quedando el Paleógeno restringido a sus márgenes (Alonso-Zarza et al. 2004). Debido al levantamiento y posterior erosión del Sistema Central durante el Mioceno, es aquí cuando tiene lugar el mayor relleno de la cuenca. En dicho relleno mioceno, constituido por capas bastante horizontales, se identifican tres unidades fundamentales, ya referidas por Del Prado en 1864, que indicaba una división inferior con areniscas y conglomerados, otra media con arcillas y yesos, y otra superior con calizas. Benayas et al. (1960) y Riba (1957) dividen el relleno terciario de la cuenca en cinco litofacies, cada una considerada por Megías et al. (1983) como una unidad tectosedimentaria elemental. Calvo et al. (1989) establecen que el registro mioceno de la cuenca de Madrid queda dividido litoestratigráficamente en tres unidades tectosedimentarias principales, que muestran asociaciones de facies bien diferenciadas y quedan limitadas entre sí por discontinuidades sedimentarias. El término ha seguido empleándose hasta la actualidad, así, Sanz-Montero et al. (2003) diferencian estratigráficamente en el relleno neógeno de la cuenca de Madrid tres unidades tectosedimentarias miocenas y otras dos pliocenas, que colmatan el relleno de la cuenca (figura 4.1.b).

A partir de los diversos autores que han profundizado en los aspectos estratigráficos, sedimentológicos y/o paleoclimáticos de la cuenca terciaria del Tajo, se muestra una síntesis de las tres unidades tectosedimentarias neógenas presentes en la cuenca continental de Madrid, identificables a nivel cuencal (García del Cura et al. 1991), que fundamentalmente corresponden a un registro de sistemas lacustres miocenos bien desarrollados.

UNIDAD INFERIOR MIOCENA: constituida por niveles de anhidrita alternando con carbonatos (Megías et al. 1983). Ordóñez et al. (1991) y Rodríguez-Aranda et al. (1991) establecen una alternancia de evaporitas lacustres y depósitos aluviales. Calvo et al. (1989) identifican una asociación de facies sedimentadas en un ambiente marcadamente evaporítico, correspondiente a sistemas lacustres muy someros, cerrados y de carácter perenne. Esta unidad muestra una distribución concéntrica de facies característica de una cuenca endorreica en ambiente árido, con facies evaporíticas en el centro (García del Cura 1979, Ordóñez y García del Cura 1994) y detríticas hacia el borde de la cuenca (Rodríguez-Aranda et al. 1991, Alonso-Zarza et al. 1993).

UNIDAD INTERMEDIA MIOCENA: considerablemente compleja, presenta alternancia de carbonatos lacustres, en parte dolomíticos (Calvo et al. 1989, Alonso-Zarza et al. 2004), evaporitas y clásticos (Alonso-Zarza et al. 1992a). Para Calvo et al. (1989) esta asociación de facies carbonatadas y yesíferas se corresponde con sistemas lacustres salinos más diluidos, reflejando dicha unidad un episodio de endulzamiento de las aguas. También presenta una distribución aproximadamente concéntrica de facies, con sedimentos siliciclásticos en los bordes y carbonatos lacustres en las zonas centrales (Sanz-Montero et al. 2003). Es muy característica de esta unidad la abundancia de niveles edáficos y de carbonatos lacustres muy someros (Alonso-Zarza 1992b, Sanz-Montero et al. 1995).

UNIDAD SUPERIOR MIOCENA: formada por las unidades fluvio-lacustres terminales (Megías et al. 1983), las cuales representan el relleno final de la cuenca. En esta unidad se diferencia un nivel inferior detrítico y un nivel superior carbonático, constituido por los carbonatos fluvio-lacustres del Mioceno Superior (Calvo et al. 1989).

Para Calvo et al. (1989), la Unidad Superior Miocena está muy ligada con los sistemas fluviales y refleja un cambio en el régimen la cuenca hacia un contexto exorreico con aguas cada vez más diluidas, evolucionando los sistemas lacustres de evaporíticos a carbonatados. Según dichos autores, la evolución climática de la cuenca del Tajo es similar a la acontecida en otras cuencas continentales interiores de la Península Ibérica. De forma general se diferencian dos etapas propias de la sedimentación lacustre, una primera en el Mioceno Inferior y Medio con condiciones climáticas secas y cálidas en ambiente de cuenca endorreica, que evoluciona hacia un clima más húmedo y frío durante el Mioceno Superior en régimen de cuenca abierta.

Cada una de las unidades tectosedimentarias descritas, están limitadas a base y a techo por superficies paleokársticas, indicando las rupturas sedimentarias existentes entre dichas unidades (Hernández-Pacheco 1945, Calvo et al. 1989, Sanz-Montero et al. 2003). Pues bien, posteriormente al depósito de los carbonatos lacustres de la Unidad Superior, se suceden eventos sedimentarios, kársticos y erosivos durante el Plioceno, por exposición subaérea de las calizas al desecarse parcialmente la cuenca. Según Wright (1982), el término paleokarst engloba los rasgos kársticos desarrollados en el pasado sobre un sistema hidrológico o paisaje previos. La mayoría de estos rasgos se relacionan con procesos de disolución a pequeña, mediana o gran escala que afectan a materiales solubles, originando porosidad secundaria (Ford y Williams 1989). En los carbonatos, la impronta kárstica se refleja por la abundante oquerosidad, brechificación y acumulaciones de arcillas rojizas (*terra rossa*), rasgos más notorios en el techo de los carbonatos y que se reducen hacia su base (Sanz-Montero et al. 2003).

Estos fenómenos de karstificación generan la aparición a techo de la serie carbonática de la Unidad Superior de una superficie erosiva que afectó al conjunto, relacionándose con una superficie de degradación controlada por la disolución que originó abundantes formas kársticas y considerables acumulaciones o rellenos de *terra rossa* durante el Plioceno (Bustillo 1980, IGME 1990, García del Cura et al. 1994, Martín 1994). García del Cura et al. (1994) se refiere a dichos rellenos como relictos de *terra rossa*, indicando que el basculamiento hacia el Sur del páramo de Madrid producido a finales de Plioceno, que estaba homogéneamente cubierto por *terra rossa*, reactivó la erosión, eliminando la *terra rossa* de las zonas elevadas y acumulándose en las zonas deprimidas.

4.1.1.a. Carbonatos fluviolacustres de la Unidad Superior Miocena

Sobre el nivel detrítico inferior de la Unidad Superior se disponen los carbonatos fluviolacustres del Mioceno Superior. Del Prado (1864) indica que donde el terreno no había sido erosionado, la horizontalidad del relleno superior de la cuenca daba lugar a extensas llanuras, que originan el páramo castellano, de ahí que estos carbonatos se hayan denominado tradicionalmente calizas de los páramos (Hernández-Pacheco 1945). Regionalmente, por calizas de los páramos se entiende el nivel superior de calizas lacustres que gracias a su resistencia constituyen la superficie de los páramos típicos que coronan las cubetas terciarias continentales del Duero, Ebro y Tajo. Debido a su resistencia a la erosión, estos carbonatos originan las mesas, alcarrias, páramos o cerros testigos tan característicos de dichas cuencas (IGME 1975). Estratigráficamente esta denominación resulta poco rigurosa, puesto que la superficie de los páramos no representa un nivel de depósito sino una superficie de erosión (Schwenzner 1936), siendo más preciso hablar de los carbonatos lacustres de la Unidad Superior Miocena (Calvo et al. 1989) o de la serie carbonática de la Unidad Superior (García del Cura et al. 1994).

La heterogeneidad litológica de los márgenes que encuadran la cuenca de Madrid así como su evolución paleoclimática, fueron los principales factores que condicionaron la formación del complejo mosaico de sistemas fluviolacustres en donde se depositó la serie carbonática miocena (Calvo et al. 1989). Este mosaico correspondía a lagos someros no muy extensos y de agua dulce interconectados por los ríos (Sanz-Montero 2003), donde se desarrollaron las diferentes litofacies presentes en la serie (figuras 4.1.b y 4.1.c).

Del Prado (1864) describe las variedades que muestra esta serie, indicando la existencia de calizas de grano fino, de grano heterogéneo, con cavidades irregulares y conductos tubulares, concrecionada, terrosa, arenosa y brechas y, por el contenido en fósiles dulceacuícolas, ya asociaba la serie con carbonatos de agua dulce. En el primer tercio del siglo XX se atribuía su génesis a un ambiente lacustre y palustre (Fernández-Navarro y Carandell 1914, Hernández-Pacheco 1923, Royo 1929). Castells y de la Concha (1951) identifican calizas tobáceas y cavernosas, y Riba et al. (1969) consideran facies oncolíticas y tobáceas. San José (1975) indica que la serie presenta numerosas variaciones locales en desarrollo y facies, masas de calizas lacustres, grises o blancas, compactas y duras, calizas tobáceas con abundantes tallos de plantas, y alternancia de calizas margosas, margas compactas y margas rojizas arenosas con cantos. Bustillo (1980) identifica en estos carbonatos calizas homogéneas de ambiente subacuático tranquilo (micritas, microesparitas o pseudoesparitas), grumelares (con textura grumelar debido a gravels micríticos), lacustres, fosilíferas de zonas pantanosas con desecación (biomicritas con algas, gasterópodos y ostrácodos), brechoideas de ambiente palustre con brechificación (con clastos de otros tipos de calizas), oncolíticas y tobáceas de ambiente litoral y lacustre (con facies estromatolítica y de musgos), y karstificadas de ambiente pantanoso.

Ordóñez y García del Cura (1983) consideran que la serie también presenta facies de medios fluviales de baja energía, existiendo episodios de facies tobáceas, estromatolíticas y oncolíticas que alternan con facies palustres de estancamiento. Calvo et al. (1989) identifican facies tobáceas, oncolíticas, micritas fosilíferas y biomicritas, cuya formación estuvo controlada por la disolución sustrato calcáreo y/o yesífero previo de la Unidad Intermedia Miocena, y correspondiendo el amplio desarrollo de las facies tobáceas y oncolíticas a un episodio de importante fitoproducción. De Este a Oeste, la cuenca evoluciona de facies de borde a facies algo más profundas y tranquilas, en un ambiente de aguas someras, indicando el episodio tobáceo que aparece a techo una evolución hacia ambientes palustres (Bustillo 1980, IGME 1990). García del Cura et al. (1994) señalan que la variabilidad de facies de la serie, con carbonatos biogénicos en facies oncolíticas, estromatolíticas y tobáceas, calizas micríticas folisilíferas con gasterópodos, ostrácodos y charáceas, es propia de ambientes fluviolacustres.

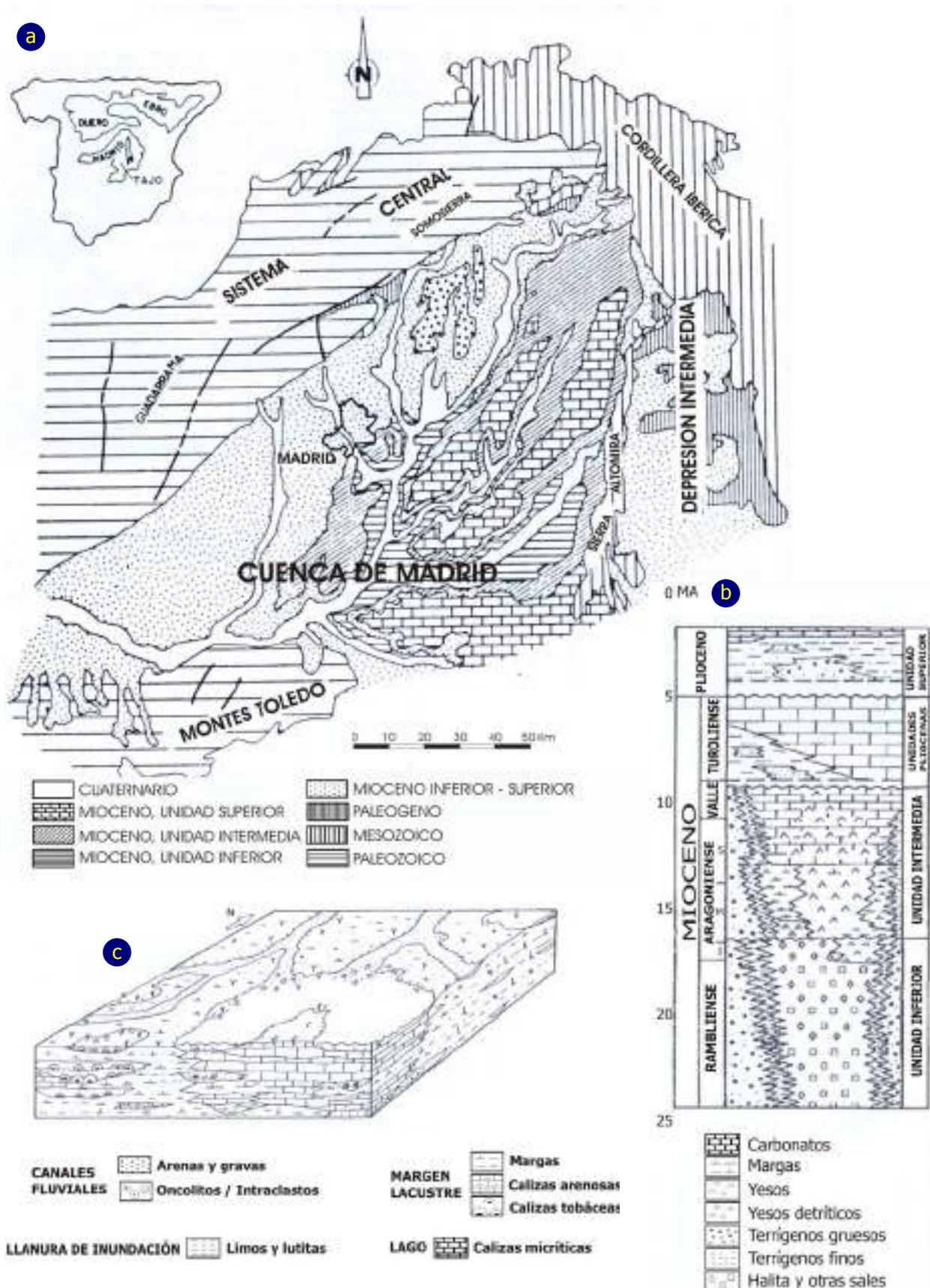


Fig.4.1. La cuenca terciaria del Tajo (tomado de Sanz-Montero et al. 2003).

- a. Mapa geológico simplificado de la cuenca y de sus márgenes.
- b. Principales unidades litoestratigráficas neógenas de la cuenca de Madrid.
- c. Modelo sedimentario para los términos intermedios de la Unidad Superior.

4.1.2. Explotaciones de piedra caliza en la Comunidad de Madrid

Si bien en el Noreste de la región existen importantes canteras donde han sido explotados los carbonatos cretácicos¹, este apartado se centra en la serie carbonática de la Unidad Superior de la cuenca de Madrid, cuyos mayores afloramientos se localizan en el Sureste de la provincia. Los espesores de esta serie decrecen de Norte a Sur, concentrándose las principales explotaciones en el afloramiento que se extiende aproximadamente entre Colmenar de Oreja, Villar del Olmo y Arganda (figura 4.2). El río Tajuña divide en dos el afloramiento, resultando el páramo de Chinchón-Colmenar de Oreja entre los ríos Tajuña y Tajo, y el páramo de Arganda-Morata de Tajuña en el interfluvio Jarama-Tajuña (García del Cura et al. 1994).



Fig.4.2. Mapa geológico simplificado de los páramos de Chinchón-Colmenar de Oreja y Arganda-Morata de Tajuña y localización de las principales canteras donde la piedra caliza es y/o ha sido explotada (a partir de García del Cura et al. 1999).

4.1.2.a. Páramo Chinchón-Colmenar de Oreja: la caliza de Colmenar de Oreja

La caliza de Colmenar de Oreja es un material pétreo natural que se ha explotado desde la antigüedad intensa e irregularmente, siendo muy utilizado en el patrimonio arquitectónico de la Comunidad de Madrid (Del Prado 1864, Hernández-Pacheco 1926 y 1945, García-Fernández 1948, Dapena et al. 1989, García de Miguel et al. 1992, Martín 1994, Menduñía et al. 2005, Fort et al. 2013, Fort et al. 2014). Litológicamente, esta caliza se corresponde con micritas, biomicritas de color gris o beige con fósiles, compactas, unas veces masivas, otras veces de tipo tobáceo y en numerosas ocasiones arenosas y/o arcillosas, que se disponen en bancos subhorizontales.

¹ Las calizas y dolomías cretácicas del borde Sur del Sistema Central han sido utilizadas en el patrimonio construido de la provincia de Madrid desde tiempos romanos, principalmente en los siglos XIV y XVI (Hernández-Pacheco 1945 indica que también durante el XVIII y XIX). Menduñía et al. 2003 indican que las principales canteras se localizan en Soto del Real, Guadalix de la Sierra, Redueña, El Vellón y Torrelaguna (Comunidad de Madrid) y en Tamajón (Guadalajara). Estas calizas y dolomías se denominan genéricamente *piedra de Tamajón* (Puche y Mazadiego 1999).

En el siglo XVI ya existía en Colmenar de Oreja una cantera a cielo abierto, en Navarredonda, saliendo por el Norte del pueblo (Martín 1994). El cuaderno de familias del año 1751 indicaba que “el floreciente sector de la cantería que se ocupa en sacar de las entrañas de la tierra, a corta distancia del pueblo, la célebre piedra caliza o blanca de Colmenar, con la que se viene labrando en buena parte el Palacio Real de Madrid” (Hurtado 1991). Los catastros del Marqués de la Ensenada (1752) y del cardenal Lorenzana (hacia 1780) hacen referencia, respectivamente, a las canteras existentes en el término municipal de Colmenar de Oreja y a las magníficas cualidades de la caliza extraída en las mismas (Jiménez de Gregorio 1978).

Madoz (1847) indica que la segunda mitad del siglo XVIII fue el punto álgido para la caliza de Colmenar y, cuando se refiere en su diccionario a Colmenar de Oreja, señala que “a la parte del Norte se ven canteras de piedra blanca llamada de Colmenar, de donde se extrajo la que se necesitó para los palacios de Madrid y Aranjuez y otros muchos edificios. En el día hay poca extracción, estando limitada a algún baño y piedra para las tahonas de Madrid”. Del Prado (1864) señala que la mejor piedra de sillería de la provincia estaba en el terreno terciario de Colmenar de Oreja. Los canteros de la localidad denominaban a cada capa con un nombre diferente, siendo la superior el cabezal y siguiéndole el banquillo, el sobre banco, el banco gordo, el banco de levante y el banco vidrioso. La piedra para ornamentos se extraía principalmente del cabezal y los bloques más grandes del banquillo, banco gordo y banco de levante. El *Boletín de la Revista de Obras Públicas* del año 1896 se refiere a la necesidad de diseñar los muros según las dimensiones de los bancos en las canteras, para conseguir el máximo beneficio del material. Igualmente, indica que uno de los problemas que presentaba la caliza de Colmenar de Oreja era que para alcanzar los bancos con la dimensión requerida, era necesarias labores de desmonte. Tanto el arranque como el desaprovechamiento de este material, encarecía el coste final de la caliza.

A finales del siglo XIX y comienzos del XX, las canteras que habían sido explotadas durante el XVIII estaban bastante abandonadas (Madoz 1847, Martín 1994, Sancho-Gaspar 1996, Puche y Mazadiego 1999). Más que al agotamiento de los frentes, dicho abandono respondía fundamentalmente al mayor coste que la caliza de Colmenar de Oreja presentaba frente a calizas procedentes de otros puntos de la región y del país, principalmente del Levante español (Fort et al. 2002). A partir de 1920, la Sociedad General de Cementos Pórtland efectuaba la extracción a cielo abierto con el empleo de explosivos (Hernández-Pacheco 1926). El mismo autor indica que las explotaciones eran numerosas, de baja potencia y muy extensas. Señala también que desde tiempos romanos y hasta los años cincuenta, la caliza se explotaba en galerías subterráneas más o menos horizontales que perseguían la uniformidad y potencia de los bancos². Estas galerías eran sostenidas con pilares constituidos por las mismas capas de roca, dejando tragaluces que permitían aprovechar la luz del día.

Durante el primer tercio del siglo XX la explotación de caliza se mantuvo (Estadística Minera 1909-1930), pero a menor ritmo de producción (Puche y Mazadiego 1999), empleándose en importantes construcciones de la capital³. Kindelan y Cantos (1946) indican la existencia en Colmenar de Oreja de zonas de arranque de caliza destinada al dimensionado de grandes piezas de cantería y para la producción de áridos. García-Fernández (1948) señala que, al convertirse las canteras en polvorines durante la Guerra Civil, dejaron de emplearse explosivos. Hoy en día, sólo existe una cantera, propiedad de la empresa Canteras de Piedra de Colmenar, cuya producción se centra en la obtención de bloques, áridos de machaqueo y roca ornamental.

² Aunque la horizontalidad de las capas facilitaba enormemente la extracción, el método de explotación entrañaba cierto peligro, pues el estéril alcanzaba incluso los 10 m y la falta de medios económicos condicionaba la ausencia de técnicas de desmonte. Se explotaba el banco de levante y se dejaba caer el banco gordo, que se arrastraba hacia el exterior para su posterior preparado y serrado. Luego se profundizaba en el banco de levante y se extraían de nuevo los bloques del techo (Dapena et al. 1989, Puche y Mazadiego 1999).

³ Durante el primer tercio del siglo XX, cabe citar, por ejemplo, el uso de la caliza de Colmenar de Oreja en el cementerio de la Almudena (1884-1925), si bien se empleó principalmente caliza de Novelda (Alicante), o en la casa Velázquez (1923-1935). Palacios utilizará puntualmente la caliza de Colmenar de Oreja en muchas de las construcciones madrileñas que levante durante las primeras décadas del siglo XX (tabla 1.1).

Higes (1988) indica que la caliza utilizada para el Hospital de Jornaleros corresponde a *piedra de Colmenar*, considerando oportuno incidir en dos aspectos fundamentales. Por un lado, en ninguna parte se extraía una piedra tan buena para construcción como en las inmediaciones de Colmenar de Oreja (Hernández-Pacheco 1926). Debido a su calidad, pureza y blancura, dicha localidad fue sin duda la más significativa y concentró las más prestigiosas explotaciones, proporcionando al municipio la denominación de *piedra de Colmenar* (Madoz 1847, Martín 1994, Menduïña y Fort 2005). Así, se ha venido empleando el término genérico *piedra de Colmenar* para referirse a calizas miocenas que no han sido propiamente extraídas en las canteras de dicha localidad ni corresponden a la piedra blanca que en la misma se explotaba, sino que procedían zonas próximas, como Cuesta Zulema, Los Santos de la Humosa, Morata de Tajuña, Nuevo Baztán o Campo Real (Puche y Mazadiego 1999, Martínez 2000, Menduïña et al. 2003). Por otro lado, tanto la caliza de Colmenar de Oreja como la de Morata de Tajuña, corresponden a facies características de los carbonatos fluviolacustres de la Unidad Superior de la cuenca terciaria de Madrid (Bustillo 1980). Estos carbonatos se conocen tradicionalmente como formación *caliza del páramo*, pero esta indicación no implica procedencia alguna, puesto que se encuentra ampliamente representada en el Mioceno de la Península Ibérica⁴.

4.1.2.b. Páramo Arganda-Morata de Tajuña: la caliza del Valhondo

Los carbonatos fluviolacustres miocenos también presentan disposición subhorizontal y numerosas variaciones locales en desarrollo y facies. Oscilan entre masas de calizas lacustres, grises o blancas, esparíticas, compactas y duras, calizas tobáceas con abundantes tallos de plantas y alternancias de calizas margosas, margas compactas y margas rojizas arenosas con cantos. Estos carbonatos presentan en el eje del sinclinal de Morata de Tajuña las máximas potencias (San José 1975, García del Cura et al. 1994). Si bien se han localizado escasas referencias sobre la utilización antiguamente de la caliza de Morata de Tajuña como elemento de cantería, Utanda (2004) hace referencia a la existencia de una cantera de piedra azucarada hacia 1826, Morata es tierra de piedra caliza señala Muñoz de Torres (1993), destacando su importantísima tradición calera y yesera (Madoz 1848), que perduró hasta los años 70 (Puche et al. 2007). Puche et al. (2007) se refieren al trabajo de Alvar (1993), en donde se transcriben las relaciones topográficas de Felipe II, en las cuales se indica que las edificaciones de Morata eran de tapias de tierra y yeso, y señalan que hacia 1730 los materiales de construcción eran extraídos y/o fabricados en las canteras, yeseras y tejares de la localidad (Ordenanzas Municipales de 1734).

Cuando Madoz (1848) se refiere a Morata, especifica la existencia de una cantera de piedra "azucarada" bastante limpia y blanca, de canteras de piedra tosca localizadas en los cerros del Norte de la localidad y de una piedra rica en yeso. El dato más antiguo localizado sobre la extracción de bloques de caliza se refiere a la construcción de la iglesia parroquial de Morata, finalizada en 1635, procediendo la caliza utilizada en la misma de una cantera ubicada en un cerro del municipio (De la Torre 1999). De Diego (1891), indica que a finales del XIX se conservaban en dicha cantera piezas labradas de grandes dimensiones para la continuación de la iglesia. Este autor no aporta dato alguno sobre la explotación de caliza, indicando únicamente la existencia en la zona de fábricas de yeso, teja, baldosa y ladrillo. Fernández-Navarro (1907) señala que hacia el Norte de Morata, en una zona elevada, había una explotación de caliza terciaria, tobácea en gran parte y con escaso contenido fosilífero.

⁴ La utilización de los carbonatos fluviolacustres de la Unidad Superior de la cuenca de Madrid en el patrimonio construido de la Comunidad de Madrid es extensible a las formaciones miocenas de otras zonas de la cuenca del Tajo (Brihuega, Ocaña) y del Duero (Campaspero, Medina de Rioseco, Peñafiel, Palencia). Castillos como los de Chinchón y Villarejo de Salvanés (Madrid), Urueña, Villafuente y Rello (Valladolid) o los de Gormaz y Tordehumos (Soria), están construidos con calizas de los páramos cercanos (Puche et al. 1991, Martín 1994).

4.1.3. Una caliza para el Hospital de Jornaleros

En la memoria del proyecto (1909), Palacios no aporta dato alguno sobre la procedencia de la piedra caliza a utilizar. El número 16 de la revista *Crónica e Información* de 1912, indica que todo el material de construcción utilizado procedía de canteras y talleres españoles, sin especificar tampoco las zonas de extracción de la piedra.

A la hora de analizar los motivos que condicionaron la selección de la caliza definitiva, conviene considerar el Palacio de Comunicaciones (1904-1919), pues la piedra caliza está ampliamente representada en sus paramentos y porque se trata de una construcción contemporánea con el Hospital de Maudes (1908-1916)⁵. García-Fernández (1948) señala que para el Palacio de Comunicaciones (1904-1919) se empleó piedra levantina, comentando Arévalo-Cartagena (1999), cuando se refiere a la selección de la caliza a utilizar en las fachadas del citado inmueble, que "... durante 1908 aún se seleccionaba meticulosamente la piedra que iba a destinarse a las fachadas". ... "La caliza requirió un proceso más largo. Dado el volumen de piedra requerido, desde el principio se plantearon dos canteras simultáneas. La caliza de Colmenar de Oreja fue la primera seleccionada, pese al estado de abandono de las canteras, y tras desechar las calizas de Novelda y de Sigüenza, se optaría también por la de Petrel". "... las pruebas se realizaban en obra con una muestra de dos bloques por cantera". Se seleccionaron las canteras de Colmenar de Oreja (Madrid), Petrel (Alicante), Sigüenza y Tamajón (Guadalajara), decidiéndose finalmente por la caliza de Petrel y Colmenar de Oreja⁶. El autor no hace referencia al proceso de selección de la caliza a utilizar en el Hospital de Maudes, durante el cual posiblemente también se barajarían las mismas tipologías de piedra caliza que para el Palacio de Comunicaciones. La comparativa que señala entre los costes de producción de tres de las principales edificaciones realizadas por Palacios en Madrid (tabla 4.1), deja patente que, entre otros aspectos, para el hospital los materiales de construcción tenían que resultar más económicos.

Tabla 4.1. Costes de producción de tres de las grandes obras construidas por Palacios en Madrid.

| Construcción | Años | Precio |
|---------------------------|-------------|--------------------------|
| Banco del Río de la Plata | 1910 - 1918 | 3.530 pts/m ² |
| Palacio de Comunicaciones | 1904 - 1919 | 917 pts/m ² |
| Hospital de Jornaleros | 1908 - 1916 | 400 pts/m ² |

Tomado de Arévalo-Cartagena 1999

Es en el Libro Primero de López-Urrutia (1926), en el apartado dedicado al sistema de construcción, donde se especifica que "los muros de todo el edificio, incluso los de cerramiento del solar, están ejecutados en mampostería de piedra caliza del Valhondo. De la Torre y Paris (1986) indican que la caliza utilizada en la construcción del inmueble procede de las canteras de Morata. El Plan General de Ordenación Urbana de Morata de Tajuña (2004), haciendo referencia a la zona próxima al pueblo denominada El Llano, especifica: "gran parte de esta zona tiene como mayor riqueza la piedra caliza, cuya explotación es de larga tradición en la zona; como curiosidad, la piedra utilizada en la construcción del Hospital de Jornaleros, proviene de las canteras de Morata".

⁵ Señalan Palacios y Otamendi (1904) en referencia al Palacio de Comunicaciones que "basta observar la fachada para comprender que a causa de su gran ligereza, del gran número de huecos que se establecen, se ha reducido a un mínimo el cubo de piedra en ella empleados y, por tanto, dada la gran longitud de la misma y el carácter severo del edificio, no creemos que pueda proyectarse con mayor economía". Esta indicación, en gran parte puede ser trasladada a las fachadas pétreas del Antiguo Hospital de Jornaleros, teniendo en cuenta además el mayor ajuste presupuestario que presentaba su construcción respecto a la del Palacio de Comunicaciones (tabla 4.1).

⁶ En el Palacio de Comunicaciones, la piedra que conforma la práctica totalidad de los paramentos corresponde a la caliza alicantina de Petrel (Arévalo-Cartagena 1999). Se trata de una biocalcarenita perteneciente a la misma unidad transgresiva del Mioceno de donde es extraída la *piedra Novelda* o *piedra Bateig*, material pétreo ampliamente utilizado en el patrimonio construido de Madrid desde mediados del siglo XIX (Fort et al. 2002). En este caso Palacios optó por un material foráneo a la región. Si bien esta decisión estuvo principalmente condicionada por los costes, resultando tremendamente favorable la situación del transporte ferroviario en España por entonces, tal vez Palacios apostó por la caliza de Petrel también como impronta de modernidad, no pudiendo en este caso ser criticado por utilizar materiales tradicionales de la arquitectura madrileña. Por otro lado, debido principalmente a su elevado coste, la caliza de Colmenar de Oreja finalmente sólo fue empleada en los zócalos y en determinados ornamentos (García-Fernández 1948, González-Limón y Álvarez de Buergo 2001).

4.1.4. La piedra caliza en los paramentos del Antiguo Hospital (año 2006)

La caliza es el material pétreo empleado en el inmueble por excelencia, quedando patente la idea de Antonio Palacios de unificar sus construcciones mediante el empleo de un único material (González-Amezqueta 1967). En la bibliografía consultada, se han encontrado muchas alusiones a la materialidad pétreo de sus paramentos, aunque únicamente la memoria del proyecto original (Palacios 1909), López-Urrutia (1926), Vélez (1990) y el informe anónimo redactado en 1973⁷ señalan la utilización de piedra caliza. Si bien la caliza actúa principalmente revistiendo la fábrica de ladrillo, conforman los paramentos en su práctica totalidad. En el edificio y muro perimetral, tanto la cara externa como el trasdós, todas las piezas pétreas están configuradas con piedra caliza, así como los muros de mampostería de los jardines, cubetas de las fuentes y barandillas.

En las fachadas se identifican principalmente tres variedades de piedra caliza, que otorgan cierta heterogeneidad cromática. La práctica totalidad de las piezas pétreas se corresponde con una caliza compacta de tonalidad clara (denominada CCC, figuras 4.3.a y 4.3.b). Se identifica una caliza de coloración oscura y compacta (denominada CCO), algo más blanda (figura 4.3.c), y otra también compacta de coloración rojiza (denominada CCR), que en ocasiones presenta elevada porosidad, debiéndose su tonalidad a material suelto arcilloso alojado en el interior de sus cavidades (figuras 4.3.d y 4.3.f).

También se observan zonas donde la caliza presenta importante porosidad pero carece de material arcilloso (figura 4.3.e). En la balaustrada, además de estas tres variedades, se reconoce una caliza de aspecto arenoso con cantos (figura 4.3.g). La mayoría de las piezas pétreas que constituyen la cara exterior del muro están conformados en general por la misma caliza compacta de tonalidad clara (CCC) que la observada en las fachadas (figura 4.4.a). Se reconocen igualmente una caliza porosa, de tonalidad clara (figura 4.4.b) o rojiza, y una caliza arenosa (figura 4.4.c), con cierta representatividad de ambas en el plano retranqueado del nivel medio, en donde la caliza arenosa presenta en numerosas ocasiones diversas coloraciones rojizas (figura 4.4.a). En el trasdós del muro, las calizas arenosa y porosa rojiza están ampliamente representadas (figuras 4.5.b y 4.5.c).

En una primera aproximación, las variedades identificadas podrían corresponder a las facies homogénea, tobácea y arenosa de los carbonatos fluviolacustres de la Unidad Superior Miocena. Puntualmente, en el muro también se observa una variedad constituida por fragmentos calcáreos litificados, con morfologías angulosas y tamaños muy irregulares (figura 4.5.d), y por una matriz más o menos arcillosa, de ahí las diversas tonalidades rojizas que presentan (figura 4.5.d), que podría corresponderse con una facies brechoide. Las improntas kársticas que principalmente se observan están relacionadas con procesos de disolución-cementación, con la formación de oquedades por la disolución del carbonato cálcico y posterior precipitación de cementos de calcita tapizando las cavidades (figura 4.5.e), y material arcilloso de tonalidad rojiza (figuras 4.3.d, 4.3.f y 4.5.c).

Las tres principales variedades de caliza identificadas en los paramentos presentan en general buen estado de conservación, mostrando las variedades más arenosas, heterogéneas y/o con improntas de karstificación, rellenos arcillosos principalmente, cierto deterioro puntual. Estas morfologías de alteración se corresponden con erosión diferencial y/o descamados superficiales, que se observan principalmente como se ha indicado en las piezas pétreas empleadas en las balaustradas y en el trasdós del muro perimetral. En la tercera parte de la tesis se aborda el análisis del deterioro que afecta a los paramentos del Antiguo Hospital, centrado en procesos físico-químicos relacionados con la composición química y tonalidad de la caliza así como con el entorno urbano contaminado en el que se localiza el inmueble y que afectan a su valor estético.

⁷ Tal vez, documentación desconocida haga referencia al empleo de la caliza para la construcción del inmueble. El informe de CPA, S.L (Cabrera 2004) también especifica que la piedra empleada en la construcción del Antiguo Hospital se corresponde con caliza.

Se considera esencial hacer una breve mención a otras piedras naturales empleadas en la construcción del Antiguo Hospital, aunque su estudio no sea abordado en la Tesis⁸. Palacios (1909) señala la utilización de *cantería granítica en zócalos*, aunque finalmente el granito fue empleado sólo en las columnas y en los peldaños de las escaleras exteriores (figura 3.14.c), que se corresponde con material original. De hecho, en algunas referencias consultadas se indica por error la existencia de zócalos graníticos. La piedra granítica seleccionada se trata de una piedra tradicional muy utilizada en el patrimonio construido de la Comunidad de Madrid (*piedra berroqueña*), procedente de los granitoides variscos que afloran en el Norte y Noroeste de la región (ITGE 1990).

Fue extraído de las canteras localizadas en El Berrocal (López-Urrutia 1926), paraje localizado al Noroeste de Madrid y donde tradicionalmente ha existido una importante actividad extractiva (Martín 1994). Posiblemente, la predilección de Palacios por el granito así como el hecho de utilizarlo en construcciones contemporáneas con el Antiguo Hospital, como en el Palacio de Comunicaciones (1904-1918), el Banco del Río de la Plata (1910-1918) o el Teatro Rosalía de Castro (1906-1925), hizo que lo seleccionara para el Hospital de Jornaleros.

La pizarra es empleada únicamente en la cubierta de los cuerpos semicirculares de la iglesia (figura 3.2.b) y se corresponde con material original. Palacios (1909) indica únicamente que la pizarra seleccionada era de procedencia española. Si bien la pizarra de Bernardos (Segovia) es un material pétreo tradicional en Madrid (Cano de Gardoqui 1991), la empleada en el Antiguo Hospital podría proceder de otros distritos pizarreros localizados en la Península Ibérica, posiblemente tal vez de la Formación Luarca en Valdeorras, Ourense (Cárdenas et al. 2014). El mármol constituye los aplacados que revisten los alféizares así como la galería del cuerpo de acceso y de la portada de la iglesia. No se ha encontrado referencia sobre su procedencia, salvo que fue extraído en canteras españolas (*Crónica e Información* de 1912), posiblemente en Macael (Almería), donde se localizan las canteras de mármol más importantes de España (Bello et al. 1992). El revestimiento de los paramentos indicados se corresponde con material original, mientras que los aplacados de los alféizares fueron puestos en la intervención de los años ochenta, procediendo posiblemente también de Macael. Para los cimientos, indica Palacios (1909) se emplearía *hormigón de piedra silíceo*, correspondiendo el árido con cantos de sílex y/o de cuarcita.

⁸ Existen también otros materiales, indicados por Palacios (1909) y detallados por López-Urrutia (1926), algunos ya referidos en la primera parte de la Tesis. Principalmente, la madera de las carpinterías, el vidrio de cristalerías y vidrieras, el metal de forjados y perfiles metálicas, los revestimientos de los muros interiores y los solados de terrazas y jardines así como los pavimentos interiores.



Fig.4.3. Principales variedades de piedra caliza identificadas en las fachadas del Antiguo Hospital y su posible correspondencia con algunas de las facies de los carbonatos fluviolacustres de la Unidad Superior Miocena de la cuenca terciaria continental de Madrid (año 2006).

Únicamente se ha asignado denominación a las tres variedades de caliza más ampliamente representadas, caliza compacta clara (CCC), caliza compacta rojiza (CCR) y caliza compacta oscura (CCO).



4.1.4.a. Intervenciones efectuadas en la caliza de los paramentos (1916 - 2006)

La práctica totalidad de la piedra caliza existente en los mismos antes de la última intervención acometida en el inmueble (2006-2008), se corresponde con material pétreo original. Algunas piezas han desaparecido y/o se han trasladado, y otras han sido objeto de intervenciones puntuales. Como se observaba en las figuras 2.2.a y 2.5.a, desde la calle podía accederse al primitivo mortuorio mediante una puerta. Esta puerta debió sellarse antes que el Hospital entrara en funcionamiento, pues el mortuorio fue trasladado y la habitación soterrada bajo el jardín Este de la iglesia nunca funcionó como tal (epígrafe 2.1.2). Para cerrar este vano, se empleó la piedra misma caliza, notándose ligeramente el sellado (figura 4.6.a).

En cuanto a los elementos que durante la intervención de los años ochenta fueron derribados (epígrafe 2.2.5), la escalinata de acceso al inmueble por la calle Maudes (figura 2.7.a y cita 12 del capítulo 2), el paño del muro adyacente al antiguo garaje de la fundadora (figuras 2.3.b y 2.7.i) y la zona bajo las ventanas en el acceso al mortuorio (figura 2.7.g), parte de las piezas pétreas que los conformaban se perdieron. Sin embargo, otra parte se acumuló en el patio inglés de la nave Sureste, junto a la escalera de ladrillo y quedando en gran parte cubiertos (figura 4.6.b). Para el traslado de la fuente del patio de entrada a su actual ubicación (junto a la sala de exposiciones), realizado también en esta intervención, las piezas de piedra caliza de la cubeta fueron trasladadas en su totalidad. La actuación más importante efectuada en esta intervención fue, como se ha inidcado en el epígrafe 2.2.5, su limpieza mediante la proyección de partículas.

Especialmente en las balaustradas, se observa la reintegración puntual o sellado con mortero de la porosidad que presenta la caliza que constituye las albardillas (figura 4.6.c). En el trasdós del muro, puntualmente puede observarse la sustitución de mampuestos de piedra caliza, bien por bloques de granito (figura 4.6.d), bien por piezas dimensionadas con mortero imitación granito (figura 4.6.e).



Fig.4.6. Aspectos relacionados con intervenciones efectuadas en la piedra caliza de los paramentos del inmueble observados en el año 2006.

4.1.5. Propiedades petrológicas como criterios de calidad en rocas carbonáticas

Los caracteres petrográficos de los materiales pétreos, principalmente su composición y textura, condicionan las propiedades petrofísicas que presentan, expresadas mediante una serie de parámetros que cuantifican su comportamiento (García del Cura et al. 1996, Esbert et al. 1997), permitiendo conocer su calidad y condicionando su utilización (Ordóñez et al. 1996, Sousa et al. 2005). Entre las propiedades petrofísicas de los materiales, las propiedades físico-mecánicas caracterizan su aspecto y comportamiento mecánico (color, densidad, dureza, compacidad o anisotropía) y las propiedades hídricas principalmente definen su respuesta a la acción del agua (porosidad, saturación o permeabilidad). La porosidad representa el parámetro físico de los materiales más importante a determinar, pues influye decisivamente en las demás propiedades físicas y condiciona fuertemente su deterioro y durabilidad, al poner en contacto el interior del material con el exterior y suponer el medio de transporte de los fluidos que actúan en la degradación de los materiales, siendo su comportamiento frente a los fluidos función de su sistema poroso, esto es, de la cantidad de poros, de su forma, tamaño e interconexión (RILEM P-25 1980, Alonso et al. 1987a, Fort 1996a, 1996b, Esbert et al. 1997, Rodríguez-Navarro 2003).

La porosidad de los materiales pétreos es una propiedad física elemental directamente relacionada con su densidad (Alonso et al. 1987a) y se define como el porcentaje en volumen de espacios vacíos respecto al volumen total del material (Esbert et al. 1997, Rodríguez-Navarro 2003). La porosidad cerrada o no comunicada es el volumen de poros sin conectar y la porosidad abierta (eficaz, comunicada o accesible) es el volumen de poros comunicados entre sí y/o con el exterior por unidad de volumen de material, resultando la de mayor interés en la degradación de los materiales pues es la que permite el movimiento de los fluidos en su interior. La porosidad abierta se determina mediante técnicas experimentales basadas en la introducción de un fluido (agua, mercurio...) en los espacios vacíos en unas condiciones determinadas (al vacío, a presión atmosférica...) y la cuantificación de su volumen (Alonso et al. 1987a, Fort 1996b, Esbert et al. 1997).

Por su formación e historia evolutiva, las rocas carbonatadas tienen un sistema poroso bastante complejo, presentando una porosidad intermedia (entre el 5-20%). En origen, es principalmente de tipo diagenético (Longman 1980), resultando complicada su clasificación (Flügel 1982). La clasificación de Choquette y Pray (1970) es la más simple y extendida, diferenciando los poros según su morfología y estableciendo su relación directa con su génesis. Además, son rocas que presentan la mayor parte de sus poros comunicados, siendo la forma de los espacios vacíos muy irregular y variada (poros, conductos, fisuras...).

Hernández-Pacheco (1926) hace referencia a los primeros ensayos petrofísicos en la caliza de Colmenar de Oreja, señalando Dapena et al. (1989) y Fort et al. (1996, 2011, 2013a y 2014) la buena calidad y durabilidad de este material pétreo precisamente por sus propiedades petrofísicas. De este modo, Fort et al. (2013) y/o (2014) señalan que presenta valores elevados de densidad ($>2,5 \text{ g/cm}^3$) y de velocidad de propagación de los ultrasonidos ($>5.900 \text{ m/seg}$) y baja anisotropía ($dM\% = 3$, $dm\% = 1,2$). Por otro lado, muestra baja porosidad abierta, tanto accesible al agua (3,8%) como al mercurio (3,9%), baja absorción de agua (0,8%) y aproximadamente un 80% de microporosidad (en el intervalo $0,01-01 \mu\text{m}$), con poros interconectados y un escaso volumen de poros capilares ($1-100 \mu\text{m}$). Debido a su buen comportamiento mecánico e hídrico, supone un material de muy elevada calidad para construcción, especialmente idóneo para configurar elementos portantes. Por su elevada calidad y durabilidad, recientemente la *pedra de Colmenar* ha sido propuesta como candidata para ser nominada como Recurso Pétreo del Patrimonio Mundial (Fort et al. 2014), resultando además una piedra de especial belleza, debido a su blancura y ausencia de impurezas.

4.2. OBJETIVOS

Son tres los principales objetivos perseguidos en el presente capítulo, resumidos en el esquema inferior.

4.2.1. Análisis de los motivos que condicionaron la selección de la caliza

Para efectuar este análisis se analiza la ideología del proyecto, la situación de las canteras en la cuenca terciaria continental del Sureste de la Comunidad de Madrid así como de las vías de comunicación especialmente a finales del siglo XIX y principios del siglo XX y el empleo de la piedra caliza en construcciones anteriores y/o contemporáneas de Palacios.

4.2.2. Estudio de las canteras de procedencia de la caliza

- Análisis de la evolución de la actividad extractiva en estas canteras.
- Caracterización del frente de cantera.

4.2.3. Caracterización petrológica de la caliza

- Descripción macroscópica y estudio comparativo de los caracteres petrográficos de las tres principales variedades de piedra caliza identificadas en los paramentos y así como reconocidas en el frente de cantera.
- Caracterización petrofísica de la variedad de caliza más ampliamente representada en los paramentos (aspecto compacto y homogéneo y tonalidad clara), tanto *in situ* (superficie de sillar) empleando técnicas de caracterización no destructivas (TND) como en laboratorio mediante la realización de ensayos normalizados.

Los objetivos planteados remiten a la preferencia de Palacios por incorporar material local a sus obras y, por tanto, al sustrato geológico sobre el que se asienta la Comunidad de Madrid, aportando a su vez una valiosa información sobre el patrimonio industrial relacionado con la explotación de las canteras de caliza en la época. El ambiente geológico de formación y los procesos diagenéticos acontecidos en la caliza objeto de estudio proporcionan unas propiedades petrográficas y petrofísicas determinadas.



4.3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

4.3.1. Toma de muestras

Se incluye la consulta de fuentes documentales principalmente referentes a la explotación de caliza en la cuenca continental terciaria del Sureste de la región y a las vías de comunicación de la zona con la capital sobre todo a finales del siglo XIX y principios del XX.

Respecto a la toma de muestras, por un lado, reconocidas las principales variedades de caliza empleadas en los paramentos se han muestreado las tres con mayor representatividad, caliza compacta de tonalidad clara (CCC), caliza rojiza (CCR) y caliza oscura (CCO). Se han extraído 6 testigos de 6 cm (± 1 mm) de diámetro y 13-17 cm de longitud en sillares del zócalo en el edificio principal y en la biblioteca (figura 4.7), empleando la testiguera de la Termo 2300 W de Teleco Italia y la broca de widia fabricada por Diamant Board. Los sillares muestreados han sido posteriormente reintegrados según el procedimiento seguido por el grupo de investigación *Petrología Aplicada a la Conservación del Patrimonio* del Instituto de Geociencias y propuesta por la Dra. M^a Concepción López de Azcona, empleando árido calizo de diversas granulometrías y mortero de restauración, aplicando una fina capa superficial de polvo obtenido a partir de los sillares muestreados. Los testigos extraídos presentan un importante grado de compactación, los tomados del sillar correspondiente a la variedad CCC muestran una tonalidad más bien crema y, durante la perforación del sillar configurado con la variedad de caliza oscura (CCO), se ha percibido el olor de la materia orgánica así como la menor compactación del sillar. Por otro lado, si bien la documentación consultada ha permitido ubicar el emplazamiento de las canteras originales, esta procedencia debe confirmarse, pues en ocasiones puede variar debido a causas que no quedan recogidas en los documentos constructivos de obra (Gomez-Heras y Fort 2004). Para ello, se han tomado 9 muestras en el frente de cantera, comparando sus caracteres macroscópicos y petrográficos con los de la caliza de fachada (Lazzarini et al. 1980, Rodríguez y Alcalde 1998, Fort 1996d, Galán et al. 1999).

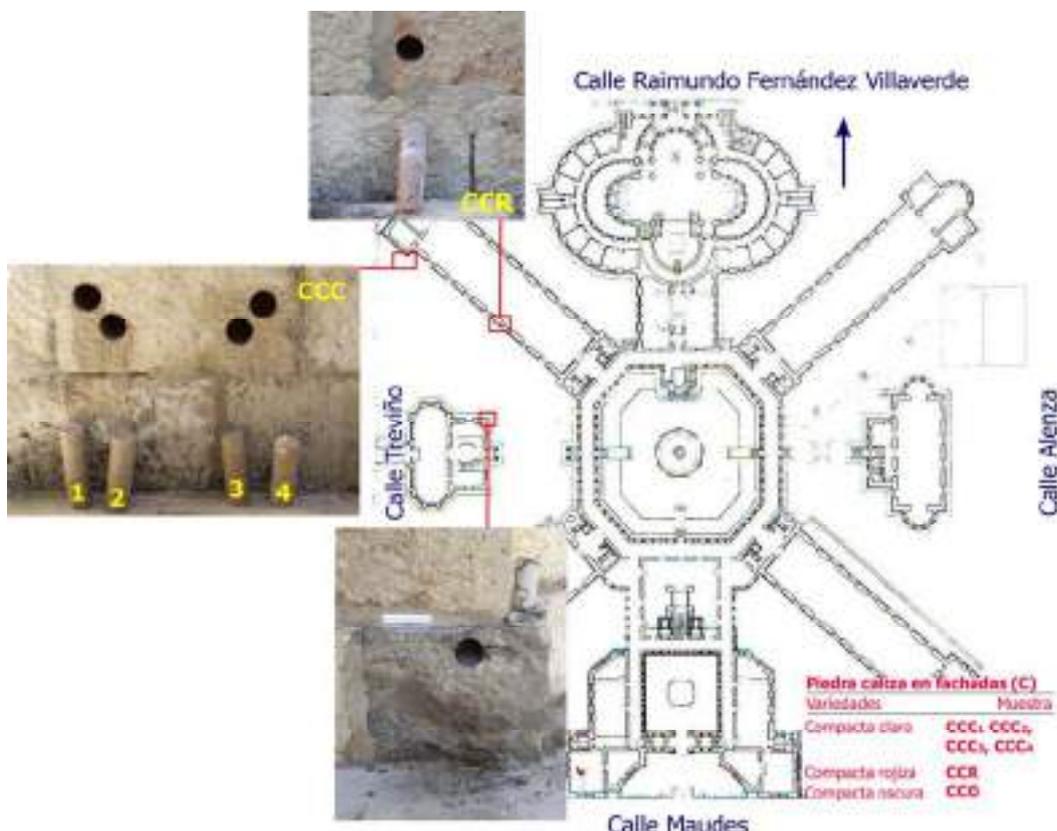


Fig.4.7. Localización de las muestras tomadas correspondientes a las tres variedades de piedra caliza más utilizadas en la construcción de los paramentos del Antiguo Hospital.

4.3.2. Caracterización petrológica de la caliza

El pulido con carburo de silicio de las secciones observadas ha permitido la mejor observación de sus caracteres texturales macroscópicos (Bustillo 1980). La caracterización petrográfica de las láminas delgadas se ha efectuado mediante Microscopía Óptica de Polarización (MOP) según la normativa UNE-EN 12407:2001, tiñéndose una franja de las láminas delgadas con rojo de alizarina y ferricianuro potásico para identificar la calcita. En ambos casos, se ha atendido a las tres principales variedades de piedra caliza identificadas en los paramentos, CCC (CCC₁, CCC₂, CCC₃ y CCC₄), CCR y CCO así como a cada una de las facies reconocidas en los tres tramos establecidos en el frente de cantera caracterizado, tramo 1 (1.1., 1.2 t 1.3), tramo 2 (2.1, 2.2 y 2.3) y tramo 3 (3.1, 3.2 y 3.3). Además de la bibliografía consultada, para la caracterización petrográfica se han utilizado principalmente los manuales Tucker y Wright (1990) y Scholle y Ulmer-Scholle (2003).

La caracterización petrofísica (tabla 4.2) se ha efectuado en el Laboratorio de Petrofísica del Instituto de Geociencias IGEO (CSIC-UCM). El laboratorio tiene implantado un Sistema de Gestión de Calidad bajo la Norma UNE-EN-ISO 9001:2008 (ER-0346/2008) y está integrado en la Red de Laboratorios de la Comunidad de Madrid (RedLab nº 217). Entre los ensayos y/o técnicas empleados para la caracterización petrofísica de la caliza objeto de estudio, las técnicas de Espectrofotometría y Porosimetría por Intrusión de Mercurio, los ensayos de absorción de agua al vacío (saturación) y permeabilidad al vapor de agua así como la determinación de la velocidad de propagación de los ultrasonidos (ondas P), dureza por rebote y ángulo de contacto dinámico, están incluidos en el alcance de la certificación del laboratorio emitida por AENOR. Para la caracterización petrofísica efectuada se han empleado las recomendaciones RILEM (Reunión Internacional de Laboratorios de Ensayo de Materiales) y NORMAL CNR-ICR (NORmalizzazione MAteriali Lapidei, Centro Nazionale della Ricerca e Istituto Central del Restauro) así como la normativa ASTM (American Standard for Testing Materials) y UNE-EN, versión española de las normas europeas (EN) emitidas por AENOR y el Comité Europeo de Normalización (CEN) (Obis, 2000).

La caracterización petrofísica ha incluido, por un lado, la medida *in situ* de los parámetros cromáticos, del tiempo de propagación de las ondas ultrasónicas y de la dureza superficial sobre la superficie del sillar del que se han tomado los 4 testigos correspondientes a la variedad de caliza clara compacta (CCC). Por otro, la determinación en laboratorio de algunas propiedades petrofísicas en probetas dimensionadas a partir de estos 4 testigos, TA (CCC₂), TB (CCC₄), TC (CCC₃) y TD (CCC₁). Los ensayos se han efectuando a una T = 25°C y HR ≈ 30% y en ambos casos, *in situ* y en laboratorio, se ha tenido en cuenta la media de los valores medidos y/o calculados. Se han seleccionado algunos de los parámetros que especialmente aportan información sobre la calidad de la caliza para la construcción y su comportamiento frente a la acción de agentes de deterioro, principalmente el agua, así como de diversos tratamientos de conservación (métodos de limpieza o aplicación de hidrofugantes).

Las técnicas empleadas *in situ* se corresponden con técnicas no destructivas (TND) o mínimamente destructivas, fáciles de usar, de bajo coste, portátiles y que proporcionan abundantes medidas de forma rápida (Fort et al. 2010, 2013b). Para los ensayos efectuados en laboratorio, las probetas se han dimensionado siguiendo las indicaciones de la normativa seguida adaptando su número y tamaño a la disponibilidad de material. Previamente a la realización de cada ensayo, las probetas se han secado a 45°C hasta peso constante, esto es, cuando la diferencia en peso entre dos pesadas consecutivas ha resultado <1%, manteniéndose en desecador de gel de sílice a temperatura ambiente durante la hora previa a la realización del ensayo.

Espectrofotometría, determinación de parámetros cromáticos: se han considerado la luminosidad (L^*) y las coordenadas cromáticas a^* , b^* y C^* (CIELAB 1978) así como los índices de blanco y de amarillo (ASTM E313:2010). *In situ*, se han efectuado 20 medidas sobre la superficie del sillar seleccionado. En laboratorio, se han dimensionado 4 probetas cilíndricas de 1 cm (± 1 mm) de espesor y 6 cm (± 1 mm) de diámetro, efectuándose 20 medidas en cada una, considerando la zona interna del material. Para las medidas efectuadas en laboratorio, antes de la medición, las muestras han estado 24h en estufa a $40\pm 5^\circ\text{C}$, manteniéndose en desecador con gel de sílice a temperatura ambiente durante la hora previa a realización de las medidas.

Esclerometría, determinación de la dureza superficial (ASTM D5873:2000): el cálculo de este parámetro resulta especialmente importante en materiales pétreos destinados a configurar elementos constructivos (Yasar y Erdogan 2004). El ensayo se basa en el principio de que el rebote de una masa elástica depende de la dureza de la superficie contra la que incide (Goudie 2006). Se ha empleado el esclerómetro portátil Schmidt Type N de Proceq, incidiendo directamente en la superficie con una energía de impacto de 2.207 Nm y midiéndose la energía de rebote como una medida de resistencia a la compresión (kg/cm^2 ó Nw/mm^2) o por el índice de rebote R (0-100). Sólo se han efectuado medidas *in situ*, 20 sobre la superficie del sillar seleccionado.

Velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas (EN 14579:2005): la determinación de este parámetro se basa en la propagación de los ultrasonidos, dependiendo el tiempo de propagación del impulso ultrasónico principalmente de la densidad del material y de las heterogeneidades que presenta (Álvarez de Buergo y González-Limón 1994, Fort 2008). Cuanto más elevada es esta velocidad, mejor es la calidad del material. Se ha empleado el equipo de medida Pundit CNS Electronics, que proporciona el tiempo (en microsegundos, con una precisión de 0,1 μs) empleado por la onda ultrasónica en recorrer la distancia que separa los transductores (emisor y receptor de ondas ultrasónicas). *In situ*, se han efectuado 20 medidas en la superficie del sillar seleccionado (transmisión/recepción indirecta o superficial), se han empleado transductores de 5 cm de diámetro de contacto, manteniéndose fija la distancia entre los mismos (establecida en 15 cm), la frecuencia del impulso de la emisión ha sido de 54 kHz y como sustancia acoplante se ha empleado una resina epoxídica.

En laboratorio, se han dimensionado 2 probetas cúbicas de 4 x 4 x 4 cm (± 1 mm) por cada uno de los 4 testigos, orientándolas según la dirección de asiento del sillar. Las medidas se han efectuado en caras paralelas y opuestas (transmisión/recepción directa), efectuándose 3 medidas en cada una de las direcciones del espacio. Se han empleado transductores de 1 cm de diámetro de contacto, la frecuencia seleccionada para el impulso de la emisión ha sido de 1 MHz y como sustancia acoplante se ha utilizado un gel (Suárez del Río y Montoto 1990), concretamente Ultrasound Couplant CNS Farnell. Además del valor medio de la velocidad de propagación de las ondas P (V_p , en m/seg), se han determinado los índices de anisotropía total ($dm\% = [1 - (2V_{p_{\min}} / (V_{p_{\text{media}}} + V_{p_{\max}}))] \times 100$) y relativa ($dm\% = [(2 \times (2V_{p_{\max}} - V_{p_{\text{media}}}) / (V_{p_{\text{media}}} + V_{p_{\max}}))] \times 100$) establecidos por Guldader y Denis (1986). El conocimiento de la anisotropía tiene una influencia directa a la hora de colocar los elementos constructivos en obra (Fort et al. 2008, 2011); valores bajos en los índices de anisotropía revelan igualmente una elevada calidad del material y si estos valores son además muy similares señalan que el material no presenta direcciones preferentes (Zezza 1990). La determinación de la velocidad de propagación de los ultrasonidos y de la dureza superficial proporciona información sobre las propiedades mecánicas superficiales de la piedra (Aydin y Basu 2005, Fort et al. 2010, Fort et al. 2013).

Ensayo de saturación, determinación de la densidad (real y aparente), de la porosidad accesible al agua y del porcentaje de agua de saturación (RILEM P-25 1980): la densidad real se define como la masa de material seco por unidad de volumen de la parte sólida, excluyendo sus poros y la densidad aparente es la masa de material seco por unidad de volumen total, esto es, considerando la fracción sólida y el volumen de poros, entendidos como porosidad accesible al agua en condiciones normales. Por tanto, el valor de la densidad aparente siempre es inferior al de la densidad real y la diferencia obtenida entre ambos valores permite una aproximación al sistema poroso del material, puesto que cuanto más similares sean menor grado de porosidad accesible al agua presentará (Fort 1996b).

El porcentaje de agua de saturación se define como la cantidad máxima de agua que un material es capaz de absorber por saturación en condiciones de vacío y está directamente relacionado con la porosidad accesible al agua. Mediante la realización del ensayo de saturación o de la balanza hidrostática se determinan estos parámetros, calculándose el índice de compacidad del material a partir de la relación entre la densidad aparente y real (Fort 1996c). Este ensayo se ha efectuado con las mismas probetas en las que se ha determinado la velocidad de propagación a los ultrasonidos, orientándolas igualmente según la dirección de asiento del sillar.

Porosimetría por Intrusión de Mercurio: posibilita determinar el volumen de poros accesibles al mercurio. Para cada presión ejercida el mercurio penetra en un radio de poro determinado, estableciéndose la porosidad del material para ese tamaño mediante la cuantificación del volumen de mercurio intruido; a partir de la relación entre la presión ejercida y el tamaño de los poros, la cantidad de mercurio introducido a distintas presiones permite confeccionar curvas de distribución porosimétrica (Rodríguez-Navarro y Sebastián 1994, Fort 1996b).

En términos generales, cuanto mayor sea la variabilidad obtenida en los intervalos de tamaño (curvas polimodales), señala que tamaños más diferentes de poros y por tanto mayor susceptibilidad tendrá el material a degradarse por la acción del agua, pues mayor es la cantidad de agua que retiene en su interior y más fácil es su movilidad (Fort 1996c). Por otro lado, cuanto menor sea el tamaño de poros, menor capacidad de movimiento tendrá el agua en el interior del material y mayor durabilidad presentará. Otro parámetro determinado mediante esta técnica es la superficie específica del sistema poroso del interior de la caliza, relacionado con el volumen de los poros y, sobre todo, con su tamaño. Para un mismo volumen de poros, a menor tamaño de los mismos, mayor es la superficie específica del material y, por tanto, es más susceptible al deterioro (Fort 1996c). Se ha empleado el equipo Autopore IV 9500 de Micromeritics, que permite la medida de tamaño de poros comprendidos entre 0,001 y 400 μm mediante la intrusión de mercurio a presiones desde 15 a 60.000 psi, estableciéndose el límite o umbral de diámetro de poro entre micro y macroporosidad en 5 μm ⁹. Por cada uno de los 4 testigos, se han dimensionado 2 probetas cilíndricas, de unos 2 cm de altura y 1,5 cm de diámetro.

Permeabilidad al vapor de agua (NORMAL 21/85): el ensayo mide la cantidad de vapor de agua que es capaz de atravesar un material para un intervalo de tiempo dado cuando se establece un gradiente de presión entre dos superficies paralelas, definido por el coeficiente de permeabilidad. Se trata de una propiedad hídrica muy relacionada con las condiciones ambientales y con la conexión existente en el sistema poroso del material (Ebert et al. 1997). En general, en un material poco permeable al vapor de agua, el agua penetra con dificultad en su interior. Para efectuar el ensayo se han dimensionado 8 probetas cilíndricas de 1 cm ($\pm 1\text{mm}$) de espesor.

⁹ Diversos autores han agrupado los poros según su tamaño, estableciendo el límite entre macro y microporos en función principalmente de la técnica empleada. De este modo, por ejemplo, Russel (1927), Rodríguez-Navarro y Sebastián (1994) y Fort et al. (2011) indican el límite en 5 μm , y Alonso et al. (1987b) en 7,5 μm , señalando estos últimos que la macroporosidad está constituida por los macroporos y sus macroaccesos, y la microporosidad por los microporos así como por los macroporos comunicados por los microaccesos.

Determinación del ángulo de contacto dinámico: el ángulo de contacto que se forma entre una gota de agua sobre una superficie sólida está relacionado con el carácter hidrófobo de dicha superficie. Cuanto mayor sea el ángulo de contacto entre la superficie y el agua, mayor será la capacidad hidrofugante de la superficie y, por tanto, mayor resistencia presentará a la entrada de agua (Fort 1996c). Cuanto más próximo a 90° sea el valor del ángulo de contacto, mayor capacidad hidrofugante de forma natural presentará la superficie. Se ha empleado el analizador de ángulo de contacto dinámico modelo DCA-315 de Cahn. Por cada uno de los 4 testigos se han dimensionado 2 probetas según la morfología requerida por el equipo de medida empleado, correspondiente con un prisma rectangular de 1 cm² de base y una altura variable, entre 3 y 6 cm, dejando en la cara superior del prisma una pequeña pestaña de piedra de modo el prisma quede sujeto y suspendido en el aire mientras se realiza el ensayo.

Tabla 4.2. Caracterización petrofísica de la variedad caliza clara compacta empleada en los paramentos del Antiguo Hospital.

| Propiedades y/o parámetros físico-mecánicos | | Probetas | | | Nº medidas |
|----------------------------------------------------------------------|----------------|----------|-----------|-------------|---------------------|
| | | nº | Forma | Tamaño (cm) | |
| Parámetros cromáticos: | | | | | |
| L*, a*, b*, C* (CIELAB 1978); IB, IA (ASTM E313:2010) | <i>In situ</i> | | | | 20 |
| | Laboratorio | 4 | Discos | 6 Ø x 1 | |
| Dureza superficial: índice rebote (ASTM D5873:2000), R | <i>In situ</i> | | | | 20 |
| Velocidad propagación ultrasonido (UNE-EN 14579:2005), Vp | <i>In situ</i> | | | | 20 (sup.) |
| | Laboratorio | 8 | Cubos | 4 x 4 x 4 | 3 x dirección(ind.) |
| Índices anisotropía (Guydader y Denis 1986), dM% y dm% | Laboratorio | 8 | Cubos | 4 x 4 x 4 | 3 x dirección(ind.) |
| Ensayo saturación (RILEM P-25 1980): | Laboratorio | 8 | Cubos | 4 x 4 x 4 | |
| - Densidad real, densidad aparente (g/cm ³) | | | | | |
| - Índice compacidad (Fort 1996b) | | | | | |
| Propiedades y/o parámetros relacionados con el sistema poroso | | | | | |
| Ensayo saturación (RILEM P-25 1980): | Laboratorio | 8 | Cubos | 4 x 4 x 4 | |
| - %Porosidad accesible al agua, %saturación | | | | | |
| Porosimetría de intrusión de mercurio: | Laboratorio | 8 | Cilindros | 2 Ø x 1,5 | |
| - %Porosidad accesible mercurio | | | | | |
| - %Macro y microporosidad (separación en 5 µm) | | | | | |
| - Superficie específica (m ² /g) y espectro porosimétrico | | | | | |
| Permeabilidad vapor de agua (NORMAL 21/85): | | | | | |
| - Coeficiente permeabilidad (gr/m ² · 24h mmHg) | Laboratorio | 8 | Discos | 6 Ø x 1 | |
| Ángulo de contacto dinámico (°) | Laboratorio | 8 | Prismas | 1 x 1 x 3-5 | |

4.4. RESULTADOS

4.4.1. Motivos que condicionaron la selección de la caliza empleada

Resulta de gran interés analizar los principales factores que debieron tenerse en cuenta a la hora de seleccionar la piedra caliza para la construcción del Hospital de Jornaleros. Por un lado, se ha considerado la ideología humanista e higienista del proyecto (Palacios 1909) y la textura que Palacios quiso imprimir a los paramentos. Por otro, teniendo en cuenta la costumbre del arquitecto por incorporar material local a sus obras, la piedra caliza utilizada en el Antiguo Hospital nos remite al sustrato geológico del Sureste de la Comunidad de Madrid, concretamente al paraje del Valhondo y a las canteras de Cornicabra, en Morata de Tajuña.

4.4.1.a. Ideología del proyecto y textura de los paramentos

Cuando Fernando de Castro (1987) se preguntaba cómo despertaría Palacios el entusiasmo de la fundadora para conseguir la proyección humanista que el arquitecto pretendía otorgar al Hospital (Perea 1986), surge igualmente pensar cómo ésta le explicaría sus aspiraciones para lograr que el artífice ideara un edificio con un carácter tan humanitario (Cabrera 2004). En la memoria original del proyecto redactada por Antonio Palacios en 1909, una vez iniciadas las obras, en el epígrafe correspondiente a la construcción (figura presentación segunda parte de la Tesis), el arquitecto únicamente indica que para los muros se emplearían *fábricas mixtas de ladrillo y mampostería caliza... con algunos elementos de cantería...* sin especificar su intención por utilizar una determinada piedra caliza. La piedra finalmente elegida también pudo responder a la concepción higienista y humanitaria del proyecto, pensando que una piedra clara participaría del ambiente agradable, luminoso y saludable que quiso proporcionar al Hospital¹⁰. La caliza seleccionada jugaría un papel fundamental en los paramentos, cuyo despiece en numerosos volúmenes posibilitaba el máximo aprovechamiento del material, así como permitiría la textura y acabados que Palacios les quiso otorgar.

4.4.1.b. La piedra caliza en las canteras de Cornicabra

El Archivo Histórico Ferroviario del Museo del Ferrocarril de Madrid - Fundación de los Ferrocarriles Españoles dispone de un documento realizado por la Sociedad Explotadora de las Canteras de Cornicabra (ubicadas en el municipio de Morata de Tajuña) con motivo de la Exposición de Industrias Madrileñas celebrada en 1907. El documento aporta información sobre la explotación de la piedra caliza empleada como elemento de cantería a principios del siglo XX en el paraje del Valhondo en Morata, concretamente en la zona denominada de Cornicabra. Debido al enorme privilegio que ha supuesto la existencia de dicho documento para el mejor conocimiento de los motivos que condicionaron la selección de la caliza empleada en el Antiguo Hospital, en las figuras 4.8 y 4.9 se muestra su transcripción¹¹. De la Torre (1999) indica que hacia 1920 la piedra para cantería se extraía de las canteras de Cornicabra, propiedad de José Chavarrí y Batres, mientras que las del Valhondo, explotadas por la Sociedad de Cementos y Canteras de Valhondo, suministraban caliza para la fabricación de cal y cemento. De la Torre y Paris (1986) señalan que del apeadero de Cornicabra salían dos ramales (figuras 4.13.a y 4.13.b), uno hacia la cantera de donde se extraía la piedra empleada en el Metropolitano, y otro a la cantera del Valhondo, que proporcionaba la caliza que por entonces se seguía transportando en tren a la cementera de Vicálvaro.

¹⁰ Por ejemplo, dice así la memoria del proyecto original (1909) al referirse al patio de acceso al inmueble: *se ha procurado imprimirle un carácter agradable, con su pórtico abierto que permite la vista del patio desde el exterior, todo lo cual ejercerá beneficiosa influencia moral sobre los enfermos en el momento de su ingreso* (ver epígrafe 2.1.2). Si bien Palacios tenía siempre muy presente el público al que iban dirigidas sus obras, la concepción humanitaria del Hospital de Maudes también queda reflejada en los principales materiales de construcción empleados.

¹¹ Dicho documento corresponde a un folleto informativo sobre la caliza de las canteras de Cornicabra, redactado seguramente con motivo del premio que dicha piedra recibió en la exposición de 1907, y que la Sociedad debía distribuir a modo de propaganda. El mismo consta de un pequeño informe, cuyo texto se ha transcrito íntegramente en las figuras 4.8 y 4.9, y de cuatro postales, dos de las mismas reproducidas en las figuras 4.14.d y 4.14.h.

Aunque la caliza procedente del páramo de Morata de Tajuña ha sido empleada en la región como piedra de cantería y es conocida la calidad ornamental del travertino de Morata (García del Cura et al. 1994), sobre todo esta caliza ha sido tradicionalmente empleada para la obtención de cal, como materia prima para la fabricación de cemento. Puche y Mazadiego (1999) señalan que la Sociedad de Cementos y Canteras de Valhondo¹² fue la primera en explotar la caliza de Morata para fabricar cemento, indicando la Estadística Minera de 1908 que producía casi 5500 kilos de cal al día. Los mismos autores, comentan que en 1915 la Estadística Minera recoge un acusado declive en la producción de las canteras madrileñas por la crisis en la construcción, existiendo en los años sucesivos explotación de caliza únicamente en Morata, Arganda y Campo Real.

PIEDRA CALIZA – SOCIEDAD EXPLOTADORA DE LAS CANTERAS DE CORNICABRA

En las laderas del término de Morata, divisorias de los ríos Jarama y Tajuña, se halla el extenso e inagotable macizo de piedra caliza que atraviesa la línea del ferrocarril de Madrid a Colmenar, por el sitio denominado CORNICABRA, del que toman nombre estas canteras.

Aunque conocidas y reputadas desde tiempos remotos, impedía o dificultaba su explotación la especial situación en la que se hallaban y carestía de su extracción y transporte, la que ha sido allanada y resulta por la actual Sociedad Explotadora, construyendo al efecto en Cornicabra, kilómetro núm. 40 de la línea del ferrocarril del Tajuña, una *Apartadero-Estación* con todas las condiciones y servicios necesarios a las exigencias del negocio, en forma tal, que no sólo la piedra de mampostería gruesa y sillería de corrientes dimensiones, sino que también los más grandes bloques se trasladan desde su arranque a los vagones con gran facilidad, escasísimo esfuerzo e insignificante coste, lo cual facilita a esta Sociedad poder ceder o vender sus productos a los ventajosos precios que se fijan o señalan en la presenta tarifa, que resultan más bajos y económicos que los que cotizan las procedencias de todas las demás canteras de piedras *graníticas, calizas o silíceas*, a pesar de su inferioridad en belleza, calidad y resistencia en relación a las de *Cornicabra*. Lo manifestado nos hace esperar que por estas razones y la mayor solidez de las obras, los Sres. Arquitectos, Contratistas y Propietarios reemplazarán en cimentaciones los actuales materiales, generalizando el empleo de este y a la vez podrán dar una mayor una mayor extensión a la sillería de las fachadas.

Como muestra, y para poder juzgar los productos de estas *Canteras*, pueden verse, además de la instalación en la Exposición de Industrias Madrileña en el Retiro, las columnas del Monumento a los Mártires de la Patria en el parque del Oeste, hotel del Sr. Duque de Arévalo del Rey, diversas fachadas de casas de reciente construcción en las principales calles de esa Capital y la nueva estación y edificios del Ferrocarril del Tajuña.

Fig.4.8. Transcripción de parte del texto incluido en el documento realizado por la Sociedad Explotadora de las Canteras de Cornicabra, con motivo de la Exposición de Industrias Madrileñas de 1907.

(Archivo Histórico Ferroviario del Museo del Ferrocarril de Madrid - Fundación de los Ferrocarriles Españoles).

En 1923 se instala en Vicálvaro la empresa Portland Valderribas S.A., trasladándose allí la producción de cal desde las canteras del Valhondo cuando la fábrica se pone en marcha en 1926. Vicálvaro contaba con importantes yacimientos de arcillas, y la empresa siguió explotando la caliza de los altos de Morata para la fabricación de cementos (Hernández-Pacheco 1945, De la Torre y Paris 1986, Puche y Mazadiego 2000, Puche et al. 2007). García-Fernández (1948) indica que, hacia finales de los años cuarenta, la caliza de Morata de Tajuña competía para el dimensionado de elementos de cantería con la caliza de Colmenar de Oreja. Sin embargo, esto no actuaba en detrimento de ésta última, al ser la caliza de Morata de peor calidad y emplearse tan sólo cuando la demanda de caliza era muy alta, como ocurrió durante la construcción del Ministerio del Aire (1943-1958).

¹² La Sociedad de Cementos y Canteras del Valhondo explotaba la caliza de las canteras del Valhondo principalmente para la fabricación de cal, mientras que la Sociedad Canteras de Cornicabra extraía la caliza de las canteras de Cornicabra fundamentalmente para su dimensionado como elemento de cantería.

Castells y de la Concha (1951) señalan que la cantera más importante de Morata de Tajuña se localizaba en el paraje del Valhondo, donde por entonces se continuaba con la extracción de caliza para la cementera de Vicálvaro. Esta cementera fue derribada en 1999, habiendo comenzado en 1997 el traslado de sus instalaciones a El Alto y Valderribas, en los páramos localizados al Norte de Morata de Tajuña y eliminándose casi completamente el transporte de la materia prima necesaria para fabricar el cemento. En esta zona se localizan actualmente las principales canteras (figura 4.12), en explotación desde los años noventa (Sánchez 1995). El apogeo de la caliza de las canteras de Cornicabra destinada al dimensionado de piedra para las construcciones madrileñas, puede situarse aproximadamente entre 1905 y 1925. Más tarde, la utilización de la misma se centró principalmente en su beneficio para la obtención de cal, siendo puntual su empleo como elemento de cantería.

De los distintos análisis practicados en la piedra de las Canteras de Cornicabra, por las más competentes autoridades en la materia, resulta la siguiente:

| ANÁLISIS QUÍMICO | ENSAYOS FÍSICOS |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Humedad 0,13 | Estructura compacta. |
| Sílice 0,15 | Densidad específica 2,70 |
| Alúmina 0,85 | Idem aparente 2,59 |
| Hierro 0,23 | Porosidad absoluta 4,00 |
| Cal 55,99 | Resistencia a la ruptura por compresión, 860 kgm. por centímetro cuadrado. |
| Magnesia 0,94 | Alteraciones aparentes causadas por la acción del hielo 0,00 |
| Ácido carbónico 41,71 | |
| TOTAL 100,00 | |

Precios de la piedra entregándose en Madrid, Estación del Niño de Jesús, Ferrocarril del Tajuña.

| | Metro ³ | Pesetas |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------|
| Sillería desbastada (dimensiones corrientes hasta un metro cúbico)..... | 80,00 | |
| Losa desbastada, metro cuadrado..... | 10,00 | |
| Mampostería para cimentación | 9,00 | |
| Mampostería para alzado | 9,00 | |
| Piedra machacada | 9,75 | |
| Sillería de dimensiones extraordinarias, precio convencional. | | |

Fíjense los prácticos en construcciones que con los precios que se señalan a la piedra, la cimentación, además de su mayor solidez, resulta más económica que con ladrillo u otros materiales.

PREMIADAS CON DIPLOMA DE MÉRITO EN LA EXPOSICIÓN MADRILEÑA. - 1907. GRAN PREMIO DE HONOR

Fig.4.9. Análisis químicos, propiedades físicas y precios de la caliza indicados por la Sociedad Explotadora.

(Archivo Histórico Ferroviario del Museo del Ferrocarril de Madrid - Fundación de los Ferrocarriles Españoles).

4.4.1.c. Vías de comunicación en el Sureste de la región durante los siglos XIX y XX

En 1846, comenzaron las obras de la primera línea de ferrocarril de la provincia, inaugurada en 1851, que unió Madrid con Aranjuez. En 1856, se constituye la Compañía de Ferrocarriles de Madrid a Zaragoza y a Alicante (MZA). En 1858 se inaugura la primera línea de largo recorrido de España, que conectará las ciudades de Madrid y Alicante, y en 1860 ya existía la línea Madrid-Guadalajara, prolongada hasta Zaragoza en 1868 (González-Yanci 1974). Los expedientes de la Compañía MZA del periodo comprendido entre los años 1880 y 1900, referentes al transporte ferroviario de la caliza de Colmenar de Oreja a Madrid, reflejan que el descenso acusado por entonces en la actividad de las canteras se debía principalmente a lo costosa que resultaba frente a las calizas procedentes del Levante español. Así, el ferrocarril de Alicante permitió la entrada en Madrid de piedras de construcción más económicas que la caliza de Colmenar de Oreja (De Pablos 1891, Fort et al. 2002, Varas et al. 2003).

A la dificultad que suponía la explotación de la caliza de Colmenar de Oreja mediante canteras subterráneas, al desmonte necesario efectuar para alcanzar los bancos con las dimensiones requeridas, debía añadirse el acarreo de la misma hasta Aranjuez, desde donde era trasladada por ferrocarril hasta Madrid. Como se verá inmediatamente, la llegada del tren a Colmenar de Oreja en 1903 reactivó las canteras y se abrieron nuevos frentes, resultando el transporte de la piedra a Madrid más barato, aunque seguía resultando más económica la caliza procedente de Levante, recuperando la caliza Colmenar de Oreja parte de su esplendor (García-Fernández 1948). Indica el autor que el transporte de esta caliza mediante el camión también participó de su resurgimiento, destinándose para obras como en el Viaducto, parque de las Vistillas, plaza de Santa Ana o establecimientos del Retiro. De hecho, la estación ferroviaria de Colmenar de Oreja era una de las que más recaudaba y desde donde se trasladaba la piedra más importante de la localidad, denominada "marmolillos" (De la Torre y París 1986).

Para el transporte de la caliza de Morata a Madrid, fue esencial el ferrocarril de Arganda o del Tajuña (tabla 4.3)¹³, que partía desde la estación del Niño Jesús, junto al parque del Retiro¹⁴. En sus comienzos, sólo se planteó un servicio de mercancías entre Madrid y Vallecas para transportar materiales de construcción (González-Yanci 1974), que desde el siglo XVI eran extraídos en la zona (Alvar 1993). Las inauguraciones en la línea pudieron efectuarse cuando la compañía belga Caminos de Hierro compra el ferrocarril (Rodríguez 2003). En 1886 llega a Arganda y en 1901 a Morata, con una comisión especial para el reconocimiento de sus canteras de piedra. Las estaciones próximas a Morata eran El Alto, entre Arganda y Morata; Cornicabra, en el paraje del Valhondo; y Morata, entre Morata y Perales (De la Torre y París 1986). En 1903 el ferrocarril llega a Colmenar de Oreja y en 1910 el ramal Noreste alcanza Orusco. El ferrocarril pretendía unirse con el tren de Aragón en Caminreal (Teruel), quedando el proyecto paralizado en Alocén, con el terreno ya explanado, y nunca se alcanzó el suelo aragonés (González-Yanci 1974). También proyectaba articularse en Aranjuez, desde el ramal que llegaba hasta Colmenar de Oreja, con la línea Madrid-Alicante (figura 4.10). Aunque la construcción y el desarrollo de este ferrocarril estuvieron siempre marcados por las penurias económicas, el cultivo de la rica vega morateña, la extracción de la caliza de Colmenar de Oreja y de Morata, la producción de yeso y cal de Morata, así como la comercialización del agua mineromedicinal de Carabaña se beneficiaron de su existencia, muy favorecidos además por la construcción del apeadero de Cornicabra en Morata y de Chavarri en Carabaña (De la Torre y París 1886, Puche et al. 2007)¹⁵.

¹³ Además de las referencias indicadas, la información del ferrocarril del Tajuña ha sido extraída de la página www.ayuntamientodemorata.com.

¹⁴ El emplazamiento de la estación del Niño Jesús en lo alto del cerro de la Batería se justificó, entre otras cosas, por la facilidad que presentaba para el arrastre de las mercancías, principalmente material de construcción y alimentos, hacia el casco urbano de Madrid (González-Yanci 1974).

¹⁵ Quiere señalarse que la magnífica aportación al conocimiento de la geología de la cuenca del Tajuña que supone el trabajo de Hernández-Pacheco (1926), fue realizada en gran parte aprovechando el trazado ferroviario que seguía el tren de Arganda hacia Colmenar de Oreja, pues muchos de los cortes geológicos fueron levantados en sus trincheras.

En 1928 se alcanzó el máximo transporte de mercancías, principalmente por la carga de caliza para cal en el apeadero de Cornicabra. Sin embargo, la expansión del ferrocarril es paralizada tras la Guerra Civil, quedando definitivamente anulada en 1943 al construirse el embalse de Entrepeñas en Guadalajara (Jiménez-Vega y Polo 2001), bajo cuyas aguas yace la estación de Alocén (Rodríguez 2003). La crisis provocada por la recesión económica mundial, la competencia de la carretera, la creación de un servicio de autobuses, la práctica ausencia de tráfico en algunos de sus tramos, la falta de conexión con otras líneas, la mala accesibilidad de la estación del Niño Jesús, la deficiente calidad del servicio y la progresiva decadencia del material rodante y del tendido de las vías, hicieron que el coste de la línea sobrepasara las previsiones de rentabilidad (González-Yanci 1974, Jiménez-Vega y Polo 2001).

En 1964, la empresa Portland Valderribas compra el tramo ferroviario entre las canteras de Cornicabra y su cementera de Vicálvaro, convirtiéndose el tren en un ferrocarril industrial que funcionó hasta 1998. La línea se cierra definitivamente en 1999, al constituir el tramo Vicálvaro-Arganda la recién inaugurada prolongación de la línea 9 del Metropolitano (De la Torre y Paris 1986, Jiménez-Vega y Polo 2001, Rodríguez 2003).

El proyecto de la construcción definitiva destinada a la casa del guarda y a la oficina de tráfico en el apeadero de Cornicabra, está fechado en 1905 (AGA, Sig. Caja 26/21860). En este documento, se indica que el proyecto para la construcción del apeadero se firma en 1904 y es aprobado a principios del siguiente año. Por tanto, si bien el ferrocarril llega a Morata en 1901, el apeadero de Cornicabra no será construido hasta 1905.

A pesar de la enorme ventaja que supuso la construcción de la estación ferroviaria de Colmenar de Oreja para el traslado de la caliza extraída en sus canteras, debe recordarse que a lo largo del siglo XVIII (época de máxima utilización de esta caliza) el municipio carecía de ferrocarril, siendo la piedra trasladada mediante carros y carretas tirados por bueyes. En general, el tren no eliminó los medios de transporte utilizados tradicionalmente para el acarreo de piedra, pues las vías no solían llegar hasta las explotaciones, transportando el material entre las canteras y los talleres así como entre las localidades próximas con medios tradicionales (Puche y Mazadiego 1999). Si bien el caso de las canteras de Cornicabra en Morata de Tajuña fue diferente, por su inmediata proximidad a un apeadero de tren, debe tenerse en cuenta que no existía conexión ferroviaria entre dicha estación con la zona de Cuatro Caminos (González-Yanci 1974, Aguilar 1980), siendo necesario el traslado de la caliza desde la estación del Niño Jesús¹⁶ hasta el Hospital de Jornaleros empleando medios tradicionales de acarreo de piedra.

¹⁶ El emplazamiento de la estación del Niño Jesús en lo alto del cerro de la Batería se justificó, entre otras cosas, por la facilidad que presentaba para el arrastre de las mercancías transportadas, principalmente material de construcción y alimentos, hacia el casco urbano de Madrid (González-Yanci 1974).

Tabla 4.3. Fechas significativas en la historia del ferrocarril del Tajuña para el transporte de la piedra caliza utilizada en el Hospital de Maudes (1908-1916) y en otras obras de Palacios en Madrid.

| | |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1881 | Inauguración de un tranvía a vapor para transportar calizas, cal y yeso entre Madrid y Vallecas |
| 1886 | El tren llega a Arganda |
| 1901 | Llega el primer tren a Morata de Tajuña, con una comisión para reconocer las canteras |
| 1902 | Entra en funcionamiento el tramo entre Morata de Tajuña-Chinchón |
| 1903 | Llega a Colmenar de Oreja, ramal Chinchón-Colmenar de Oreja desde la estación de Morata |
| 1905 | Construcción del apeadero de Cornicabra en Morata, para cargar la piedra caliza extraída en las canteras |
| 1910 | La prolongación hacia el Noreste de la línea alcanza Orusco |
| 1928 | Máximo transporte de mercancías, en gran parte por la caliza cargada en Cornicabra |
| 1943 | Parte de las vías y la estación de Alocén quedan abnegadas al construir el embalse de Entrepeñas |
| 1953 | Suspensión del servicio de viajeros |
| 1964 | Portland Valderribas, S.A. compra el tramo entre Vicálvaro y las canteras de Cornicabra |
| 1969 | Se derriba la estación de El Niño Jesús |
| 1999 | Se cierra el tramo Vicálvaro-Cornicabra, último de la línea en servicio |



Fig.4.10. Mapa simplificado del Sureste de la provincia de Madrid con el trazado ferroviario existente hacia 1926 (a partir de Hernández-Pacheco 1926).

La piedra caliza utilizada para el Hospital fue transportada por ferrocarril, desde Morata de Tajuña hasta la capital (línea discontinua gruesa).

4.4.1.d. Piedra caliza en la obra de Antonio Palacios

Hasta la construcción del Hospital de Jornaleros, el arquitecto había empleado la caliza en el Palacio de Comunicaciones (1904-1919), en las viviendas de la calle Marqués de Villamejor (1906-1907), en la casa Palazuelo de la calle Alcalá (1908-1911) y en los talleres del ICAI (1908-1915). La caliza de Colmenar de Oreja fue empleada en el Palacio de Comunicaciones y en la casa Palazuelo (nº3 y 4 respectivamente en figura 1.1). La caliza utilizada en las viviendas de la calle Marqués de Villamejor no se corresponde con la *piedra de Colmenar* (nº4 en figura 1.1), pero tampoco recuerda a la caliza del Antiguo Hospital. Si bien las piezas de piedra caliza empleadas en los talleres del ICAI (nº6 en figura 1.1) carecen de almohadillado, de tiradas lisas en los bordes y presentan un acabado rugoso conseguido con martillina, posiblemente esta piedra caliza comparta procedencia con la utilizada en el Antiguo Hospital. En el Palacio de Comunicaciones, dado su carácter metropolitano, cabe considerar como se ha indicado que Palacios apostara por introducir un elemento de modernidad mediante el empleo de una piedra procedente de Alicante. Así, en 1904 la piedra procedente de Alicante estaba muy de moda en la arquitectura de Madrid, principalmente debido a la comunicación ferroviaria existente por entonces entre ambas ciudades (Fort et al. 2002). De haber existido el apeadero de Cornicabra en 1904, año en el que comienzan las obras del Palacio de Comunicaciones, puede que se hubiera utilizado la caliza del Valhondo para su construcción, pues hubiera resultado un material más económico que la caliza de Petrel. Sin embargo, además del aspecto económico, la caliza del Valhondo era un material apenas conocido en la capital, por lo que ni siquiera fue seleccionada entre las posibles candidatas.

Si bien se desconoce el material seleccionado por el arquitecto para sus construcciones madrileñas ya desaparecidas¹⁷, cabe preguntarse porqué de toda su obra posterior al Antiguo Hospital existente actualmente en la capital, únicamente en la central eléctrica de Pacífico (1922-1923) se haya observado la utilización de la misma piedra caliza¹⁸ que la empleada en el Antiguo Hospital (nº25 en figura 1.2 y figura 3.12.b). Así, el ferrocarril del Tajuña siguió funcionando y las canteras de Cornicabra suministrando piedra durante los años más fructíferos de Palacios en Madrid (comparar tablas 1.1 y 4.3). Para la construcción de las primeras estaciones del Metropolitano de Madrid (inicio años veinte), obra en la que Antonio Palacios principalmente efectuó del diseño de los accesos y de los andenes hacia 1930, también se empleó la caliza de las canteras de Cornicabra (De la Torre y Paris 1986).

Deben tenerse en cuenta diversos aspectos que, sin duda, participaron conjuntamente en la escasa utilización de la caliza del Valhondo por parte del arquitecto. Por un lado, parece que el gusto de Palacios se decantaba hacia la caliza de Colmenar de Oreja, pues la empleará algo más que la caliza del Valhondo (tabla 1.1), aunque siempre de forma puntual y para zonas muy concretas (figuras 1.1 y 1.2). Por otro, el arquitecto va abandonando el empleo de la piedra caliza, independientemente de su procedencia, frente al progresivo protagonismo que va adquiriendo el granito en sus construcciones, material pétreo empleado por excelencia en su obra gallega, en gran parte por el acercamiento de Palacios a su tierra natal (tablas 1.1 y 1.2). Igualmente, considerar el empleo durante el siglo XX de materiales pétreos naturales procedentes de otros puntos de la península, la utilización conjunta de piedra natural con piedra artificial y morteros de revestimiento, así como el progresivo beneficio de la caliza del Valhondo para la obtención de cal.

¹⁷ De haberse utilizado piedra caliza para la construcción del Palacio del Conde de la Maza (1907-1908), que en la documentación gráfica consultada así parece observarse, es muy probable que procediera también de las canteras de Cornicabra.

¹⁸ Además de compartir posiblemente la misma procedencia, la piedra caliza empleada en la central eléctrica de Valderribas presenta un acabado superficial muy similar al observado en los paramentos del Antiguo Hospital (caliza del zócalo en nº25 figura 1.2 y figura 3.12.b).

4.4.2. En el paraje del Valhondo-Cornicabra, Morata de Tajuña (Madrid)

Morata de Tajuña es un municipio ubicado al Sureste de la Comunidad de Madrid, a unos 30 km de la capital (figura 4.11). Limita al Norte con Arganda del Rey, al Sur con Chinchón, al Este con Perales de Tajuña y al Oeste con San Martín de la Vega. La localidad asienta en el curso bajo del río Tajuña, subafluente del Tago que nace en Maranchón (Guadalajara). Junto a los productos agrícolas cultivados en la rica vega morateña y su industria textil y papelera, en el municipio ha sido muy importante la elaboración de cal y de yeso. Su principal actividad industrial se ha centrado en la transformación directamente *in situ* de los carbonatos miocenos, como materia prima para la industria cementera, fabricación de cal y obtención de áridos.



Fig.4.11. Localización de Morata de Tajuña en la Comunidad de Madrid.



Fig.4.12. Imagen satelital extraída de Google Earth™ de Morata de Tajuña y sus alrededores en el año 2009.

Las explotaciones de los carbonatos miocenos se localizan en el páramo denominado El Llano. La línea roja discontinua corresponde al antiguo trazado del ferrocarril del Tajuña, hoy en gran parte transformado en vía verde y ligeramente modificado en la zona de la cementera. El punto blanco indica la localización del apeadero de Cornicabra.

Morata de Tajuña: 40° 13 ' 50" N / 3° 26 ' 12" O

Apeadero de Cornicabra: 40° 13 ' 51,90" N / 3° 27 ' 47" O

4.4.2.a. Canteras de Cornicabra

López-Urrutia (1926) localiza la procedencia de la piedra caliza utilizada en el Hospital de Jornaleros en el paraje del Valhondo, y el Plan General de Ordenación Urbana de Morata de Tajuña (2004) localiza las canteras en el terreno, próximo a la localidad, denominado El Llano. Pues bien, se denomina paraje del Valhondo al área que abarca los páramos localizados al Noroeste de Morata y su vertiente dirigida hacia Arganda, y el Llano se corresponde con el páramo en donde se localizan las actuales explotaciones de El Alto y Valderribas. Hoy en día, en el paraje del Valhondo existen además diversos puntos en donde se observan antiguos frentes de explotación y vestigios de actividad minera.

De la Torre (1999) señala los nombres de Cornicabra y Valhondo, para referirse respectivamente a las canteras en donde se explotaba hacia 1920 piedra de cantería y caliza para fabricar cal y cemento. En la fotografía aérea más antigua encontrada de Morata de Tajuña (año 1946), puede atenderse, entre otras cosas, al trazado del ferrocarril y a diversos frentes de explotación, denominados A, B, C y D¹⁹ en la figura 4.13, según su proximidad al apeadero de Cornicabra (punto blanco). La observación detallada de la zona más cercana al apeadero, permite observar dos caminos trazados desde el frente B hasta el mismo (figura 4.13.a), correspondientes a los ramales indicados por De la Torre y Paris (1986).

Según el autor, en el frente de explotación B se localizaba la cantera denominada del Valhondo, explotación que ha ido progresivamente extendiéndose por la superficie del páramo, alcanzando hoy en día una extensa área que continúa activa y en donde se extrae materia prima para la fabricación de cemento. Atendiendo a la evolución de los frentes A y B durante la segunda mitad del siglo XX, se observa que en el frente B la explotación de caliza ha ido abriéndose hacia el Norte y el Oeste, paralizándose la extracción en el frente A (figuras 4.13.b y 4.13.c). Así, la morfología del frente A apenas difiere de la observada en el año 2009, mientras que el frente B ha ido extendiéndose siguiendo la horizontalidad de la superficie del páramo. Las imágenes de la figura 4.13 permiten afirmar que, al menos desde la década de los cuarenta, el frente de explotación A presenta un aspecto muy similar al que se observaba en el año 2009 (figura 4.12).

Las imágenes incluidas en el documento localizado en el Archivo Histórico Ferroviario del Museo del Ferrocarril de Madrid - Fundación de los Ferrocarriles Españoles (figuras 4.14.a y 4.14.e), permiten afirmar que el frente de explotación A se corresponde con las canteras que explotaba la Sociedad Explotadora Canteras de Cornicabra, localizadas junto al apeadero de ferrocarril del mismo nombre. En la figura 4.12, se ha denominado valle del Valhondo-Cornicabra a la zona más próxima a este apeadero de tren, formando parte del paraje del Valhondo.

Las imágenes mostradas en las figuras 4.14.a y 4.14.e, permiten conocer el estado a principios del siglo XX del frente de explotación A y aspectos sobre la extracción en las canteras de Cornicabra. La proximidad de los bancos de caliza a la superficie minimizaba la eliminación del estéril, permitiendo además el máximo aprovechamiento del material. En la cantera, donde trabajaba un elevado número de operarios y parte de la caliza se calcinaba en el horno instalado junto al apeadero, la piedra era extraída y dimensionada de forma artesanal, principalmente mediante el empleo del pico. Las piezas se agrupaban por formas y tamaños, acumulándose los fragmentos sobrantes en algunas zonas²⁰.

¹⁹ La figura 4.13 (año 1946) no permite afirmar que hubiera explotaciones en los frentes C y D.

²⁰ El material acumulado que se observa en el borde inferior central de la figura 4.14.a, correspondería a material de peor calidad y/o sobrante de bloques, y cuyo destino en las construcciones era principalmente para mampostería.

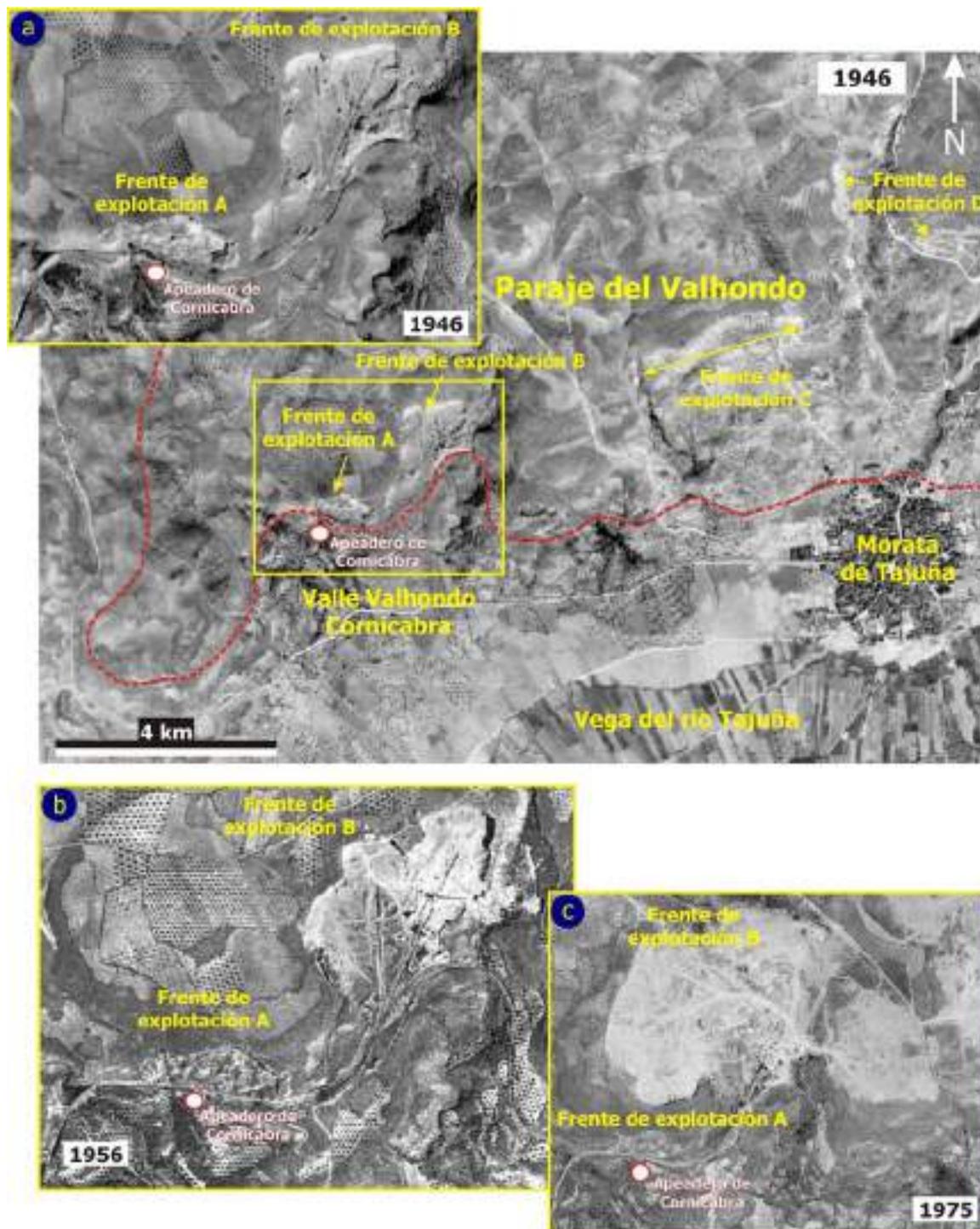


Fig.4.13. Fotografías aéreas de las explotaciones localizadas al Norte y Noroeste de Morata de Tajuña en 1946, 1956 y 1975 (Tomadas del Instituto de Estadística).

En 1946, existía el trazado original ferroviario seguido por el tren del Tajuña (línea discontinua en rojo) y, al menos, dos zonas en explotación (frentes A y B). Observando la zona de Cornicabra con mayor detalle (figura 4.13.a), puede atenderse a los dos ramales trazados desde el apeadero hasta las canteras de la zona B así como a la mordida del terreno en la cantera de Cornicabra (frente A).

En 1956 (figura 4.13.b), el frente de explotación B se había extendido por la superficie del páramo y los ramales para el transporte de material hasta el apeadero habían sido prolongados. En 1975, la explotación B abarcaba una importante superficie del páramo. Si bien el material seguía siendo trasladado desde la cantera hasta la vía del ferrocarril para su transporte hasta la cementera de Vicálvaro, en esta época también se empleaban camiones, tal y como indican los caminos trazados en la explotación (figura 4.13.c).

Frente de explotación A: $40^{\circ} 13' 53'' \text{ N} / 3^{\circ} 27' 41,67'' \text{ O}$

Las piezas de menor tamaño eran trasladadas con carretillas y, para los bloques extraídos en las zonas más elevadas de la cantera, se empleaban unas traviesas de madera que facilitaban su traslado. También puede atenderse a la enorme ventaja que supuso la explanación de la zona anexa a las canteras y la construcción del apeadero de Cornicabra para el beneficio de la piedra caliza²¹. Los bloques, sin desbastar, se cargaban directamente en las vagonetas, que se acoplaban al ferrocarril²². La operación era facilitada por la existencia de un muro bajo de mampostería, que impedía además el deslizamiento del terreno.

En el manual de cantería de la Casa de los Oficios de León (1999) se indican algunos aspectos trasladables a la extracción de la caliza en las canteras de Cornicabra a principios del siglo XX. Así, los bloques se cortaban teniendo en cuenta un margen de seguridad respecto a la dimensión final de la pieza. El corte de la piedra también se efectuaba mediante cuñas, introducidas en agujeros que se realizaban a lo largo de una ranura previa, ejecutada con maceta y puntero sobre la superficie de la piedra a cortar. Por efecto de golpes repetidos sobre las cuñas, se conseguía la ruptura del bloque de piedra, viéndose favorecido el efecto de la compresión vertiendo agua en la ranura antes de encajar las cuñas. Si las cuñas no quedaban insertadas ortogonalmente a la superficie a cortar, no estaban perfectamente alineadas o ambos lados de la ranura diferían, era muy posible la fracturación y/o pérdida de material. En la cantera, los bloques se dejaban un tiempo (tiempo de curado natural de la piedra) para que se acostumbraran a las nuevas condiciones a las que iban a ser sometidos.

La comparativa entre las fotografías 4.14.a-4.14.d y 4.14.e-4.14.h, permite observar el desmonte de terreno que conllevó la explotación de la piedra caliza junto al apeadero de tren de Cornicabra. Aunque abandonado ya el frente de explotación A, hoy en día todavía pueden observarse vestigios de la actividad minera que antaño existió en la cantera. La práctica horizontalidad de los paquetes de caliza facilitaba la extracción, colaborando la intensa fracturación vertical con rellenos arcillosos, pues posibilitaban el arranque de los bloques sin técnicas mecánicas, como señalan Dapena et al. (1989) se hacía con la extracción de la caliza de Colmenar de Oreja. Sobre los paquetes de caliza que estaban en explotación cuando se paralizó la actividad (figuras 4.14.b y 4.14.c), apenas se observan vestigios relativos a las herramientas que pudieron utilizarse para el corte de los bloques. Únicamente, se observa alguna marca que podría relacionarse con la cuña insertada para el corte del bloque o por la herramienta de corte utilizada (figura 4.14.f). También se han localizado piezas pétreas labradas que no llegaron a trasladarse y quedaron abandonadas (figura 4.14.g).

Desde la zona inferior del frente hasta prácticamente la ruta verde, hoy en día se observan unos pequeños barrancos artificiales cuyos laterales están revestidos con mampostería, seguramente utilizados para facilitar la carga de piedra y su traslado, hacia el apeadero y/o hacia los hornos de cal. Debe tenerse en cuenta que la extracción de materia prima para la cementera ha podido eliminar antiguos frentes de explotación que pudieron suministrar piedra caliza para la construcción de otros edificios de Madrid, quedando como un claro ejemplo el frente de explotación A.

²¹ Por el texto incluido en la figura 4.8, podría pensarse que la extracción de la caliza en Cornicabra resultaba una sencilla actividad. Si bien el tipo de explotación y la existencia del apeadero facilitaban enormemente las labores, el trabajo en la cantera era muy duro y más teniendo en cuenta que a principios del siglo XX se carecía de los medios mecánicos actuales.

²² Indica Martín (1994) que en las localidades donde se ubicaban las canteras, existían talleres y aserraderos en donde la piedra era dimensionada en formas y tamaños diversos para su mejor aprovechamiento, enviando a la obra piezas más manejables. Puesto que en las canteras de Cornicabra las vagonetas se acoplaban directamente al ferrocarril que llegaba hasta Madrid, para el Antiguo Hospital posiblemente los bloques se encargaran en bruto según las medidas necesarias (así indica Otero-Cerdeira, 2004 se procedió con el granito destinado a la construcción de la Iglesia de la Veracruz en O Carballino, Ourense), realizándose en obra el dimensionado de las piezas pétreas así como tallándose la tirada lisa y entalladura (epígrafe 3.2.1).



Fig.4.14. Actividad minera en las canteras de Cornicabra (Morata de Tajuña) a principios del siglo XX y vestigios de la actividad extractiva que se observaban en el año 2009.

4.4.2.b. Descripción del frente de cantera

Para acceder a la cantera de Cornicabra, puede tomarse la carretera M-302 desde Morata dirección a San Martín de la Vega y pasado un mojón ubicado a la izquierda de la carretera que anuncia el paraje del Valhondo, a un kilómetro aproximadamente sale a la derecha un camino de tierra que llega hasta la cantera, hoy en día abandonada, atravesando la antigua línea de ferrocarril (figura 4.15).

Se ha levantado una columna estratigráfica en el frente de cantera actual (figura 4.16.a), vestigio de lo que fue la explotación mostrada en las figuras 4.14.a y 4.14.e. El afloramiento presenta una orientación Noroeste-Sureste y la estratificación es horizontal, buzando suavemente (<math><10^\circ</math>) hacia el Sureste y correspondiendo este buzamiento con la deformación tectónica regional que origina el sinclinal de Morata (San José 1975). Los paquetes de caliza muestran una fracturación vertical, la base de la serie está cubierta y hacia techo se observa el desarrollo de un perfil edáfico, donde se enraíza la cobertera vegetal (figura 4.16.b).



Fig.4.15. Acceso actual a la cantera de Cornicabra por el camino de tierra trazado desde la carretera M-302.

La serie se ha dividido en tres tramos principales (figura 4.17), constituida principalmente por calizas oncolíticas muy esparíticas y tobáceas. La potencia de la serie es estratocreciente, en tanto que el espesor de los paquetes crece desde la base de la serie hasta el techo de la misma. Los planos de fracturación, generalmente perpendiculares a la estratificación, suelen encontrarse rellenos de abundante material arcilloso (figura 4.16.d), procedentes en gran parte de la disolución de los carbonatos²³. A techo del afloramiento se identifica un depósito detrítico de coluvión cuaternario (figura 4.16.b), que cubre parte de la cantera y rellena la serie aprovechando una dolina originada posiblemente durante los procesos de karstificación acontecidos.



Fig.4.16. Diversos aspectos observados en el afloramiento de donde posiblemente fue extraída la piedra caliza utilizada en el Hospital de Jornaleros de Maudes.

²³ La brechificación y la acumulación de material arcilloso tienen lugar durante los eventos sedimentarios y kársticos acontecidos por la exposición subaérea de la cuenca (Sanz-Montero et al. 2003).

TRAMO 1 (3 metros de potencia):

- **1.1:** 1,2 m de calizas grisáceas oncolíticas con gravels y bioclastos (secciones de charáceas y gasterópodos), muy cementadas. La textura es grainstone. La caliza muestra superficialmente abundantes procesos de disolución y rellenos arcillosos.
- **1.2:** 0,5 m de caliza oncolítica de intensa tonalidad gris, con bioclastos y gravels. La textura es packstone-grainstone. Hacia el techo, la facies muestra una tonalidad más clara y abundantes oncolitos, de hasta 4,5 cm de diámetro. Sobre la superficie de estratificación del techo, se observan cementos laminares de calcita que recuerdan a espeleotemas de tipo colada.
- **1.3:** Banco de 1,3 m constituido por calizas de tonalidad beige oncolíticas con bioclastos, que hacia techo cambian a facies más tobáceas y más claras. Se observa porosidad de disolución de tipo vug y rellenos de arcilla. El tramo superior del banco corresponde a 0,4 m de calizas tobáceas, identificándose entramados bien cementados y cristalización de calcita en huecos de disolución. Superficialmente, presentan una tonalidad blanca y un aspecto pulvulento, debido a procesos de alteración.

TRAMO 2 (5,8 metros de potencia):

- **2.1:** Banco de 2,5 m constituido por una caliza margosa homogénea que presenta una tonalidad clara y superficie pulverulenta, ambos rasgos debidos a procesos de alteración superficial. Hacia techo, la caliza es menos margosa. Se observan abundantes huellas de raíces.
- **2.2:** 1,3 m de alternancia de calizas tobáceas y calizas oncolíticas, predominando estas últimas hacia techo del banco. Ambas facies muestran una tonalidad beige, disgregación superficial, rasgos de disolución y rellenos arcillosos.
- **2.3:** Banco de unos 2 m de calizas oncolíticas, mostrando mayor competencia que en el banco inferior. Se divide en dos bancos de potencia muy similar, que están separados por una superficie de disolución. En el tramo inferior, de tonalidad beige, se observan abundantes oncolitos, incrementándose su cantidad hacia la zona inferior del mismo, y algunos rasgos de disolución. En el tramo superior, la facies es oncolítica, muy esparítica y de tonalidad grisácea. En esta última facies, correspondiente a un grainstone-packstone, se identifican gravels, estructuras algares y bioclastos.

TRAMO 3 (8,2 m de potencia):

- **3.1:** Banco de 1 m de caliza bioconstruida de tallos con envueltas algares y algunos oncolitos, muy compacta y de tonalidad clara. La textura es grainstone-packstone y boundstone.
- **3.2:** 2,2 m igualmente de caliza oncolítica sobre tallos, más porosa, con menor cantidad de tallos y también de tonalidad clara. Se aprecian gravels dispersos y porosidad tipo vug rellena de material arcilloso. En la base del banco puede observarse el contacto entre la superficie de estratificación de los carbonatos con las brechas posteriormente generadas.
- **3.3:** Banco de 5 m constituido por calizas de tonalidad oscura oncolíticas y muy esparíticas. Hacia la base se puede observar una zona carstificada con relleno brechoide y arcillas. Se observan secciones de tallos y abundantes gravels. El banco presenta una estratificación irregular, alternando paquetes de unos 0,5 m con otros que no alcanzan los 0,2 m de espesor.
- A techo de la serie se desarrolla un suelo. Se observan también estructuras de colapso, generadas posiblemente por eventos kársticos, que han afectado sensiblemente al coluvión cuaternario, el cual presenta similar inclinación a la de los bancos, apreciable además por la orientación de sus cantos más gruesos.

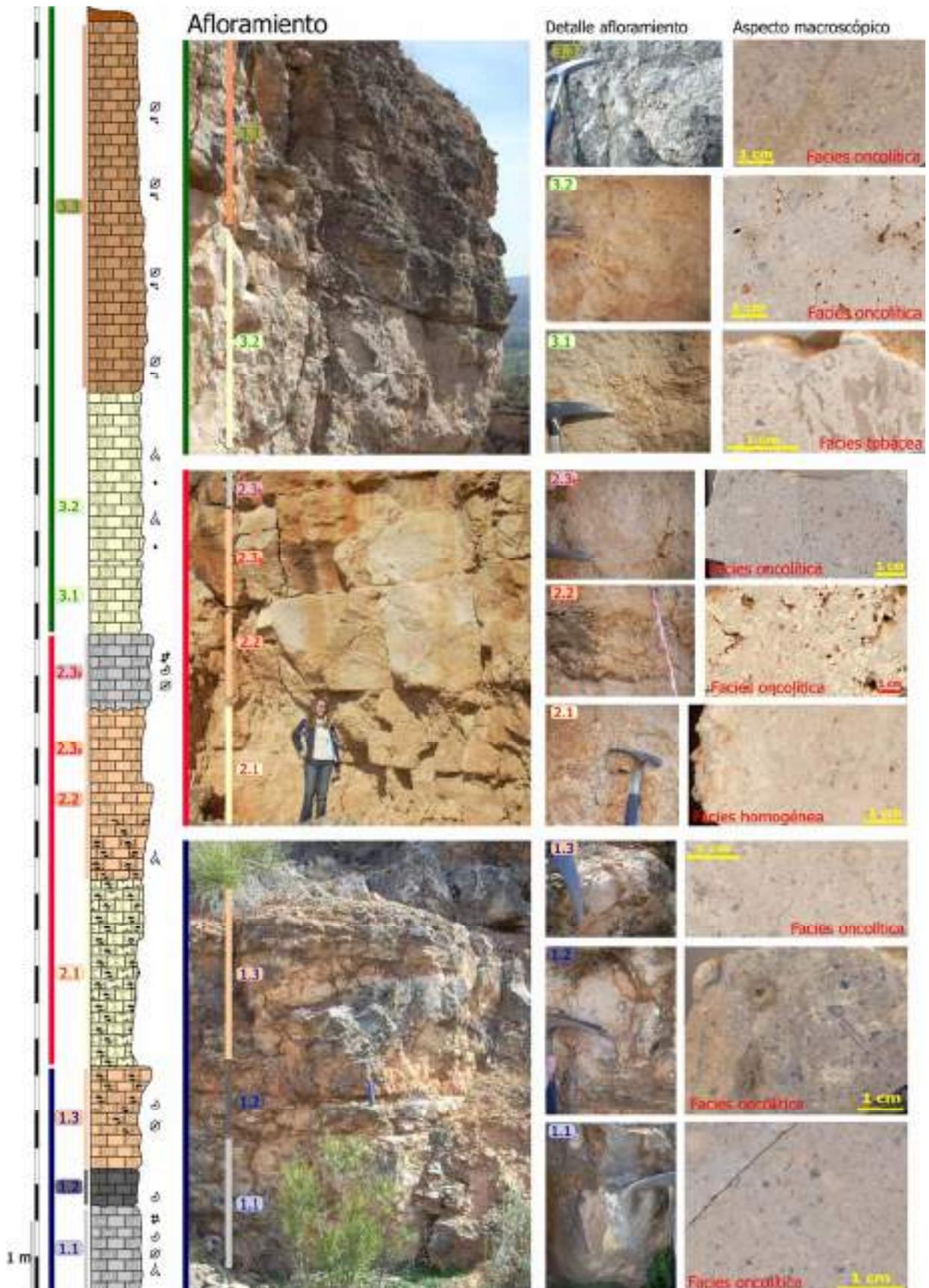


Fig.4.17. Columna estratigráfica realizada en el afloramiento de donde, posiblemente, fue extraída la caliza utilizada para la construcción del Hospital de Maudes.

Se muestran los tres tramos establecidos, el aspecto *in situ* de la práctica totalidad de los bancos y/o paquetes de caliza diferenciados y el aspecto macroscópico de las facies identificadas (mayoritariamente facies oncolíticas).

4.4.3. **Caracterización petrográfica de la caliza (edificio y cantera)**

4.4.3.a. Descripción macroscópica

Puesto que en el epígrafe 4.2.2.b se ha descrito el aspecto macroscópico de las muestras tomadas en el afloramiento, el cual puede observarse en la figura 4.17, a continuación únicamente se observa el aspecto que *de visu* muestran los testigos tomados de las fachadas. Ciertamente, facies de un determinado tipo presentan rasgos característicos de otra, debido en parte a los abundantes cambios laterales que presenta la caliza del páramo (San José 1975, Bustillo 1980) y a la gran variedad de facies existentes en los ambientes fluviolacustres (García del Cura et al. 1994). En función de los caracteres texturales predominantes en las superficies observadas, se clasifican en una o más de estas facies y se establece su correspondencia con las variedades reconocidas *in situ*.

FACIES HOMOGÉNEA: correspondiente a la variedad de caliza compacta de tonalidad clara, presenta una coloración crema. Se trata de una caliza micrítica con elevado grado de compactación, no se observan componentes detríticos, presenta cavidades de disolución, tapizadas o rellenas parcialmente por material arcilloso y algunas venas irregulares cementadas por calcita (figura 4.18.a).

FACIES ESTROMATOLÍTICA: se corresponde igualmente con la variedad de caliza compacta de tonalidad clara. Se identifican construcciones biogénicas correspondientes principalmente a estructuras estromatolíticas, observándose en ocasiones secciones de algas. Apenas se observa material arcilloso, concentrado muy puntualmente en la escasa porosidad no cementada, ni componentes detríticos. Los testigos extraídos de sillares constituidos con las calizas de coloración rojiza y de tonalidad oscura pertenecen igualmente a la facies estromatolítica (figuras 4.18.e y 4.18.f respectivamente). La tonalidad rojiza responde a un importante contenido en material arcilloso, mientras que la coloración oscura es debida a un elevado contenido en materia orgánica, de ahí la menor dureza que presenta esta variedad, como se apreciaba *in situ*, reconocible además por el olor desprendido durante el corte de las muestras.

FACIES TOBÁCEA: principalmente se corresponde con la variedad de caliza porosa rojiza observada en los paramentos, aunque también se ha visto esta facies exenta de material arcilloso, mostrando una tonalidad clara (figura 4.3.e). Si bien en los paramentos se pueden observar los moldes vegetales cuya acumulación ha originado la roca (figuras 4.3.d y 4.3.e), en la figura 4.18.e puede atenderse a la sección de los mismos y a las estructuras biogénicas generadas a su alrededor. Tal y como se aprecia en los paramentos, esta facies presenta elevada porosidad, que, en numerosas ocasiones, contiene una importante concentración de material arcilloso.

4.4.3.b. Caracterización petrográfica

Se atiende primero a los caracteres petrográficos generales²⁴ de las facies caracterizadas, tanto tomadas en el inmueble como procedentes del afloramiento, indicando posteriormente aquellos más particulares. Puesto que las variedades establecidas en las fachadas del inmueble como caliza compacta clara (muestras CCC) y caliza compacta oscura (CCO), correspondientes principalmente a facies homogénea y estromatolítica-oncolítica (figura 4.18), muestran una similitud con las facies oncolítica y homogénea observadas en el afloramiento (figura 4.17), la caracterización petrográfica de las muestras correspondientes se realiza comparativamente. Sin embargo, como ninguna de las muestras tomadas en el afloramiento presentan la tonalidad rojiza observada en la variedad caliza compacta rojiza de las fachadas (CCR, figura 4.18.e), su caracterización petrográfica se realiza de forma independiente.

²⁴ Siguiendo la terminología de Folk (1959), los componentes texturales de las facies observadas son los aloquímicos, granos o partículas, y los ortoquímicos, esto es, la matriz (micrita) y el cemento (esparita).

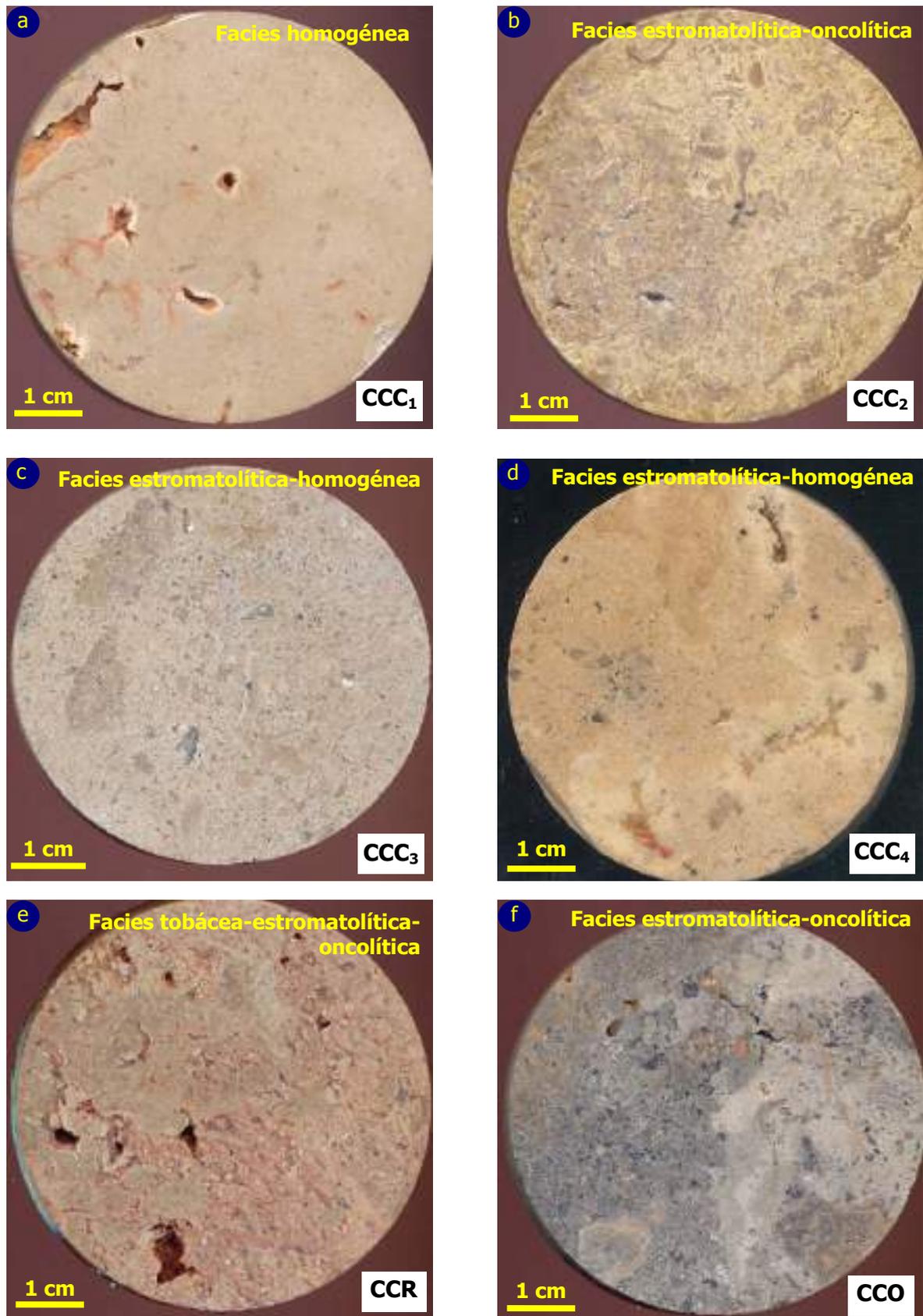


Fig.4.19. Aspecto *de visu* de las principales variedades de piedra caliza identificadas en las fachadas del Antiguo Hospital, caliza compacta clara (CCC), caliza compacta rojiza (CCR) y caliza compacta oscura (CCO), especificándose su correspondencia con facies características de ambientes fluvioicustres.

4.4.3.b.1. Caracteres petrográficos generales

ALOQUÍMICOS: las partículas que constituyen el esqueleto son principalmente bioclastos, y, en menor medida, intraclastos y extraclastos. Los bioclastos se corresponden con secciones longitudinales y transversales de tallos de algas charáceas (figura 4.19.c), con fragmentos o restos completos de moldes de ostrácodos y gasterópodos (figura 4.19.b) y con estructuras estromatolíticas y/o envueltas micríticas, desarrolladas principalmente sobre las secciones de charáceas (figuras 4.19.a-4.19.c). A veces, en estas cubiertas micríticas, apenas se diferencian las capas (figura 4.19.c), debido principalmente a los procesos de recristalización degradante acontecidos (Wolf 1965). Los intraclastos corresponden sobre todo a calizas de peloides, de tamaños variados y morfologías subangulosas-subredondeadas, presentando normalmente irregulares cubiertas micríticas (figuras 4.19.c y 4.19.d). Como único constituyente extracuenal se identifican granos diseminados de cuarzo detrítico, monocristalinos y angulosos (figuras 4.19.a y 4.19.b).

ORTOQUÍMICOS (MATRIZ Y CEMENTO): la matriz es micrítica y presenta una textura peloidal, constituida por peloides subredondeados y de tamaños similares (figuras 4.19.b y 4.19.c). El cemento corresponde a cristales de calcita (figura 4.19.f) que rellenan parcial o completamente la porosidad observada. Principalmente, se identifica una porosidad intrapartícula, en el interior de los bioclastos (figura 4.19.b) y asociada a las secciones de charáceas (figuras 4.19.c, 4.19.d y 4.19.h); interpartícula, cementando los constituyentes del esqueleto (figuras 4.19.c y 4.19.d), y de tipo vug, diseminada en el seno de la matriz. También se observa una porosidad en canal, grietas cementadas por esparita posiblemente relacionadas con la bioturbación del sedimento (figura 4.19.e), y una porosidad móldica, formada por disolución de las partes duras de los bioclastos (figura 4.19.b). Se aprecian diversos crecimientos cristalinos de calcita, correspondientes a diferentes episodios o fases de cementación. Así, se observa la sedimentación interna o relleno micrítico de los poros (silt o limo vadoso), presentando los cristales una tonalidad pardo-amarillenta, y cementos politexturales con distribución geopetal cerrando el poro (figuras 4.19.g y 4.19.h). Se observan abundantes rellenos geopetales (figura 4.19.b) y la concentración de un material con intensa coloración pardo-rojiza (figura 4.19.h), presumiblemente correspondiente a arcillas, sobre todo tapizando las paredes internas de los poros y/o rellenándolos parcialmente.

4.4.3.b.2. Caracteres petrográficos particulares

FACIES ESTROMATOLÍTICA-ONCOLÍTICA (FACHADA) Y ONCOLÍTICA (CANTERA): se reconocen abundantes secciones de tallos de charáceas sobre las que se desarrollan estructuras estromatolíticas (figura 4.20). En ocasiones, en torno a las secciones de charáceas se observa una aureola de cristales de calcita (figura 4.20.e). Además de las cubiertas micríticas propias de estas construcciones biogénicas, se identifican otras estructuras correspondientes también a la actividad desarrollada por las algas (figuras 4.20.c y 4.20.d). Se observan abundantes rellenos geopetales (figuras 4.20.a y 4.20.e) y material arcilloso (figuras 4.20.d y 4.20.f). La muestra CCO (de fachada), correspondiente a la variedad de caliza compacta oscura, y la muestra 3.1 (de cantera), presentan un importante contenido arcilloso, principalmente en torno a las secciones de algas charáceas, bien constituyendo las envueltas micríticas en su totalidad (figura 4.20.g), bien constituyendo la parte más externa de las mismas (figura 4.20.h). Según Folk (1959), esta facies se corresponde con una bioesparita de charáceas y según Dunham (1962) con un grainstone de charáceas.

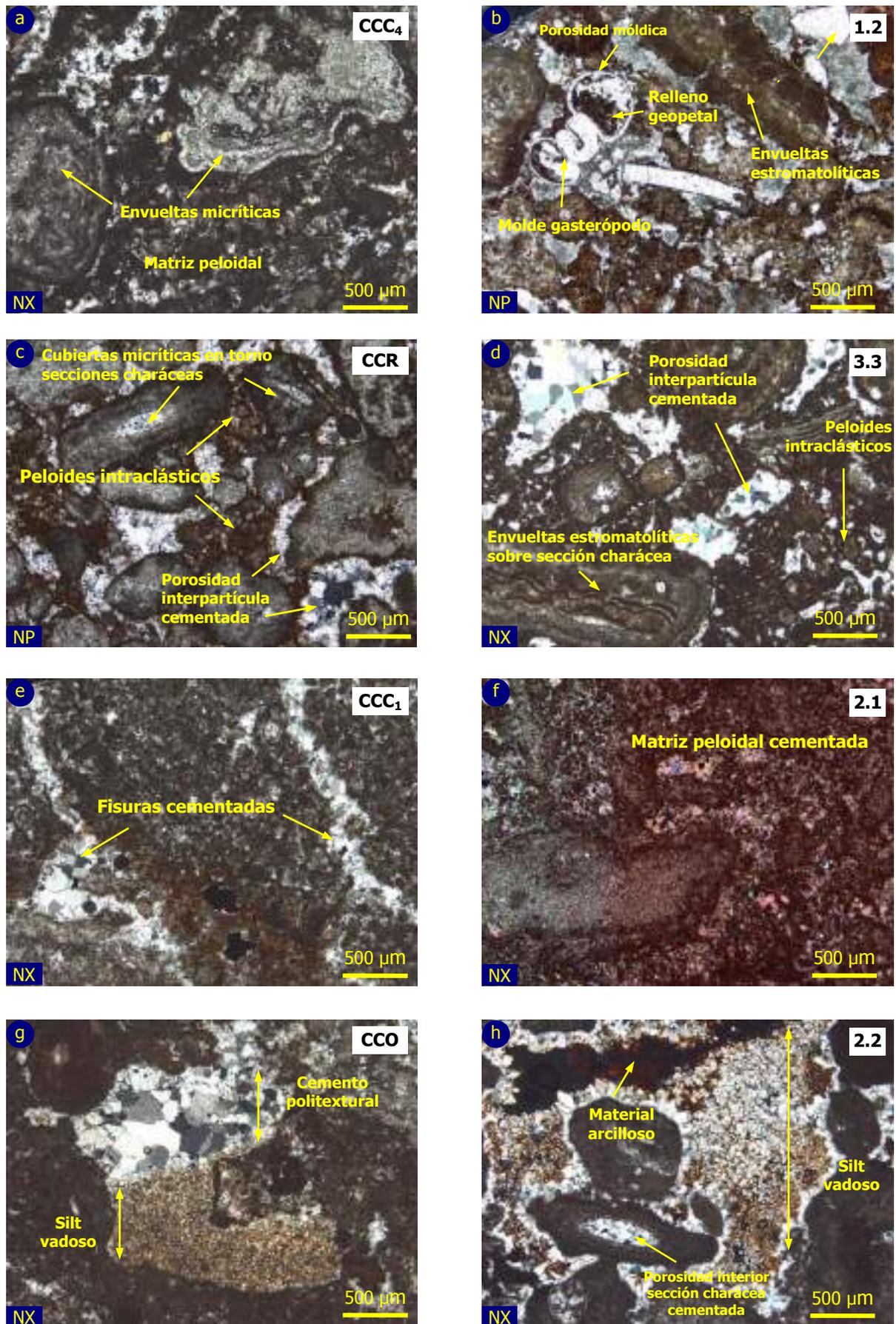
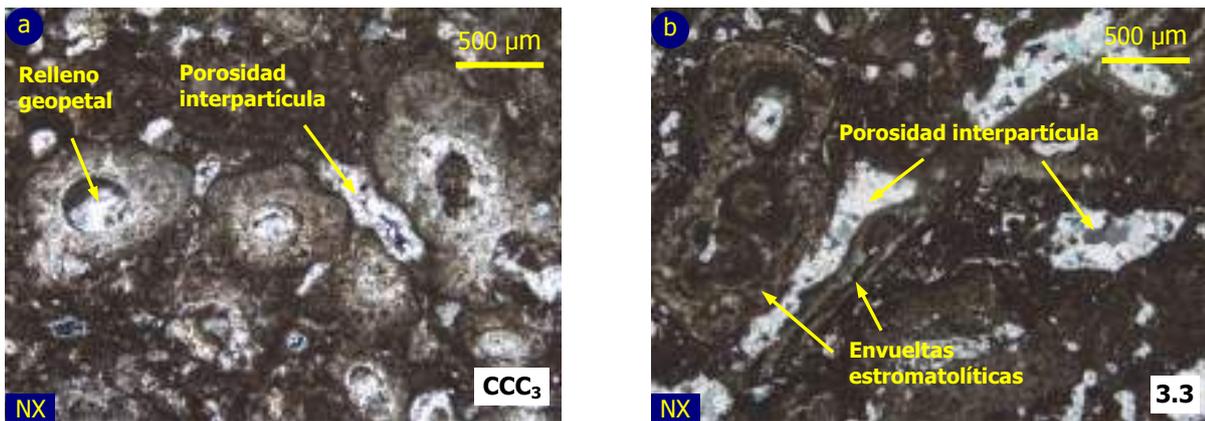
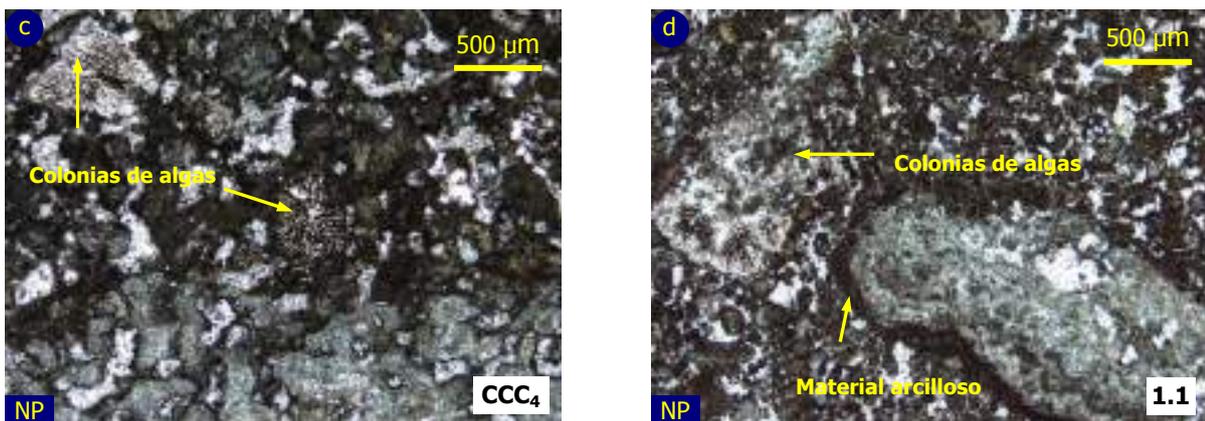


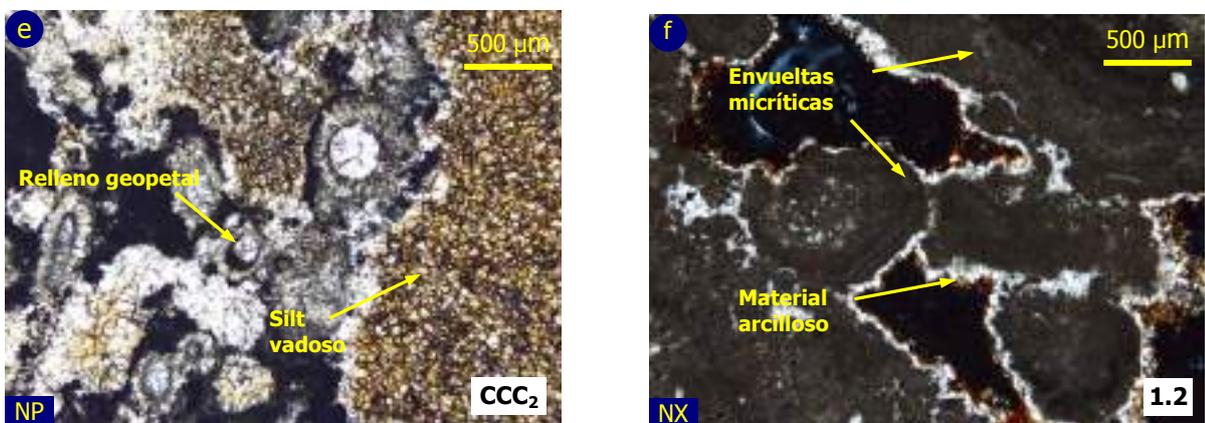
Fig.4.19. Comparativa entre los principales componentes alioquímicos y ortoquímicos observados en la piedra caliza tomada de la fachada (izda.) y de la cantera (dcha.) observados al microscopio óptico de polarización.



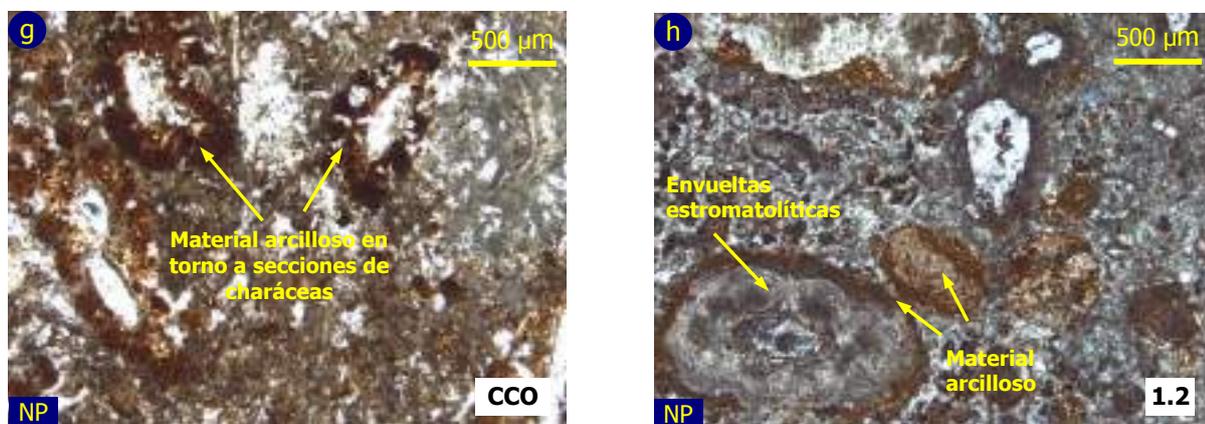
Secciones transversales de tallos de charáceas con envoltas estromatolíticas. Fachada (a), cantera (b).



Fábrica peloidal y estructuras biogénicas generadas a partir de la actividad algal. Fachada (c), cantera (d).



Caliza biogénica de charáceas con diversos episodios de cementación. Fachada (e), cantera (f).



Envoltas micríticas con importante contenido arcilloso. Fachada (g), cantera (h).

Fig.4.20. Comparativa entre la facies estromatolítica-oncolítica de las muestras de fachada (izda.) y la facies oncolítica de cantera (dcha.), observadas bajo microscopio petrográfico de luz polarizada.

FACIES HOMOGÉNEA (FACHADA Y CANTERA): la facies homogénea observada en algunos de los testigos extraídos (figura 4.18.a) y en el banco 2.1 establecido en el afloramiento (figura 4.17), presentan caracteres petrográficos muy similares. Así, ambas corresponden a una caliza micrítica con matriz peloidal predominante y escasos bioclastos (figura 4.21). La porosidad, interpartícula o de tipo vug está cementada en su práctica totalidad. Esta facies se clasifica como una pelmicrita (Folk 1959)²⁵ o mudstone (Dunham 1962)²⁶.

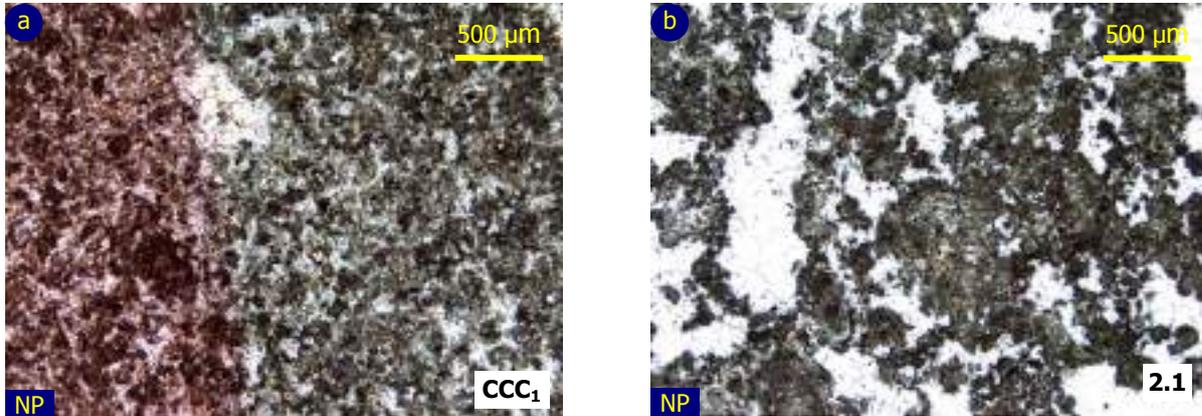


Fig.4.21. Comparativa entre el aspecto de la facies homogénea de fachada (izda.) y de cantera (dcha.) observado al microscopio óptico de polarización.

FACIES TOBÁCEA²⁷: se observa la porosidad típica del crecimiento de edificios tobáceos, asociada a los tubos dejados por las algas charáceas tras su desaparición. Estas cavidades aparecen bien cementadas parcial o totalmente, bien rellenas por micrita y/o material arcilloso de coloración pardo-rojiza, tapizando normalmente las paredes internas de los tubos (figura 4.22.a). Se identifican abundantes texturas estromatolíticas desarrolladas sobre las charáceas (figura 4.22.b). Esta facies muestra abundante concentración de material arcilloso con intensa tonalidad pardo-rojiza y se identifican algunos granos de cuarzo detrítico.

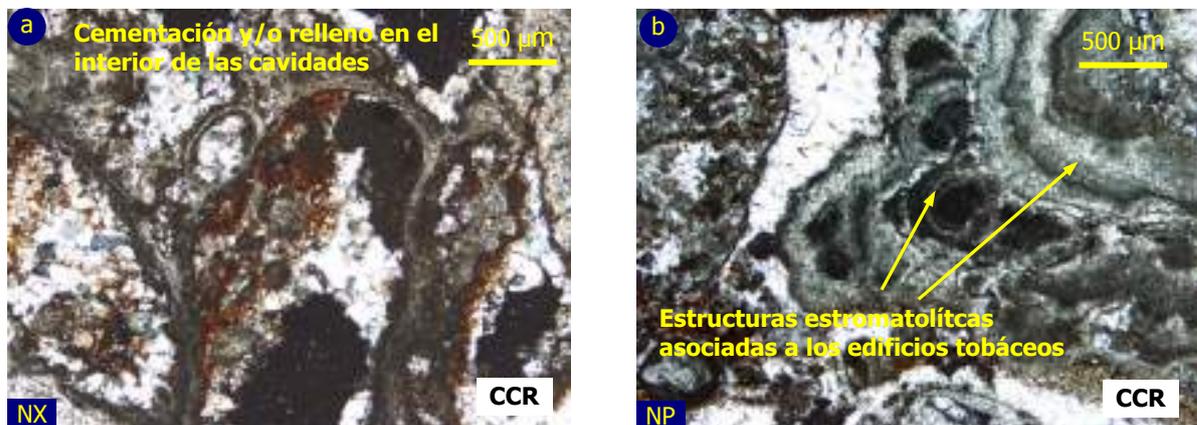


Fig.4.22. Imágenes de la facies tobácea muestreada en los paramentos del inmueble (testigo CCR), observada con microscopio petrográfico de luz polarizada.

²⁵ Debe tenerse en cuenta que las clasificaciones de Folk (1959) y Dunham (1962) fueron establecidas para carbonatos marinos y conforme a su textura deposicional, pudiendo en ocasiones existir cierta incompatibilidad al adaptarlas a carbonatos continentales que han sufrido diagénesis, y/o han estado sometidos a exposición subaérea.

²⁶ Para Wright et al. (1997), los mudstones son depósitos típicos de ambientes lacustres.

²⁷ Si bien en algunos bancos de los tramos establecidos en la serie levantada se han observado *de visu* rasgos de facies tobácea (tramos 2.2 y 3.1 en figura 4.17), los caracteres petrográficos que presenta la facies tobácea muestreada en el inmueble no han sido observados en las muestras de cantera, de ahí que en la figura 4.22 no se muestre la comparativa correspondiente.

4.4.4. Caracterización petrofísica

4.4.4.a. Propiedades físicas y mecánicas

En la tabla 4.4 se recogen los valores medios y de desviación estándar de los parámetros cromáticos medidos en la superficie del sillar y en las probetas dimensionadas a partir de los testigos extraídos (figura 4.23). Principalmente, por un lado se observa que la superficie del sillar muestra unos valores de L* y de IB más elevados que la superficie de la caliza en estado fresco así como un IA menor. Por otro, las superficies de las probetas presentan valores de L* e IA especialmente similares y el valor de IB en el testigo A resulta negativo, de ahí los mayores valores en el IA, coordenada b* y saturación de color (C*) medidos. En la zona inferior de figura 4.23 se representan los valores de luminosidad frente a la croma y de la coordenada b* frente a la coordenada a*. En ambos gráficos se observa la agrupación de las probetas; atendiendo a los valores L*/C* la superficie del sillar queda independientemente agrupada, si bien muestra valores de b*/a* que coinciden con los medidos en las superficies de los testigos A, C y D.

Tabla 4.4. Parámetros cromáticos medidos en la superficie del sillar y de las probetas.

| | L* | | a* | | b* | | C* | | IB | | IA | |
|-----------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|
| | \bar{X} | Std |
| Sillar | 75,03 | 3,00 | 3,59 | 0,89 | 10,09 | 2,79 | 10,71 | 2,92 | 14,73 | 9,77 | 17,42 | 4,66 |
| Testigo A | 66,56 | 1,15 | 4,80 | 0,34 | 14,35 | 1,26 | 15,14 | 1,28 | -4,52 | 3,12 | 28,05 | 2,05 |
| Testigo B | 67,34 | 0,94 | 5,42 | 0,30 | 11,41 | 0,45 | 12,63 | 0,50 | 3,20 | 1,33 | 22,89 | 0,86 |
| Testigo C | 66,39 | 1,52 | 3,17 | 0,28 | 9,03 | 0,71 | 9,57 | 0,70 | 9,66 | 1,88 | 18,34 | 1,27 |
| Testigo D | 64,98 | 1,31 | 3,73 | 0,25 | 11,83 | 0,56 | 12,41 | 0,60 | 1,64 | 1,79 | 23,86 | 1,29 |
| A-B-C-D | 66,32 | 0,98 | 4,28 | 1,02 | 11,66 | 2,18 | 12,44 | 2,28 | 2,50 | 5,82 | 23,29 | 3,94 |

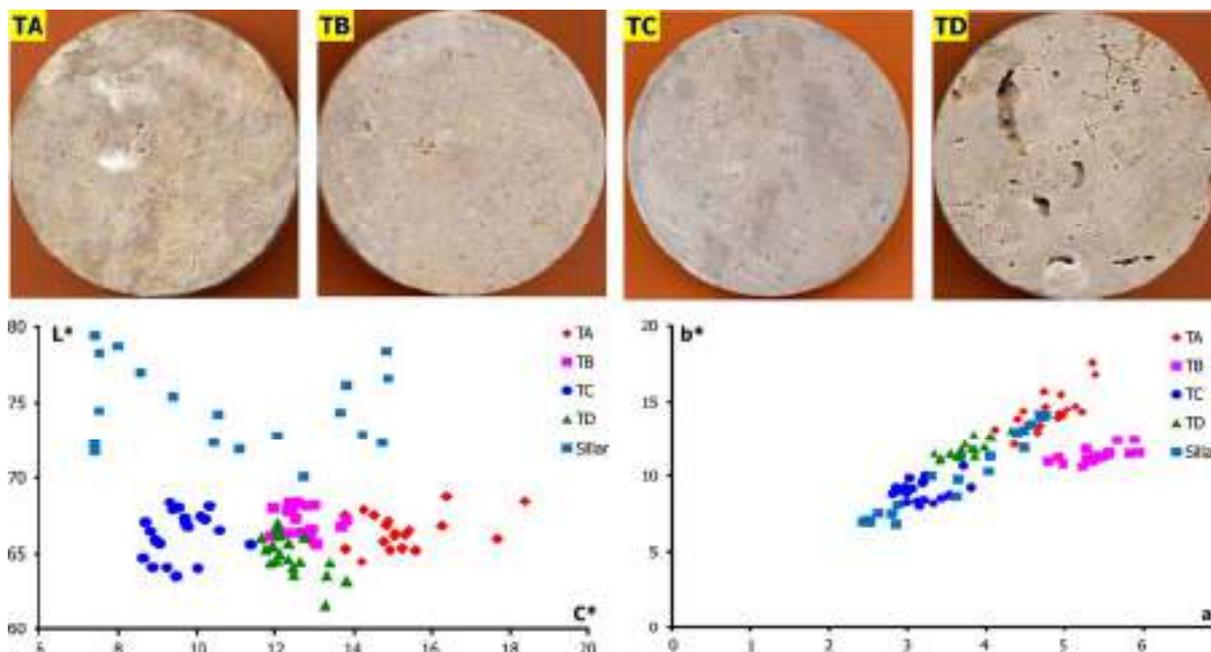


Fig.4.23. Secciones de los testigos donde se ha realizado la medición de los parámetros cromáticos y representación gráfica de L*/C* y b*/a*, obtenidos en las probetas y en el sillar.

En la tabla 4.5 se muestran los valores medios y de desviación estándar de la velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas, resultantes a partir de las medidas efectuadas sobre las probetas (medidas directas). Se obtienen valores muy elevados ($V_p > 5.500$ m/seg) y la menor velocidad obtenida en el testigo D ($V_p = 5.542$ m/seg) responde a su mayor porosidad respecto a los otros tres testigos (figura 4.23), de ahí también el valor de desviación estándar más elevado que presenta ($Std = 109,87$). Los dos índices de anisotropía obtenidos presentan valores bajos ($dM\%$ y $dm\% < 2\%$) y son además muy similares entre sí, indicando la inexistencia de una dirección preferente. El valor medio del índice de rebote (R) medido *in situ* en la superficie del sillar se corresponde con un valor de $55,9 (\pm 1,6)$ y de la velocidad de propagación con $4.997 (\pm 35,92)$ m/s. El valor de velocidad resultante *in situ* es menos porque en las medidas superficiales o indirectas el camino recorrido por las ondas desde el emisor hasta el receptor es más largo que el recorrido en las medidas directas. Con los datos tomados *in situ* no pueden determinarse los índices de anisotropía, ya que éstos se calculan a partir de las velocidades de propagación en dos o tres direcciones del espacio, y sobre el sillar únicamente se han tomado medidas en una dirección.

Tabla 4.5. Velocidades de propagación de los ultrasonidos e índices de anisotropía en las probetas.

| | Vp (m/seg) | | Índices de anisotropía | | | |
|-----------|------------|--------|------------------------|------|--------------|------|
| | | | Total dM (%) | | Total dm (%) | |
| | \bar{X} | Std | \bar{X} | Std | \bar{X} | Std |
| Testigo A | 6.209 | 4,24 | 1,34 | 0,97 | 0,66 | 0,7 |
| Testigo B | 5.894 | 90,85 | 1,90 | 0,67 | 0,71 | 0,49 |
| Testigo C | 5.854 | 66,66 | 1,22 | 0,89 | 1,32 | 1,16 |
| Testigo D | 5.542 | 109,87 | 1,03 | 0,25 | 1,02 | 1,27 |
| A-B-C-D | 5.874 | 273 | 1,37 | 0,37 | 0,93 | 0,31 |

En cuanto a los valores de densidad real, densidad aparente e índice de compacidad, mostrados en la tabla 4.6, el valor de densidad real obtenido en los cuatro testigos ensayados ($2,68-2,69$ gr/cm³) es muy similar a la densidad de la calcita ($2,71$ gr/cm³), constituyente mineralógico principal de la piedra estudiada. Para la densidad aparente resultan valores ligeramente inferiores ($2,50-2,63$ gr/cm³). La diferencia en valor entre la densidad real y la densidad aparente no alcanza para ninguna de las muestras ensayadas un valor superior a los $0,2$ gr/cm³, señalando un bajo grado de porosidad en la caliza. Los índices de compacidad son muy elevados ($>90\%$), resultando este valor menor cuanto más bajo es el valor de densidad aparente, incrementándose la diferencia respecto a la densidad real y, por tanto, resultando mayor la porosidad accesible al agua como se verá a continuación.

Tabla 4.6. Valores de la densidad real, densidad aparente e índice de compacidad en las probetas.

| | Densidad real (g/cm ³) | | Densidad aparente (g/cm ³) | | Índice compacidad (%) | |
|-----------|------------------------------------|------|----------------------------------------|------|-----------------------|------|
| | \bar{X} | Std | \bar{X} | Std | \bar{X} | Std |
| Testigo A | 2,68 | 0 | 2,63 | 0 | 98,18 | 0 |
| Testigo B | 2,69 | 0,01 | 2,59 | 0,03 | 96,44 | 1,02 |
| Testigo C | 2,69 | 0 | 2,59 | 0,02 | 96,28 | 0,57 |
| Testigo D | 2,68 | 0,02 | 2,50 | 0,04 | 93,12 | 2,04 |
| A-B-C-D | 2,69 | 0,01 | 2,58 | 0,06 | 96,01 | 2,11 |

4.4.4.b. Propiedades relacionadas con el sistema poroso

Los parámetros hídricos determinados en las probetas ensayadas son mostrados en la tabla 4.7. De forma general, por un lado, la caliza muestra un bajo porcentaje de porosidad accesible al agua y al mercurio así como de cantidad máxima de agua que es capaz de absorber por saturación al vacío y coeficiente de permeabilidad al vapor de agua. Se observa que cuanto mayor es el valor de porosidad accesible al agua, mayor cantidad de agua absorben las muestras por saturación. Referente a estos cuatro parámetros hídricos, el testigo A presenta los valores inferiores y en las probetas dimensionadas del testigo D se han obtenido los valores más elevados. Por otro lado, en la caliza predomina la microporosidad frente a la macroporosidad accesible al mercurio y, salvo para el testigo D, el valor del ángulo de contacto dinámico es mayor de 60. Igualmente, el porcentaje de agua absorbida por saturación es mayor cuanto mayor es la porosidad de la roca.

Tabla 4.7. Parámetros relacionados con el sistema poroso de la caliza analizada.

| | Porosidad accesible al agua (%) | Saturación accesible al agua (%) | Porosidad accesible al Hg (%) | Macro porosidad >5µm (%) | Micro porosidad <5µm (%) | Superficie específica (m ² /g) | Coefficiente de permeabilidad (g/m ² · 24h mmHg) | AC(°) |
|-----------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------|
| Testigo A | 1,82 | 0,69 | 1,3 | 0,5 | 99,5 | 0,882 | 0,017 | 64,04 |
| Testigo B | 3,56 | 1,38 | 2,44 | 16,2 | 83,8 | 0,027 | 0,030 | 66,43 |
| Testigo C | 3,72 | 1,44 | 2,48 | 23,8 | 76,2 | 1,70 | 0,045 | 63,45 |
| Testigo D | 6,88 | 2,76 | 3,84 | 10,5 | 89,5 | 1,862 | 0,165 | 56,91 |
| A-B-C-D | 4,00 | 1,57 | 2,52 | 12,75 | 87,25 | 1,12 | 0,06 | 62,71 |

Las curvas porosimétricas obtenidas para los testigos A, B y C muestran una tendencia unimodal (figura 4.24), especialmente para el testigo A, presentando la mayoría de los poros tamaños medios de diámetro comprendidos entre 0,01 y 0,1 µm. Otra moda representativa se concentra en el intervalo 0,1-1 µm, que resulta algo más significativa para el testigo D, cuya curva muestra cierta tendencia polimodal, revelando la presencia de poros de tamaños muy diferentes. Se han obtenido bajos valores de superficie específica, resultando para el testigo D algo más elevado, en correspondencia con su mayor porcentaje de porosidad accesible al mercurio (3,84%).

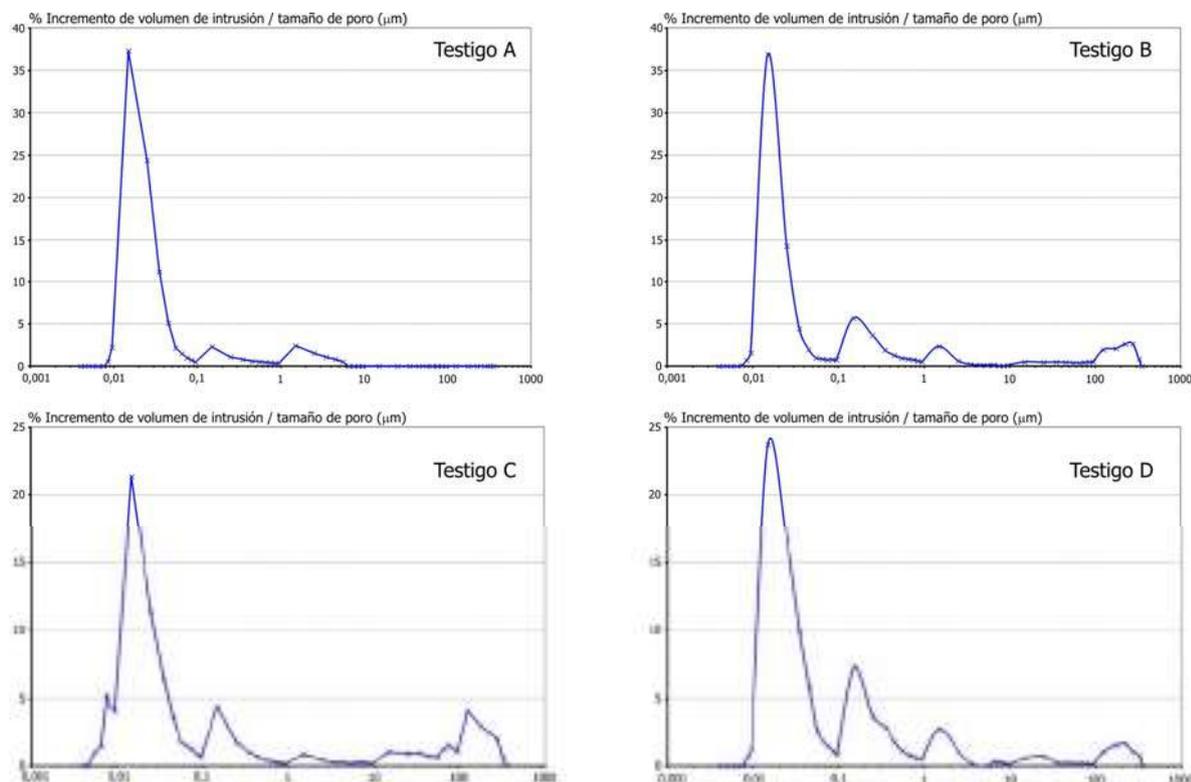


Fig.4.24. Curvas de distribución porosimétrica resultantes a partir de la caracterización de las probetas.

4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.5.1. Selección definitiva de la piedra caliza para el Hospital de Jornaleros

Por el prestigio del que tradicionalmente había disfrutado la caliza de Colmenar de Oreja en la arquitectura de la provincia de Madrid y el hecho de que Palacios hubiese trabajado con esta piedra en obras suyas anteriores (tabla 1.1 y epígrafe 4.1.1.d), tal vez el artífice pensara en esta caliza para levantar el hospital, como lo pensó para el Palacio de Comunicaciones. Si principalmente por cuestiones económicas el uso de la *caliza de Colmenar* quedó restringido en este edificio a los zócalos y ornamentos, el menor coste de producción del Hospital de Jornaleros (tabla 4.2) fue posiblemente el motivo principal por el que la *caliza de Colmenar* no fue seleccionada. A principios del siglo XX, ya era bien conocida la caliza de Morata de Tajuña, principalmente empleada para la fabricación de cal y cemento en el paraje del Valhondo. De hecho, como se ha indicado, cuando llega el tren a la localidad en 1901, se envió una comisión para el reconocimiento de las canteras (De la Torre y Paris 1986).

El documento realizado por la Sociedad Canteras de Cornicabra en 1907 refleja la importante actividad minera existente por entonces en las canteras del mismo nombre y el potencial que presentaba la caliza allí extraída, principalmente para el dimensionado de piezas de cantería. Además, en 1908, año en el que comienza la construcción del Hospital, la Estadística Minera recoge una importante producción diaria de cal por la Sociedad de Cementos y Canteras de Valhondo (Puche y Mazadiego 1999). La explotación a principios del siglo XX en las canteras de Cornicabra de caliza destinada a piezas de cantería era muy favorable, resultando una piedra altamente competitiva (figura 4.9). Por un lado, su textura azucarada y que apenas fuera necesario efectuar labores de desmonte (figuras 4.14.a y 4.14.e) permitía una extracción más sencilla que la caliza de Colmenar de Oreja. Por otro, el ferrocarril y el apeadero anexo a las canteras reducían los costes de transporte. Además, debe considerarse que el despiece de los paramentos del Antiguo Hospital en piezas pétreas de tamaños y morfologías tan diversas, en gran parte tuvo que estar condicionado por la potencia de los bancos de la caliza en las canteras de Cornicabra, como explica de forma genérica el *Boletín de la Revista de Obras Públicas* de 1896. Así, el diseño ideado por Palacios permitía el máximo aprovechamiento de la piedra, destinándose las piezas de peor calidad especialmente a la balaustrada y trasdós del muro perimetral.

Por tanto, además de adecuarse a las exigencias constructivas requeridas para la construcción del hospital, el motivo principal por lo que la caliza del Valhondo, seguramente la explotada en las canteras de Cornicabra, fue seleccionada, se debió a lo económicamente ventajosa que resultaba frente a otras calizas que se explotaban por entonces, tanto en la provincia como fuera de ella. Tal vez, Palacios hubiera asistido a la Exposición de Industrias Madrileñas de 1907, conociendo las magníficas cualidades de la caliza extraída en las canteras de Cornicabra (figuras 4.8 y 4.9) y quedando cautivado por los precios tan competitivos que ofrecía respecto a otros materiales pétreos comercializados por entonces. Además, la elevada producción de cal y cemento en las canteras del Valhondo aseguraba de alguna manera el rendimiento de las canteras. Así, aunque la Estadística Minera de 1915 señala un importante declive en la producción de las canteras madrileñas por la crisis en la construcción, esta crisis no afectó sustancialmente a la construcción del Hospital de Jornaleros, pues durante estos años Morata mantuvo su intensa actividad minera (Puche y Mazadiego 1999). Si bien Palacios trabajaba de forma bastante improvisada, al detallar en la memoria original del proyecto (1909) las dimensiones del solar y de la superficie a edificar, la cantidad de caliza a utilizar debía estar de antemano aproximadamente calculada, estimándose suficientes las reservas de piedra existentes por entonces en las canteras de Cornicabra²⁸.

²⁸ Por la improvisada forma de trabajar de Palacios, parece poco probable que inicialmente estuviera cerrado el presupuesto del hospital. Cabe también considerar que, ante una obra de tal magnitud y tan dilatada en el tiempo como el Hospital de Jornaleros, ajustarse a un presupuesto inicial resultaba complicado (Otero-Cerdeira 2004), siendo lógico que a la finalización surgieran numerosos problemas económicos.

Parece muy posible que, antes de comenzar las obras, el arquitecto hubiera visitado estas canteras para conocer en los afloramientos de la piedra a utilizar²⁹. Igualmente, consultaría los análisis químicos y los ensayos físicos realizados por la Sociedad Canteras de Cornicabra (figura 4.9), no efectuándose tal vez pruebas *a priori* en cantera como se hizo para el Palacio de Comunicaciones (Arévalo-Cartagena 1999). Es muy probable que, de no haber existido el apeadero de Cornicabra a pie de cantera, aspecto que abarataba considerablemente los costes, para el hospital se hubiera optado por la caliza de Petrel, que por entonces se empleaba para construir el Palacio de Comunicaciones, cuyos costes de producción eran más elevados que para el Hospital de Jornaleros (tabla 4.1). Cuando se inician las obras del hospital (1908), ya existía conexión ferroviaria entre Colmenar de Oreja y Morata con la capital (tabla 4.3). El abandono de las canteras de Colmenar de Oreja a finales del siglo XIX y primeros años del XX, más que al agotamiento de la caliza se debía a una cuestión económica. Así, el trazado ferroviario existente por entonces en el país posibilitaba que resultara mucho más rentable el empleo de calizas procedentes de zonas más lejanas. Ciertamente, las canteras de Colmenar de Oreja explotadas durante el XVIII estaban abandonadas y, aunque todavía quedaba caliza por explotar, no debía interesar la apertura de nuevos frentes. La llegada del ferrocarril a Colmenar de Oreja en 1903 reactivó las canteras, pero se mantuvo el empleo de piedra foránea a la provincia, pues seguía resultando más económica, de modo que, a principios del XX, la explotación de caliza en Colmenar de Oreja se mantuvo a un ritmo menor que antaño (Puche y Mazadiego 1999).

Aunque durante el primer tercio del siglo XX, fue menor la producción en las canteras de Colmenar de Oreja, su utilización en la arquitectura de la región durante el siglo XX demuestra que, cuando comienza la construcción del hospital, había reservas de piedra suficientes para que fuera empleada en el inmueble (cita 3 de este capítulo). Si se hubiera empleado la caliza de Colmenar de Oreja, el aspecto de los paramentos hubiera sido sustancialmente diferente, pues la belleza de esta piedra se realizaba en superficies desbastadas y/o pulidas. Este tratamiento habría dilatado su construcción y, por tanto, habría elevado todavía más los costes.

Palacios podría haber optado por la utilización puntual de la caliza de Colmenar de Oreja, sin embargo, tal vez, al carecer el diseño de los paramentos del hospital de zonas expresamente ornamentadas, prescindió completamente de esta caliza. Si hubiera sido seleccionada, el inmueble habría sido el único existente en la ciudad de Madrid construido íntegramente con caliza de Colmenar de Oreja, pues hasta entonces siempre había sido empleada para ornamentos y/o en combinación con otros materiales (De Pablos 1891). Finalmente, el Hospital de Jornaleros supondrá el tránsito entre el refinamiento metropolitano (Palacio de Comunicaciones) y la rusticidad rural (su posterior obra gallega). Si Palacios inicia en el hospital la búsqueda de una arquitectura pétreo regionalista (Iglesias 2001), tiene mucho sentido que seleccione para su construcción materiales locales. Con la elección de la caliza del Valhondo, el arquitecto seguía apostando por el empleo de una piedra de la provincia y además impulsaba el uso de un material menos utilizado y, por tanto, menos conocido.

²⁹ Otero-Cerdeira (2004) indica que Palacios visitó personalmente las canteras de granito y pizarra empleadas para la construcción de la Iglesia de la Veracruz (O Carballino, Ourense).

4.5.2. Ambiente de formación y procesos diagenéticos

Las facies caracterizadas se formaron en un ambiente lacustre somero, en donde se produce la rápida colmatación de la cuenca y los sedimentos carbonáticos sufren importantes modificaciones debido a fluctuaciones en el nivel de agua. Ligeros descensos en el nivel de agua permiten que un ambiente lacustre somero presente condiciones más propias de un ambiente palustre, de ahí la similitud que suelen presentar los carbonatos lacustres someros y palustres (Alonso-Zarza 2003). La alternancia sucesiva entre etapas de desecación con etapas de encharcamiento favorece que los diversos procesos diagenéticos se retroalimenten entre sí, produciéndose, por ejemplo, casi contemporáneamente la litificación y karstificación del sedimento carbonático. Las numerosas texturas estromatolíticas desarrolladas sobre las charáceas son debidas a la importante participación de las cianobacterias en la formación de los edificios tobáceos. Precisamente, por la génesis de la facies tobácea, es frecuente observar conjuntamente rasgos propios de las facies tobácea y estromatolítica.

Los procesos diagenéticos acontecidos en los estadios iniciales de la diagénesis, corresponden a la alternancia de periodos de encharcamiento con etapas de exposición subaérea. Durante el encharcamiento, la superficialidad del agua y la litificación parcial de los sedimentos favorecen la colonización vegetal, cuyas raíces provocan la bioturbación del fango micrítico (García del Cura et al. 1994, Sanz-Montero et al. 2003). En etapas de desecación se produce la karstificación del sedimento, principalmente a partir de los tubos verticales de disolución generados por las raíces, su micronodulización o granificación, proceso muy común en ambientes palustres (Alonso-Zarza 2003) y que posiblemente participe en la génesis de la matriz peloidal. También se produce la brechificación del sedimento, con la consiguiente fragmentación, retrabajamiento y formación de pequeñas grietas irregulares (Flügel 1982, Freytet y Plaziat 1982, Pla et al. 2007).

El sedimento original debía presentar una tonalidad oscura, siendo la oxidación de la materia orgánica otra impronta de la desecación acontecida en la cuenca que, junto a los cementos diagenéticos, son los principales responsables del progresivo aclaramiento del depósito original (García del Cura et al. 1996). La impronta kárstica se refleja también por la presencia de material arcilloso con intensa coloración pardo-rojiza. Principalmente, la karstificación de las calizas originó una superficie erosiva, sobre la que materiales arcillosos rojizos posteriormente depositados se acumularon en las cavidades de disolución (Sanz-Montero 1996). Parte de este material arcilloso puede también corresponder a material no disuelto y existente en las calizas antes de su karstificación. También en condiciones de encharcamiento se produce la cementación de la matriz peloidal, rasgo característico de ambientes freáticos continentales, que implica una cementación temprana y que ha impedido el colapso de los peloides (Scholle y Ulmer-Scholle 2003). Estos intraclastos peloides pueden proceder de la removilización del fango micrítico carbonatado (Purdy 1963, Flügel 1982) y/o haber sido originados por acción bacteriana (Ford y Pedley 1996). La tonalidad pardo-amarillenta observada en el segundo episodio de cementación posiblemente se deba a la existencia de arcillas y/o óxidos de hierro.

La existencia de cavidades con rellenos geopetales revela también un ambiente de sedimentación con alternancia de exposición subaérea y condiciones freáticas (Freytet y Plaziat 1982). En ambientes vadosos tiene lugar la sedimentación interna o relleno micrítico de los poros (silt o limo vadoso), pareciendo estar el cemento de tonalidad pardo-amarillenta relacionado con las condiciones vadosas. El cemento freático suele terminar por sellar el poro vadoso, resultando cementos politexturales con distribución geopetal (García del Cura et al. 1994). En la zona freática los poros están permanentemente rellenos con agua y como resultado de estas condiciones los cristales crecen lenta y continuamente, resultando cristales de mayor tamaño que los de la zona vadosa (Tucker y Wright 1990).

La facies homogénea es interpretada como sedimentos formados por la decantación de micrita en un cuerpo de agua dulce y de baja energía (Pla et al. 2007). La escasez de bioclastos indica que la deposición tuvo lugar en un ambiente ligeramente profundo y desconectado del sistema fluvial, en donde además la falta de luz dificulta el desarrollo de las charáceas (Wright et al. 1997). La abundante cantidad algas y las improntas de desecación-humectación observadas en la facies estromatolítica-oncolítica, permiten interpretar esta facies con el borde de la cuenca, donde hay más luz y mayores fluctuaciones en el nivel del agua. La facies tobácea es una facies típica de depósitos marginales (Wright et al. 1997), Folk (1959) se referiría a las mismas como biolitos y Dunham (1962) como un boundstone. Ford y Pedley (1996) establecen que las facies tobáceas corresponden a edificios calcáreos de agua fría, generados en cuerpos de agua dulce somera a temperatura ambiente. Al ser una facies típica de depósitos marginales (Wright et al. 1997) es muy susceptible de quedar expuesta a condiciones subaéreas. Los granos de cuarzo detrítico observados indican que el filtro vegetal no ha protegido completamente al edificio tobáceo del aporte terrígeno (Bustillo 1980, Ford y Pedley 1996).

4.5.3. Caracteres petrológicos de la caliza empleada mayoritariamente en los paramentos

Debido en parte a los abundantes cambios laterales que presenta la caliza del páramo (San José 1975, Bustillo 1980) y a la gran variedad de facies existentes en los ambientes fluviolacustres (García del Cura et al. 1994), en las muestras caracterizadas facies de un determinado tipo presentan rasgos característicos de otra y que la variedad de caliza compacta y homogénea de tonalidad clara observada en los paramentos incluye las facies homogénea (caliza micrítica) y estromatolítica-oncolítica (bioesparita). Los caracteres petrográficos dependen del ambiente de formación y procesos diagenéticos acontecidos en la cuenca (García del Cura et al. 1996), condicionando las propiedades petrofísicas de la caliza estudiada, configurando un material pétreo muy apropiado como elemento portante, con elevada dureza superficial y resistente a la acción de los agentes de deterioro, especialmente el agua, además de resultar una piedra estéticamente agradable.

Entre los rasgos texturales primarios, señalar la presencia de abundantes moldes de bioclastos (algas, gasterópodos y estructuras estromatolíticas), que suponen una porosidad susceptible de cementación, y la ausencia de orientaciones preferentes. En cuanto a los procesos diagenéticos, principalmente destacar los procesos de recristalización y cementación, que disminuyen la porosidad primaria, especialmente la porosidad intercrystalina asociada a la micrita. En los cementos diagenéticos, señalar por un lado los relacionados con la diagénesis de enterramiento, caracterizados por la presencia de microcristales y la cementación de la matriz peloidal. Por otro, los macrocristales de cemento freático, incluyendo los cementos politexturales con distribución geopetal (García del Cura et al. 1996). Como en los carbonatos fluviolacustres de la Unidad Superior Miocena de la cuenca continental terciaria de Madrid la karstificación es más patente en el techo de los carbonatos y se reduce hacia su base (Sanz-Montero et al. 2003), las escasas improntas kársticas observadas en la variedad de caliza más representativa indicaría que esta caliza se corresponde con los carbonatos basales.

El elevado valor medio de luminosidad (>66), tabla 4.4, responde al color claro de la calcita, constituyente mineralógico principal de la piedra caracterizada, así como a la oxidación de la materia orgánica. Además, los cementos freáticos son normalmente claros y su mineralogía corresponde con calcita de bajo contenido en hierro (García del Cura et al. 1996), otorgando igualmente una tonalidad clara a las facies. Ahora bien, los valores más elevados de croma e índice de amarillo medidos en el testigo A (15,14 y 28,05 respectivamente) responden principalmente a la cementación vadosa, en la que ha tenido lugar el relleno micrítico de los poros con silt o limo vadoso, de coloración pardo-amarillenta (figura 4.20.e).

Respecto a los valores medios de L^* y de IB considerablemente mayores que muestran los valores medidos *in situ* (75,03 y 14,73 respectivamente, tabla 4.4), responden a la rugosidad superficial que presentan los sillares, que modifica sensiblemente su cromatismo natural (Benavente et al. 2003), y a los procesos de alteración que tienen lugar en la superficie de la caliza (principalmente sulfatación y carbonatación). Estos aspectos son abordados en la tercera parte de la Tesis. Por este motivo, se considera más apropiado indicar que la caliza presenta una tonalidad crema, acorde con su color natural.

La variedad caracterizada ofrece muy buen comportamiento mecánico, reflejado principalmente por los elevados valores tanto de velocidad (medidas directas $V_p > 5.500$ m/s, medidas en superficie $V_p \approx 5.000$ m/s) como de dureza superficial a partir del índice de rebote obtenido ($R \approx 56$), señalando en ambos casos igualmente una elevada compacidad del material. Este índice refleja una importante dureza superficial, resultando el valor elevado teniendo en cuenta se trata de una caliza (Aydin y Basu 2005). Respecto a los índices de anisotropía, además de presentar bajos valores medios (<2%), que resulten tan similares entre sí indica la inexistencia de una dirección preferente (Zezza 1990), por lo que su puesta en obra no requeriría, en principio, colocar las piezas según una orientación determinada (Fort et al. 2011). Los similares valores entre densidad real y aparente indican una baja porosidad accesible al agua en la caliza ensayada (UNE-EN 1936:2006), aspecto que coincide con el elevado índice de compacidad obtenido (>90%). Además, los bajos valores de desviación estándar obtenidos indican una importante homogeneidad principalmente en cuanto a la compacidad de la caliza se refiere, resultando algo más elevados para el testigo D debido a la mayor porosidad que presenta, ya observada en muestra de mano (figura 4.23). Por tanto, la caliza estudiada resulta especialmente homogénea en cuanto a su comportamiento mecánico se refiere, resultando un material de muy buena calidad especialmente apto para soportar esfuerzos a compresión. Estos elevados valores de V_p e índice de compacidad así como la similitud de densidades corresponden con bajos valores medios de porosidad accesible al agua (4,00%) y de agua de saturación (1,57%), tabla 4.7. Las probetas con mayor porcentaje de porosidad abierta (accesible al agua o al mercurio), presentan valores de desviación estándar más elevados, aspecto que revela cierta heterogeneidad en el interior del material. En gran parte, la elevada compacidad y dureza superficial de la caliza permiten la textura superficial otorgada mediante pico o puntero (epígrafe 3.2.1), así como su permanencia en el tiempo.

Señalan García del Cura et al. (1996) que el contenido en micrita está directamente relacionado con el porcentaje de poros pequeños y que la cantidad de poros $>10 \mu\text{m}$ disminuye cuando aumenta el cemento freático macrocristalino. Los resultados obtenidos concuerdan con el claro predominio de microporos en la caliza del páramo, correspondientes a poros matriciales (poros intercristalinos asociados a la micrita) y el significativo valor medio de microporosidad resultante (>87%) en la caliza analizada (tabla 4.7) señalaría que los macroporos están mayoritariamente comunicados por microaccesos (Alonso et al. 1987a). La resistencia que presenta la caliza a la acción del agua queda establecida, por un lado, por la tendencia unimodal de las curvas, de modo que a menor variabilidad en los tamaños de poros, menos circulará en su interior.

Por otro, por la concentración de la mayoría de los poros en el intervalo 0,01-0,1 μm , tamaño dificulta la circulación del agua en su interior. Ciertamente, a mayor número de poros de pequeño tamaño, mayores son los efectos disruptivos causados por la cristalización de sales y/o acción del hielo-deshielo (Vos 1968, Benavente et al. 2004, 2007, Fort et al. 2013, Freire-Lista et al. 2015). Ahora bien, estos efectos están principalmente relacionados con la presencia de poros capilares, cuyo tamaño se encuentra en el intervalo 1-100 μm , y que resultan muy poco significativos en la caliza estudiada. También el bajo valor medio de superficie específica resultante (1,12 m^2/g), tabla 4.7, revela la escasa potencialidad de la caliza para alterarse por la acción del agua, pues bajos valores dificultan los procesos de disolución.

Los valores de permeabilidad al vapor de agua y de ángulo de contacto dinámico (tabla 4.7) señalan igualmente un buen comportamiento hídrico de la caliza estudiada. De este modo, el bajo coeficiente de permeabilidad ($\bar{X} = 0,06 \text{ g/m}^2 \cdot 24\text{h mmHg}$) indica la dificultad que presenta la piedra a la entrada del vapor de agua. No obstante, al resultar tan impermeable al vapor de agua, dificulta también la salida de humedad procedente, por ejemplo, del interior de los muros. La capacidad hidrofugante que de forma natural presenta la caliza, con un valor medio de $AC > 60^\circ$, señala la conveniencia de su hidrofugación, dificultando así la entrada de agua. Ahora bien, considerando que resulta un valor medio algo superior a 60, la baja porosidad accesible al agua que presenta la caliza así como la práctica ausencia de poros capilares, se estima que la hidrofugación de la superficie de la caliza no sea necesaria, a no ser que se localice en ambientes especialmente agresivos en cuanto a la acción del agua o de los contaminantes atmosféricos se refiere.

Por tanto, la variedad pétreo más ampliamente representada en los paramentos se corresponde con una caliza de tonalidad crema y comportamiento mecánico homogéneo, en gran parte debido a su elevado grado de cementación y ausencia de discontinuidades, respectivamente, referida a partir de ahora como variedad crema-homogénea. Además de presentar una tonalidad estéticamente agradable y resultar un material especialmente idóneo para soportar esfuerzos a compresión, su comportamiento hídrico le otorga una elevada resistencia a la acción de los agentes de deterioro, especialmente al agua (en sus tres estados), por lo que presentará igualmente una elevada durabilidad. También la escasa presencia de arcilla supone un aspecto muy favorable, pues el material arcilloso puede modificar la porosidad al concentrarse en huecos y fisuras (Veniale et al. 2001), incrementando la susceptibilidad al deterioro de la caliza (Dapena 1996, Rodríguez-Navarro et al. 1998).

Comparando los parámetros petrofísicos de la caliza empleada en la construcción del Antiguo Hospital, procedente de Morata de Tajuña, con los de la caliza de Colmenar de Oreja (Fort et al. 1996, 2011, 2013 y 2014), se observa que en general ambas presentan un comportamiento petrofísico parecido (tabla 4.8). De este modo, resultan valores muy similares en la velocidad de propagación a los ultrasonidos, densidad (real y aparente), porosidad accesible (al agua y al mercurio), porcentaje de agua absorbida por saturación al vacío, macro y microporosidad así como en la superficie específica. Las dos calizas muestran bajos valores de anisotropía total y de coeficiente de permeabilidad al vapor de agua, si bien ambos valores resultan inferiores para la caliza de Morata de Tajuña. Ahora bien, resultan sensiblemente diferentes en cuanto a su cromatismo se refiere, mostrando la caliza de Colmenar una luminosidad e índice de blancura considerablemente mayores y la caliza de Morata un índice de amarillo más elevado.

Por tanto, ambas calizas resultan materiales muy apropiados para la construcción y muy resistentes a la acción de los agentes de deterioro. Aunque la caliza de Morata de Tajuña no presenta la blancura de la caliza de Colmenar de Oreja, debido principalmente al relleno micrítico de los poros en episodios de cementación vadosa por limo de coloración pardo-amarillenta, los valores obtenidos en algunos de los parámetros señalan que presenta un comportamiento mecánico e hídrico incluso mejor que la caliza de Colmenar, cuya calidad es ya de por sí muy elevada (Fort et al. 2013 y 2014). Respecto a los caracteres petrográficos, la principal diferencia observada entre la caliza de Colmenar de Oreja y la de Morata de Tajuña es la abundancia muy significativa en la primera de tallos y oogonios de charáceas así como de gasterópodos (Fort et al. 1996, 2011, 2013 y 2014), si bien en la caliza de Morata de Tajuña se han reconocido igualmente estos bioclastos, siendo especialmente abundantes en algunas de las secciones delgadas observadas (figuras 4.20.a y 4.20.e).

Tabla 4.8. Comparativa de algunos parámetros petrofísicos de las calizas de Colmenar de Oreja y de Morata de Tajuña.

| | Caliza de Colmenar de Oreja | | Caliza de Morata de Tajuña |
|---------------------------------------------------|-----------------------------|------------------|----------------------------|
| | Fort et al. (varios) | Fort et al. 1996 | |
| Luminosidad | 80,06 | | 66,32 |
| Índice de blancura | 22,6 | | 2,5 |
| Índice de amarillo | 15,6 | | 23,29 |
| Velocidad ultrasonidos (m/seg) | 5.941 | 5.660 | 5.874 |
| Anisotropía total (dM%) | 2,27 | | 1,37 |
| Anisotropía relativa (dm%) | 0,55 | | 0,93 |
| Densidad real (gr/cm ³) | | 2,69 | 2,69 |
| Densidad aparente (gr/cm ³) | 2,59 | 2,60 | 2,58 |
| Porosidad accesible agua (%) | 3,0 | 3,36 | 4,00 |
| Agua de saturación (%) | | 1,29 | 1,57 |
| Porosidad accesible al Hg (%) | 3,6 | 3,61 | 2,52 |
| Macroporosidad (>5 µm) | 16,3 | | 12,75 |
| Microporosidad (<5 µm) | 83,7 | | 87,25 |
| Superficie específica (m ² /g) | 1,06 | | 1,12 |
| Coef. permeabilidad (g/m ² · 24h mmHg) | | 0,68 | 0,06 |

4.6. CONCLUSIONES

- La caliza que configuraba los paramentos en el año 2006 se correspondía con material pétreo original, siendo en mayor medida una caliza compacta de tonalidad clara correspondiente con las facies homogénea (caliza micrítica) y estromatolítica-oncolítica (bioesparita) de los carbonatos lacustres de la Unidad Superior Miocena de la cuenca continental terciaria del Sureste de la región.
- Considerando su época de construcción (1908-1916), el Antiguo Hospital también resulta tradicional en cuanto a la caliza empleada, correspondiente a un material tradicional de la región pero que había empezado sustituirse desde finales del siglo XIX por calizas procedente de otros lugares. Con la caliza finalmente seleccionada, Palacios seguía apostando por el empleo de una piedra tradicional de la región, no siguiendo la tendencia de la época de incorporar materiales foráneos, y además impulsaba el uso de un material menos utilizado y, por tanto, menos conocido. Este aspecto aporta, sin duda alguna, un valor añadido a la caliza empleada en los paramentos del Antiguo Hospital.
- La existencia de los documentos López-Urrutia (1926), que especifica la procedencia de la caliza en el paraje del Valhondo (Morata de Tajuña, Madrid), y de la propaganda comercial editada por la Sociedad Explotadora de las Canteras de Cornicabra (en el paraje del Valhondo) con motivo de la Exposición de Industrias Madrileñas celebrada en 1907, han supuesto un privilegio excepcional para el estudio abordado. De este modo, se ha podido establecer al menos un frente de explotación antiguo (histórico).
- Entre los factores que influyeron en la selección de la caliza explotada en las canteras de Cornicabra para la construcción del Antiguo Hospital, la ideología del proyecto y la situación de las canteras de caliza en el Sureste de la provincia así como de las vías de comunicación de esta zona con la capital jugaron un papel fundamental. De este modo, por un lado, una piedra de tonalidad clara participaría del ambiente agradable que Palacios quiso imprimir al hospital. Por otro, debido a la relativa facilidad de la explotación y a la existencia de un apeadero a pie de cantera que permitía el traslado directo de piedra a la capital mediante el ferrocarril del Tajuña, resultaba una piedra económicamente muy ventajosa. Además, la variabilidad de formas y tamaños de las piezas pétreas en los paramentos permitía la máxima utilización del material de cantera, destinándose la piedra de peor calidad a las balastradas y trasdós del muro perimetral.

- Además de resultar en la época un material pétreo altamente competitivo, se trata de una caliza que presenta muy buena calidad, debido principalmente a sus propiedades petrológicas, condicionadas por el ambiente geológico de formación y por los procesos diagenéticos acontecidos.
- Las facies caracterizadas se formaron en un ambiente lacustre somero, en donde se produce la rápida colmatación de la cuenca y los sedimentos carbonáticos sufren importantes modificaciones debido a fluctuaciones en el nivel de agua. Entre los rasgos texturales primarios, señalar la presencia de abundantes moldes de bioclastos (algas, gasterópodos y estructuras estromatolíticas), que suponen una porosidad susceptible de cementación, y la ausencia de orientaciones preferentes.
- Los procesos diagenéticos acontecidos en los estadios iniciales de la diagénesis se corresponden con la alternancia de periodos de encharcamiento y etapas de exposición subaérea. Los procesos de recristalización y cementación disminuyen la porosidad primaria, especialmente la porosidad intercrystalina asociada a la micrita. En la cementación diagenética se distinguen los cementos relacionados con la diagénesis de enterramiento, caracterizados por la presencia de microcristales y la cementación de la matriz peloidal, y los macrocristales de cemento freático, que incluyen los cementos politexturales con distribución geopetal.
- La presencia de carbonato cálcico y el relleno micrítico de los poros en episodios de cementación por limo o silt vadoso (de coloración pardo-amarillenta) otorga una tonalidad crema que resulta estéticamente agradable. Por otro lado, los diversos episodios de cementación diagenética configuran a la caliza como un material especialmente idóneo para soportar esfuerzos a compresión, con una significativa dureza superficial y elevada resistencia a la acción de los agentes de deterioro.
- La variedad pétreo más ampliamente representada en los paramentos muestra tanto elevados valores de dureza superficial, de velocidad de propagación a los ultrasonidos y de ángulo de contacto dinámico, como un bajo porcentaje de porosidad accesible (al agua y al mercurio), de agua absorbida por saturación al vacío, de superficie específica y de coeficiente de permeabilidad al vapor de agua. Además, su baja anisotropía revela la inexistencia de una orientación preferente, por lo que su puesta en obra no requiere colocar las piezas según una dirección determinada, y la microporosidad se concentra en un intervalo que otorga a la caliza baja susceptibilidad a los de procesos de deterioro relacionados con ciclos de hielo-deshielo y/o con la cristalización de sales.
- La tonalidad clara que muestra la superficie de la caliza en muchas zonas de los paramentos ("zonas blancas") difiere considerablemente del color natural de la caliza. Responde fundamentalmente tanto a la textura rugosa que presenta como a los procesos de alteración (carbonatación y sulfatación) que tienen lugar en la superficie de la caliza, aspectos abordados en la tercera parte de la Tesis.

CAPÍTULO 5. MATERIALES CERÁMICOS EN EL ANTIGUO HOSPITAL

Piezas cerámicas, originales y de sustitución, de muy variadas formas y colores decoran las fachadas del Antiguo Hospital, si bien pueden pasar algo desapercibidas entre la ingente cantidad de piedra caliza. Por un lado, paneles cerámicos recorren el edificio a lo largo de su perímetro y, por otro, mosaicos de azulejos o *trencadiç* cubren las enjutas de los arcos en muchas fachadas, empleándose estas piezas también en la decoración de las fuentes de los patios. Con su utilización, Palacios pretendió que estas cerámica decorativas participaran del ambiente de *sana alegría* que quiso otorgar al hospital. Las Tesis Doctorales de M^a Jesús Quesada (1984) y de Abraham Rubio-Celada (2004) y las publicaciones de Antonio Perla (1990 y 2001) remiten a las materias primas utilizadas, procedentes principalmente de Segovia, Sevilla y Madrid, y a las diversas técnicas empleadas para su fabricación. Entre 1984-1986, los paneles cerámicos fueron sustituidos en su práctica totalidad, numerosas enjutas se cubrieron con el actual mosaico de azulejos y las piezas de las fuentes se restauraron, reponiéndose parcialmente el mosaico de la fuente del patio central. Se emplean además ladrillos estructurales, tanto los ladrillos de fábrica para la construcción de los muros como los empleados en algunos elementos de los patios y jardines. Deben mencionarse necesariamente las cerámicas que decoran el interior del edificio, hoy en día conservadas y en gran parte originales, a cuyas materias primas y elaboración se presta atención para el estudio presentado en este capítulo.

Para las cerámicas decorativas se atiende a los factores que condicionaron su utilización, a su diseño y disposición en las fachadas (año 2006), y a las intervenciones de las que fueron objeto en la restauración de los años 80. Mediante Espectrofotometría, MOP, DRX y/o MEB-EDS se estudian las pastas y esmaltes de las cerámicas decorativas (originales y de sustitución) así como los ladrillos estructurales utilizados en la fábrica de los muros y en los patios, ambos correspondientes con material original. Las principales diferencias texturales y composicionales responden fundamentalmente a las materias primas y aditivos empleados así como a los procesos de fabricación, especialmente a las temperaturas de cocción alcanzadas. Los ladrillos caracterizados son completamente diferentes, respondiendo sus diferencias sobre todo a su funcionalidad, y para la elaboración de las piezas de sustitución o de reposición en la intervención de los años 80 se apostó por conseguir piezas cerámicas más resistentes a las condiciones climáticas del entorno en donde se ubica el inmueble.

Este estudio permite confirmar en gran parte la tipología y composición de las materias primas utilizadas y referidas en la documentación consultada. Además, aporta nuevos datos sobre las mismas y la tecnología de fabricación de los materiales cerámicos utilizados en el Antiguo Hospital, suponiendo el conocimiento aportado un criterio para establecer si los materiales cerámicos son originales o de sustitución.



Paneles cerámicos de la fachada Sureste de la nave Noreste (izda.) en el año 2006, puestos en obra en los años 80, y estado del mosaico de azulejos original que reviste las enjutas del torreón exterior en la nave Noroeste (dcha.) en el año 2008, restaurado en la intervención tanto de 1984-1986 como la acometida entre 2006-2008.

5.1. INTRODUCCIÓN

5.1.1. Tecnología cerámica

Los materiales arcillosos tienen la capacidad de endurecer cuando son calentados, resultando un proceso similar a la formación de una roca metamórfica (Peters y Iberg 1978, Heimann 1989) y constituyendo la principal característica de la tecnología cerámica. Durante la cocción de materias primas arcillosas tienen lugar unas transformaciones minerales en condiciones de alta temperatura y baja presión que dependen principalmente de la composición de la materia prima, de la velocidad de calentamiento, de la máxima temperatura de cocción alcanzada, del tiempo de permanencia en el horno y de las condiciones oxidantes o reductoras (Maggetti 1982, Fort et al. 2004, Maritan et al. 2006). El color de las cerámicas es indicativo de la composición de las materias primas empleadas para su elaboración (Álvarez de Buergo 1997), jugando la temperatura de cocción alcanzada un papel esencial en la tonalidad que finalmente presentan las piezas cerámicas (Kreimeyer 1987, Molera et al. 1998, López-Arce et al. 2003, López-Arce 2004, López-Arce y García-Guinea 2005).

De forma general, la pasta cerámica es la mezcla de arcillas (materia prima arcillosa más o menos rica en hierro, calcio y/o magnesio principalmente) más aditivos, que se moldea o conforma antes de la cocción. Tras su cocción, se obtiene la cerámica o pieza cerámica, que puede ser posteriormente esmaltada. Existen numerosos estudios sobre las transformaciones minerales y texturales que tienen lugar durante la cocción de arcillas, tanto ricas como pobres en calcio, resultando mayor variabilidad mineralógica durante la cocción de aquellas ricas en calcio (Peters y Iberg 1978, Molera et al. 1998, Jordán et al. 1999, Riccardi et al. 1999, Cultrone et al. 2001, Carretero et al. 2002, Trindade et al. 2009).

La presencia de hematites indica generalmente la abundancia de óxidos de hierro en la materia prima arcillosa, si bien durante la cocción también pueden generarse minerales ricos en hierro, puesto que cuando las pastas son cocidas en atmósferas oxidantes los óxidos de hierro de la materia prima arcillosa generan a su vez cristales de hematites (Nodari et al. 2007). La presencia de wollastonita (silicato cálcico, CaSiO_3), gehlenita (aluminosilicato cálcico, $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$) y diópsido (silicato cálcico y magnésico, $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) indica la utilización de materias primas arcillosas ricas en carbonato cálcico y/o magnésico (Peters y Iberg 1978, Trindade et al. 2009, Cultrone et al. 2004), cuya fusión comienza a temperaturas más bajas que para arcillas pobres en calcio y/o magnesio, pues estos elementos actúan como fundentes (Segnit y Anderson 1972, Tite y Maniatis 1975). Una mayor permanencia en el horno permite que las reacciones para la formación de estas fases de alta temperatura sean más completas (Fort et al. 2004), pues el tiempo de cocción controla fuertemente la cinética de las reacciones. Los grumos calcáreos existentes en arcillas ricas en calcio inhiben la formación de hematites durante el proceso de cocción, al impedir la fijación del hierro en la red de los silicatos y aluminosilicatos calcáreos de neoformación la nucleación de nuevos cristales de hematites (Maniatis et al. 1981).

Los aditivos se añaden a la materia arcillosa de partida principalmente para mejorar las propiedades de las cerámicas. De este modo, el cuarzo se añade a la materia prima arcillosa para incrementar su poder refractario y actúa también como desgrasante, disminuyendo la plasticidad de la arcillas y minimizando las dilataciones y contracciones de la pasta, favorece el amasado de las pastas y mejora la resistencia en seco de las piezas (Morales 2005). Los feldspatos y la calcita, ésta en presencia de cuarzo, actúan como fundentes, permitiendo la fusión de las cerámicas a menores temperaturas (Singer y Singer 1963). La chamota es arcilla cocida triturada que se añade antes de la cocción a nuevas pastas, principalmente como refractario y desgrasante (Morales 2005). En ocasiones, pueden identificarse agregados arcillosos que forman parte de la materia prima pero que no fundieron debidamente, conocidos como pellas arcillosas, y cuya aparición implica el deficiente amasado de la pasta y/o que la cocción resultó algo incompleta.

Los rangos de temperatura de cocción alcanzada pueden determinarse en base a la existencia o ausencia de ciertas paragénesis minerales (Moropoulou et al. 1995). Las estructuras cristalinas se descomponen progresivamente una vez alcanzado su límite de estabilidad, generándose a la vez fases minerales nuevas, que pueden coexistir en equilibrio con las originales. Filosilicatos como la esmectita y caolinita comienzan a deshidratarse entre los 450-550°C (Sebastián y Cultrone 2003), desapareciendo a partir de los 550°C, y la illita comienza a descomponerse a partir de los 900°C (López-Arce et al. 2003).

Las fases minerales de neoformación wollastonita, gehlenita y dióxido, de alta temperatura ($\approx 800-1000^\circ\text{C}$), se originan durante la cocción en el seno de la pasta (fases de neoformación), al reaccionar los filosilicatos de la materia prima arcillosa con el óxido de calcio (CaO) y/o de magnesio (MgO) liberados a partir de la descomposición de la calcita (CaCO_3) y/o de la dolomita ($\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$) (Cultrone et al. 2001, López-Arce et al. 2003, López-Arce y García-Guinea 2005). La gehlenita comienza a formarse a partir de los 800°C (López-Arce et al. 2005), entre los 800-850°C (Leguey et al. 2001), empieza a desaparecer a los 900°C (Veniale 1990) y su concentración se reduce por encima de los 1000°C; dióxido y wollastonita también empiezan a generarse a partir de los 800°C, pero en concentraciones muy bajas (Cultrone et al. 2001). La existencia de gehlenita y dióxido indican temperaturas de cocción por encima de 900°, superior a 800°C si sólo existe gehlenita (López-Arce y García-Guinea 2005) y muy por encima de los 900°C si existe wollastonita (Cultrone et al. 2001).

El dióxido se forma a mayor temperatura que la gehlenita, conllevando la aparición de aquél la desaparición parcial de gehlenita (Flores et al. 1999). Las fases minerales gehlenita y wollastonita se consideran compuestos intermedios (Riccardi et al. 1999, Traoré et al. 2000) que, en presencia de sílice y con el aumento de la temperatura se vuelven inestables, reaccionando para generar fases de neoformación más silíceas como la anortita (aluminosilicato cálcico, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) (Peters y Iberg 1978, Cultrone et al. 2001, Trindade et al. 2009), indicando que no se ha alcanzado el equilibrio durante el proceso de cocción y que las reacciones han sido incompletas (Jordán et al. 2001). En cerámicas elaboradas con arcillas ricas en calcio, la anortita empieza a formarse a partir de los 1000°C (Peters y Iberg 1978, Cultrone et al. 2001, 2004).

Las piezas cerámicas pueden ser esmaltadas sometiendo a un baño plumbífero en una nueva cocción, formando el esmalte al vitrificar una capa blanca y opaca sobre la que se aplican los colores. Los esmaltes están constituidos por sustancias que puedan vitrificar, principalmente sílice, que actúen como opacificantes, óxidos de estaño, y como fundentes rebajando el punto de fusión, óxido de plomo (Kingery et al. 1976, Kingery y Vandiever 1986, Rice 1987). Debido principalmente a su elevado coste, los óxidos de estaño han ido sustituyéndose por otros materiales que igualmente actúan como opacificantes, siendo los más utilizados los óxidos de titanio, zirconio y de zinc, así como el silicato de zirconio (Tite et al. 1998, Karasu et al. 2000).

La sílice, introducida en los esmaltes principalmente en forma de arena cuarcífera, además de formar el retículo vítreo, aumenta la viscosidad, resistencia química y mecánica así como dureza del esmalte. También disminuye su coeficiente de dilatación y, por tanto, las posibilidades del craquelado, producido al enfriarse el material cuando los coeficientes de dilatación de la pasta y del esmalte son muy diferentes (Morales 2005). Se añaden igualmente otras sustancias para otorgar propiedades específicas a los esmaltes. Por ejemplo, la alúmina se introduce como caolín, feldespatos o arcillas, es un estabilizante, incrementa la viscosidad y refractariedad del esmalte (Hevia 2002); el sodio y el potasio, añadidos en forma de carbonatos o feldespatos, actúan en los esmaltes como modificadores de la red vítrea, deformándola y disminuyendo también su punto de fusión (Morales 2005); o el caolín también mejora las propiedades reológicas del esmalte, actuando como dispersante y estabilizante (Fernández-Navarro 2003).

5.1.2. Cerámicas decorativas para el Hospital de Jornaleros

A partir de la influencia ejercida por el que fuera su profesor, Ricardo Velázquez Bosco, Palacios mostró un claro interés por incluir el color y la cerámica en su obra, interés que ya reflejó para las fachadas del Palacio de Comunicaciones, y que le llevó a conocer al prestigioso ceramista de la época Daniel Zuloaga (1852-1921). No obstante, sí podrá plasmarlo en el Hospital de Maudes¹ (Perla 1990), empleando cerámicas decorativas (paneles o paños cerámicos y mosaico de azulejos) en sus fachadas. La idea de Palacios era romper la homogénea articulación de la piedra caliza y contrarrestar con materiales cerámicos la gravedad de la arquitectura pétreo, proporcionando a la vez movimiento y luminosidad a las fachadas (Perla 2001).

Aunque la memoria redactada para la licencia de obras únicamente hace constar que se emplearían *zócalos de materiales vitrificados en muros interiores*², Palacios concibió la utilización de cerámicas en fachadas desde el principio, más allá que como simple ornato decorativo (Perla 1990). López-Urrutia (1926) sí especifica la utilización de paneles cerámicos en las fachadas, refiriéndose a los mismos como elementos de *panneaux* (paneles, en francés), indicando que las cerámicas en tonos lisos de reflejos metálicos participaban, junto con las galerías y fuentes de los patios, muy directamente en el aspecto de sana alegría que el arquitecto quiso otorgar al hospital. De igual modo, en la escritura se especifica que para la selección de los materiales se había “atendido especialmente a las condiciones de buena conservación, fácil limpieza y demás necesarios para la higiene y buen aspecto del edificio”. Sin embargo, ni Palacios (1909) ni López-Urrutia (1926) hacen referencia alguna al empleo del mosaico de azulejos o *trencadiç*³ para decorar las fachadas del Hospital.

En Quesada (1984), Perla (1990 y 2001) y Rubio-Celada (2004), además de indicaciones sobre la fabricación y colocación de los paneles cerámicos, queda reflejado el interés de Palacios por conseguir el efecto de luces y sombras deseado así como su preocupación por el saneamiento económico de la obra. En principio se barajó la utilización de temas figurativos y los mosaicos cerámicos de la casa Maragliano, descartados por su pequeño tamaño al quedar totalmente anulados por la contundencia de la construcción. Tras analizar diferentes soluciones y sus resultados estéticos, hasta los últimos años no se estableció la solución definitiva, en la que influyó de forma decisiva el presupuesto, decantándose por un suave relieve de tierra cocida vidriada, colorista y abstracta.

¹ Además de revestir los paramentos interiores Palacio de Comunicaciones, en las fachadas no pudieron emplearse por cuestiones económicas y de diseño, y en el Hospital de Maudes, Palacios empleará la cerámica decorativa en el salón del Sanatorio de la Fuenfría, en las viviendas de la plaza de Luca de Tena, en las fuentes de la casa Maragliano para la Exposición de Artes Decorativas de 1911 y en la de O Porriño, en los capiteles cerámicos de su estudio en la calle Cedaceros, en la fachada de la casa Matesanz, en el balneario de Mondariz o en la torre del Círculo de Bellas Artes. La mejor representación de la cerámica arquitectónica de Palacios quedará plasmada en la decoración de los andenes y estaciones del metropolitano de Madrid, proporcionando luminosidad a unos nuevos espacios para una gente acostumbrada a la luz natural, con cerámica de Onda (Castellón), Sevilla o Toledo (Otamendi 1929). Palacios apostó preferentemente por la utilización de materiales cerámicos nacionales y sus principales colaboradores fueron Manuel Ramos Rejano en Sevilla, Daniel Zuloaga y su hijo Juan en Segovia y Sebastián Aguado Portillo en Toledo. Lamentablemente, la práctica totalidad de la decoración original de los andenes así como los templetos de acceso diseñados por Palacios han sido eliminados, quedando todavía el mosaico y las cerámicas originales en la entrada de la estación de Tirso de Molina. En marzo de 2008 se reabrió como museo la estación de metro de Chamberí, cerrada en 1966, donde se puede contemplar la decoración original de Palacios, y la sala de motores de la central eléctrica de Pacífico, cerrada desde 1972.

² Correspondientes a los materiales cerámicos que revisten los paramentos interiores (zócalos y arrimaderos así como las tabicas de las escaleras), existentes actualmente y en gran parte originales, realizados industrial o semindustrialmente por la casa Manuel Ramos Rejano de Triana en Sevilla (Perla 1990 y 2001), cuyas materias primas guardan cierta relación con las empleadas en algunos de los materiales analizados en este capítulo.

³ Elemento característico del modernismo que recibe este nombre en Cataluña, difundido en España por Gaudí y al que posiblemente se le deba su denominación, consiste en crear un mosaico utilizando fragmentos de azulejos cortados irregularmente, empleándose el nombre de la técnica para referirse también al mosaico. Palacios empleará el *trencadiç* en la decoración del metropolitano de Madrid y en el pavimento de la Iglesia de la Veracruz, O Carballino (Ourense), donde curiosamente los niños del pueblo participaron en su colocación (Otero-Cerdeira 2004).

El diseño de los paneles quedó constituido por las piezas cerámicas que Zuloaga denominaba azulejos gota de agua, enmarcadas por un cordón en altorrelieve y una pieza semiesférica en sus esquinas, conocida botón, clavo o boneta (figura 5.1.a). Palacios llamaba guirnalda al marco constituido por el cordón y el botón de esquina, ambos con un vidriado ocre semiopaco y un esmalte azul turquesa, colores típicos de Zuloaga. El diseño de los paneles gustó tanto que se empleó también en la decoración del cuerpo central de las fuentes y en la cubeta de la cuadrada (figura 5.1.b). La utilización del reflejo metálico y de un lustre rebajado⁴, la alternancia en ajedrezado de las piezas, la guirnalda y el efecto gota de agua, fueron las técnicas planteadas para obtener el movimiento deseado a la vez que se reducían los costes. El reflejo metálico proporcionaba el brillo y posibilitaba la diferente incidencia de la luz según la hora del día. El efecto gota de agua consistía en imprimir a la cara vista de las piezas un suave relieve concéntrico, presentando la superficie un aspecto ondulado, como si cayera una gota de agua.

En cuanto al mosaico de azulejos, originariamente sólo se cubrieron con *trencadix* las enjutas en los torreones exteriores de las naves (figura 5.2.f)⁵ y el interior de la cubeta de la fuente central (figura 5.1.e). Palacios empleó esta técnica utilizando los fragmentos sobrantes de las cerámicas interiores, incluyendo en las enjutas un botón central romboidal, correspondiente a un azulejo gota de agua (Perla 1990, 2001). Como sucedió en las fachadas del Palacio de Comunicaciones, donde zonas concebidas para albergar esculturas y/o cerámicas quedaron finalmente exentas (Perla 1990 y 2001), las enjutas de todas las fachadas del hospital quedaron inconclusas, preparadas para un acabado decorativo que no llegaron a tener. Por ejemplo, tanto en el patio central (figuras 5.2.g y 5.2.h) como en el patio de entrada (figura 2.7.d), las enjutas carecieron de mosaico originalmente. Extraña que la portada principal de la iglesia, con acceso desde el antiguo Paseo de Ronda no presentara originariamente mosaico de azulejos, si bien Palacios colocó un gran panel cerámico con una cruz, como se ha indicado. Resulta también algo peculiar que la fachada de acceso principal al Hospital no presentara *trencadix* (figura 2.6.c), supliendo el friso cerámico corrido esta carencia decorativa.

No pueden olvidarse los ladrillos de fábrica, utilizados en la construcción de los muros del edificio (Palacios 1909, López-Urrutia 1926) y de los torreones interiores de las naves y los centrales de la iglesia, así como los ladrillos empleados en las escaleras los patios y jardines, ambos exentos de carácter decorativo.

5.1.3. Paneles cerámicos y mosaico de azulejos en las fachadas (año 2006)

Considerando el propio carácter escultural del edificio, los paneles o paños cerámicos que recorren el edificio por todo lo alto de su perímetro actuando como elemento de conexión y los mosaicos de azulejos cubren las enjutas de los arcos en muchas fachadas suponen los únicos elementos propiamente decorativos. En las naves, los paneles cerámicos presentan una morfología de U invertida, acoplándose con la pieza pétreo en cuña que remata las pilastras (figura 5.1.a). En cada una de las naves, los azulejos gota de agua muestran dos tonalidades principales, observándose diferencias de unas fachadas a otras, e incluso la diversificación de colores en el interior de muchos paneles. En las fachadas del cuerpo de entrada, los paños son cuadrados o rectangulares, constituyendo más bien frisos cerámicos con una distribución de colores más homogénea y presentando muchas piezas brillo metálico (figura 5.1.c). En el pabellón de infecciosos, Palacios optó también por un friso, constituido por baldosas hidráulicas de tonalidad clara (figura 3.2.c). La fachada principal de la iglesia presenta un panel cerámico cuadrado, con cordones concéntricos y una cruz (figura 5.1.d).

⁴ Palacios conoció la técnica de los reflejos metálicos en la casa Ramos Rejano de Sevilla, queriéndola incluir sistemáticamente en sus obras para otorgar un brillo metálico a las piezas cerámicas y como impronta de modernidad (Perla 1990, 2001). La técnica, conocida desde antiguo, consistía en la aplicación de un lustre (de cobre, oro, plata o mercurio) sobre cerámicas esmaltadas, sometiénolas a una tercera cocción a bajas temperaturas, inferior a 600°C (Romani et al. 1999).

⁵ En la figura 2.6.f, tomada hacia el año 1983, también se observa el *trencadix* original que decoraba las enjutas en los torreones exteriores.

El mosaico de azulejos puede observarse en las enjutas de las fachadas en los patios de entrada y central, en las dos fachadas del anillo circulatorio central por las que se accede a los jardines de los pabellones anexos, en las fachadas de la cafetería y comedor, en los paramentos curvos del cuerpo de entrada dirigidos hacia la zona de aparcamientos así como en los dos cuerpos semicirculares, en las torres y en la fachada principal de la iglesia. En el patio de entrada, las enjutas están revestidas con azulejos de tonalidad verde y en la planta inferior presentan también un azulejo gota de agua (figura 5.1.f), en el patio central presentan colores azules y verdes y, las enjutas del segundo piso contienen además un azulejo gota de agua en el centro (figura 5.1.g). En los dos cuerpos semicirculares de la iglesia, el *trencadiç* está constituido por azulejos de diversas tonalidades verdes, y en las torres y fachada principal de la iglesia, bien son verdes y rosas, o bien son azules y verdes (figura 5.1.h), y a veces con un azulejo gota de agua en el centro. En los torreones exteriores de las naves, el *trencadiç* cobra especial importancia, puesto que el reducido tamaño de estos cuerpos otorga mayor notoriedad a las enjutas.

5.1.3.a. Intervenciones efectuadas en las cerámicas decorativas de las fachadas (1916 - 2006)

Desde la finalización de la construcción (1916) hasta el inicio de la restauración efectuada en los paramentos del inmueble en el año 2006, durante la cual las cerámicas se han conservado íntegramente (epígrafe 2.2.6.a), estas han sido objeto de intervención solamente durante la rehabilitación integral del inmueble acometida en los años ochenta⁶. Entre 1984 y 1986, debido al avanzadísimo estado de deterioro que presentaban, los paneles cerámicos originales (figuras 5.2.a y 5.2.b) fueron sustituidos en su práctica totalidad, siguiendo su diseño original. Únicamente se conservó uno de los paneles localizados en la fachada Suroeste de la nave Noroeste (Perea 1990) (figura 5.2.c). Las piezas retiradas fueron embaladas con la intención de restaurarlas y reubicarlas en un lugar con las condiciones ambientales adecuadas, lamentablemente, se desconoce el paradero de estas cajas (Perla 2001). El panel cuadrado original localizado en la portada principal de la iglesia (1 en figura 5.2.i), fue rehecho completamente, también según el diseño original de Palacios (figura 5.1.d). Se conservaron y restauraron los azulejos gota de agua originales que decoraban el cuerpo central de las dos fuentes así como la cubeta de la fuente cuadrada (figuras 5.2.d y 5.2.e).

En esta intervención se colocó la mayoría del mosaico de azulejos que hoy en día reviste las enjutas de muchos arcos, siguiendo en algunas el diseño del *trencadiç* original de las enjutas de los torreones exteriores de las naves, las cuales se conservaron y restauraron, mediante la colocación en el centro de un azulejo gota de agua (figuras 5.1.f y 5.1.g). El mosaico de azulejos que actualmente reviste el interior de la cubeta de la fuente central (figura 5.1.e) es original, salvo los azulejos localizados en la zona superior, elaborados para la restauración de la cubeta en los años 80 (figura 5.2.j)⁷. Tanto para las enjutas como para la reposición del *trencadiç* de la fuente, también se emplearon restos de los azulejos fabricados entonces para la reposición de los zócalos y arrimaderos interiores (Perla 1990).

⁶ Se recuerda la eliminación de la baldosa catalana de las terrazas y de las cubiertas de teja, ya indicado en el epígrafe 2.2.5 (figura 2.8). Se considera oportuno indicar que también en esta intervención se sustituyeron los azulejos que revestían las chimeneas de ventilación localizadas en las terrazas de las naves (1 en figura 6.5.c) por morteros de revestimiento (capítulo 6).

⁷ A partir de una conversación mantenida con Antonio Perla, comentó que el agua de la fuente protegió la mayoría de los azulejos, teniendo que reponerse sólo los que se localizaban en la zona superior de la cubeta, sujetos además a la fluctuación del nivel de la lámina de agua.

5.1.4. Materias primas y elaboración de las cerámicas para el Antiguo Hospital

Las piezas originales de los paneles cerámicos fueron elaboradas en 1914 por Daniel Zuloaga⁸, en el taller que el ceramista habilitó en la iglesia segoviana de San Juan de los Caballeros. Cuando fabrica estas piezas, el cierre de fronteras durante la Primera Guerra Mundial (1914-1918) le impidió importar la excelente arcilla de Bélgica, encontrando en las arcillas rojas, ricas en óxidos de hierro⁹ y en la sílice de la cercana localidad de Bernuy de Porreros¹⁰ las materias primas necesarias (Perla 1990, Rubio-Celada 2004), si bien el barro rojo de las zonas cercanas a su taller producía unas pastas algo frágiles (Perla 2001). Los hornos utilizados por Zuloaga en su taller segoviano eran de llama directa por fuego de leña de pino, que proporcionaba un calor uniforme y una llama limpia, que permitía la obtención de una atmósfera oxidante. La cocción se efectuaba a elevadas temperaturas (1100-1200°C) y la duración del fuego era de 12 a 18 horas (Rubio-Celada 2004).

Las piezas de sustitución de los paneles cerámicos, fueron elaboradas en el polígono La Cañada de Humanes (Madrid) por la empresa Realizaciones Artísticas Bora (Perla 1990). Señala el autor que se prestó especial atención a la selección de arcillas refractarias que resistieran mejor las condiciones ambientales propias del entorno del Antiguo Hospital, empleándose un barro (no especifica su tonalidad ni presencia de hierro) en las proximidades de Valdemorillo¹¹ (Madrid) mezclado con tierras de Segovia¹², añadiéndose abundante cantidad (\pm 40%) de chamota de Alcañiz¹³ (Teruel) y mucho cuarzo. Indica también el autor que para la fabricación de las piezas, de forma semimanual, se emplearon moldes de aluminio y que la cocción de la pasta se efectuó en hornos eléctricos de resistencias en atmósferas oxidantes, a unos 1200-1250°C.

Como se ha indicado, los azulejos originales empleados en el *trencadiç* de la fuente central correspondían a fragmentos sobrantes de los zócalos cerámicos interiores (Perla 2001), fabricados en Sevilla¹⁴. Indica Perla (1990) que las cerámicas elaboradas para la reposición de estos zócalos interiores en los años ochenta se elaboraron con barro rojo (no señala dato alguno referente a la zona de donde fue extraído), pasta de mimbre¹⁵ y arenas de El Molar¹⁶, alcanzando su cocción los 1.030°C. Estas cerámicas se fabricaron en la Escuela de Cerámica de Madrid y también se emplearon fragmentos sobrantes para el *trencadiç* de las enjutas y de la cubeta de la fuente central.

⁸ Zuloaga mostró una constante preocupación por la búsqueda de las materias primas apropiadas para la fabricación de cerámicas resistentes. Antes de instalarse en su taller de San Juan de los Caballeros trabajó, entre otras, con las tierras de Aragón y con las tierras blancas (ricas en caolín) de Toledo, cerca de Torrijos. Consiguió sus procedimientos a fuerza de práctica y estudio, insistiendo que las pastas arcillosas debían cocerse a "gran fuego", esto es, altas temperaturas (1100-1200°C) para que las cerámicas presentaran elevada resistencia (Rubio-Celada 2004).

⁹ Quiere señalarse la existencia de dos unidades del Cretácico Superior muy cercanas a la localidad de Segovia. Por un lado, la Unidad Dolomías Rojas y Arcillas, que si bien las arcillas son grises oscuras, toda la unidad muestra un color rojo debido a la liberación de óxidos de hierro producida a partir de procesos de dedolomitización. Por otro, la Unidad Arenas y Arcillas de Segovia, que apoyan sobre un basamento ígneo y/o metamórfico muy alterado, siendo el enriquecimiento en óxidos de hierro una de las manifestaciones de esta alteración. Además, esta unidad presenta encostramientos de óxidos de hierro, producidos por procesos diagenéticos (ITGE 1991). Palacios se refería igualmente al material empleado por Zuloaga para la elaboración de las cerámicas destinadas a los paneles del Hospital como *tierra roja* (Quesada 1984).

¹⁰ Existen unos diques de cuarzo en los leucogranitos que afloran en Bernuy de Porreros (ITGE 1991). Rubio-Celada (2004) hace referencia a la presencia en esta localidad de unas minas de donde se extraía sílice.

¹¹ Al Sureste de Valdemorillo se depositan unos sedimentos fangosos terciarios. Por un lado, los fangos arcósicos miocenos, con un importante desarrollo de paleosuelos, siendo la formación de arcillas y la liberación de óxidos de hierro uno de los procesos edáficos más importantes. Por otro, los depósitos arcillosos rojizos de los fangos paleógenos, que presentan un fuerte lavado de la sílice (IGME 2004).

¹² Por la elevada concentración de sílice que presentan las arenas síliceas de la Unidad Gravas, Arenas Síliceas y Arcillas del Cretácico Superior-Paleógeno, localizada al Norte de la ciudad de Segovia, estas arenas son muy valoradas en la industria cerámica (ITGE 1991).

¹³ La localidad turolense Alcañiz de Torrecilla asienta sobre arcillas, areniscas y conglomerados del Oligoceno y Mioceno, localizándose en las proximidades de la población un paraje denominado Las Canteras. No obstante, más lejos de la población y hacia el Sur, se depositan unas arcillas paleocenas de intensa tonalidad rojiza (IGME 1977).

¹⁴ La ciudad de Sevilla asienta sobre la terraza inferior del Guadalquivir, cuyos sedimentos aluviales cuaternarios han sido históricamente explotados para la elaboración de productos cerámicos (González-García et al. 1988). La Vega del Guadalquivir es una zona en la que tradicionalmente han existido numerosos tejares y alfares, distinguiéndose principalmente unas arcillas rojizas y otras más claras, ambas ricas en carbonato cálcico (Flores et al. 1999)

¹⁵ La pasta de mimbre corresponde a una pasta amarillenta rica en calcio de bajo contenido en hierro, empleada principalmente para clarear las pastas arcillosas. Tal vez deba su nombre a que en Sevilla, donde esta pasta ha sido ampliamente utilizada para la fabricación de sus cerámicas, a partir de los limos arenosos amarillos del Terciario localizados al Este de la ciudad (IGME 1975), están asociados a las zonas de mimbrenas.

¹⁶ Al Este de El Molar, existen canteras de donde se extraen conjuntamente arenas cuaternarias ricas en sílice y gravas (ITGE 1990).

Para los esmaltes originales aplicados sobre los azulejos gota de agua y guirnaldas, indica Perla (1990) que Zuloaga empleó esmaltes opacos con una base de estaño, sodio y potasio, añadiendo diversos elementos según el color que finalmente presentaran (hierro y manganeso para la marrón, cobre para la verde y cobalto para la azul), y aplicó un lustre. Para la obtención del azul turquesa, Zuloaga empleaba óxido de cobre (Rubio-Celada 2004). Para los esmaltes elaborados en los años ochenta para las piezas de sustitución de los paneles cerámicos, se analizaron los originales de Zuloaga, aplicándose en base a los mismos pero con las técnicas cerámicas del momento. Se fabricaron esmaltes con una base constituida por caolín y óxido de zinc como agentes cristalizantes mates, feldespatos y calcita como opacificadores, y plomo como fundente (Perla 1990).

Para los colores de los esmaltes se emplearon óxido de hierro, cadmio y selenio para los dorados, óxido de manganeso, de hierro y sulfuro de cadmio para los marrones, óxido de cobre y cromo para los verdes (Perla 1990 no se refiere explícitamente al color azul turquesa), y óxido de cobalto para los azules. Para el blanco, se fabricó una mezcla alcalina a base de óxidos de sodio y potasio con cuarzo, minio (óxido de plomo) y estaño. Señala el autor que también se aplicaron lustres, de cobre y/o plata. La casa Ramos Rejano empleaba en sus esmaltes plomo y estaño para el blanco, cobre para los verdes, manganeso para el negro, rosa cobalto para el rosa, y óxido de hierro y antimonio para el ocre (Gestoso 1903). Para los esmaltes aplicados sobre los azulejos fabricados en la restauración de los años ochenta de los zócalos cerámicos interiores, se empleó una base de plomo, sodio y potasio con minio, sílice y alúmina (Perla 1990).



Fig.5.1. Aspecto entre los años 2006 y 2008 de los paneles cerámicos y mosaico de azulejos o *trencadiç* utilizados para la decoración de las fachadas del Antiguo Hospital.



Fig. 5.2. Paneles cerámicos, mosaico de azulejos y enjutas en la historia del Antigo Hospital.

- a y b. Paneles cerámicos originales, sustituidos en su totalidad en 1986. En a puede atenderse al color turquesa, típico de Zuloaga, que presentaban la pieza conocida como botón, clavo o boneta.
- c. Panel cerámico conservado en la rehabilitación de los años 80.
- d. Piezas cerámicas originales, algunas ya desprendidas, que decoraban el cuerpo central de la fuente cuadrada.
- e. Cuerpo de la fuente central, los azulejos gota de agua originales que revestían el anillo se conservaron y restauraron.
- f. Enjutas en los torreones exteriores de las naves revestidas con el mosaico de azulejos original.
- g. Enjutas de las fachadas al patio central carentes de *trencadix*.
- h. Inauguración del Hospital de Maudes, *Blanco y Negro* 25 junio 1916. Las enjutas del patio central quedaron exentas.
- i. Enjutas carentes de mosaico de azulejos y panel cerámico original en la portada principal de la iglesia.
- j. Reposición hacia 1986 de los azulejos superiores en el *trencadix* original que reviste la cubeta de la fuente central.

Las fotografías mostradas en las figuras a, b, d, e y f han sido cedidas por Fernando de Castro López-Villarino.

5.2. OBJETIVOS

Teniendo en cuenta los diversos motivos que llevaron a Palacios a la utilización de cerámica decorativa en las fachadas del Hospital de Jornaleros, identificadas las diferentes tipologías de materiales cerámicos, con función decorativa o estructural, y consultada la bibliografía que indica las materias primas empleadas así como el proceso de elaboración de las cerámicas decorativas originales y de sustitución, son dos los principales objetivos perseguidos en este capítulo. Por un lado, se caracterizan las cerámicas y/o esmaltes de cada una de las tipologías cerámicas establecidas y, por otro, se cotejan los resultados proporcionados por las técnicas de análisis con la documentación consultada.

5.2.1. Caracterización de los materiales cerámicos

- Descripción macroscópica y análisis mediante Espectrofotometría, MOP, DRX y MEB-EDS (en modo ER) de las cerámicas de los paneles cerámicos y mosaico de azulejos, originales y de sustitución.
- Descripción macroscópica y análisis mediante Espectrofotometría, MOP y MEB-EDS (en modo ER) de los esmaltes de los paneles cerámicos y mosaico de azulejos, originales y de sustitución.
- Descripción macroscópica y análisis mediante Espectrofotometría, MOP y DRX de las cerámicas de las piezas correspondientes con ladrillos estructurales originales.

5.2.2. Fuentes documentales y técnicas de caracterización

- Contrastar la información extraída de las referencias bibliográficas consultadas con la obtenida a partir de la caracterización de los materiales.

Al formar parte de un inmueble patrimonial declarado y protegido, la información incluida en este capítulo presenta un valor añadido, formando parte del patrimonio construido e industrial de una época determinada. Además, el conocimiento sobre la procedencia y la selección de las materias primas adecuadas y el mejor entendimiento de la tecnología utilizada ofrece importantes implicaciones para la conservación de estos materiales (Pérez-Monserrat et al. 2013).

5.3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

5.3.1. Toma de muestras

Se ha realizado la caracterización de materiales cerámicos, correspondientes a cerámicas decorativas (paneles cerámicos y mosaico de azulejos) y a ladrillos estructurales. En la figura 5.3 se indica la localización en el inmueble de los materiales cerámicos muestreados.

Si bien las piezas originales que constituían los primitivos paneles cerámicos fueron sustituidas en los años ochenta, dado que, como se ha indicado, su diseño se utilizó igualmente para la decoración de las dos fuentes y que los azulejos gota de agua que decoran el cuerpo principal de ambas son originales, se ha muestreado un azulejo gota de agua en el anillo de la fuente central (muestra PC₁). Aprovechando el acopio de materiales existente en el patio inglés de la nave Sureste hasta la intervención efectuada entre 2006-2008, que incluía piezas cerámicas sobrantes fabricadas para la intervención de 1984-1986, se ha tomado una de estas piezas, concretamente un cordón cerámico (muestra PC₂).

Respecto al *trencadís*, los azulejos caracterizados, uno original y otro elaborado en los años ochenta (muestras MA₁ y MA₂ respectivamente), se han tomado del mosaico que decora la cubeta de la fuente central, correspondientes ambos con sobrantes de los azulejos cerámicos empleados para la decoración de los paramentos interiores. En cuanto a cerámica estructural, se han tomado ladrillos originales, uno correspondiente a la fábrica del muro (LM) y otro que constituye la escalera del patio inglés de la nave Suroeste (LP).



Fig.5.3. Localización de los materiales cerámicos muestreados.

5.3.2. Técnicas de caracterización

Se han seleccionado técnicas de caracterización ampliamente utilizadas en el estudio de materiales cerámicos (Freestone y Middleton 1987, Molera et al. 1998, Cultrone et al. 2001, López-Arce et al. 2003, 2005, Carretero et al. 2002, Trindade et al. 2009), según las especificaciones señaladas en los aspectos metodológicos generales de la Tesis. Debido a que cada una de las muestras analizadas se corresponde con un material cerámico individualizado, su estudio así como discusión de resultados se ha efectuado de forma independiente. En la tabla 5.1. se resume la tipología, localización y caracterización efectuada.

Se ha atendido en primer lugar a su aspecto macroscópico, que ha incluido la determinación mediante Espectrofotometría de los parámetros cromáticos de las cerámicas, considerando la zona interna del material, y de los esmaltes, seleccionándose la luminosidad de color (L^*) y las coordenadas cromáticas a^* y b^* . El análisis petrográfico de las cerámicas y esmaltes se ha realizado mediante Microscopía Óptica de Polarización (MOP) con luz transmitida, tiñéndose una franja de las láminas delgadas con rojo de alizarina y ferricianuro potásico para identificar la posible presencia de calcita en la cerámica así como de áridos de calcita. Las principales fases minerales constituyentes de las cerámicas se han determinado mediante Difracción de Rayos X (DRX) de la fracción polvo de muestra total.

Las muestras correspondientes a cerámicas decorativas (con esmalte) han sido también caracterizadas mediante Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) con Espectroscopía de Energía Dispersiva de Rayos X (EDS). Las muestras se han observado en láminas delgadas pulidas en modo electrones retrodispersados (ER), atendiendo fundamentalmente al espesor de los esmaltes y a su contacto con las cerámicas, así como a los lustres presentes. Mediante microanálisis EDS se ha determinado cualitativamente la composición química elemental de los esmaltes, efectuando análisis zonales. A partir de la composición obtenida, se ha establecido la distribución lineal de los elementos en el esmalte y en la cerámica mediante la realización de análisis elementales lineales. Por último, mediante análisis químicos semicuantitativos (puntuales y/o zonales) se ha determinado el porcentaje en peso (normalizado) de los elementos químicos que constituyen los principales componentes de los esmaltes.

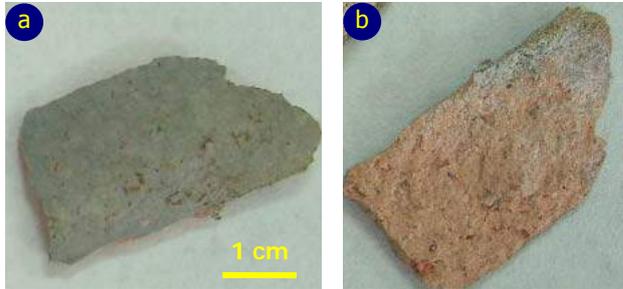
Tabla 5.1. *Materiales cerámicos caracterizados.*

| Tipología | | Época | Muestra | Localización | Caracterización |
|-------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------------------------------|
| Paneles cerámicos | Cerámica + esmalte | 1914 (original) | PC ₁ | Cuerpo fuente patio central | Espectrofotometría, MOP, DRX y MEB-EDS (modo ER) |
| | | ±1985 (sustitución) | PC ₂ | Acopio materiales Nave SE | |
| Mosaico azulejos | Cerámica + esmalte | 1914 (original) | MA ₁ | Cubeta fuente | |
| | | ±1985 (reposición) | MA ₂ | patio central | |
| Ladrillos estructurales | Cerámica | ±1909-1910 (original) | LM | Muro fábrica iglesia | Espectrofotometría, MOP y DRX |
| | | ±1914-1916 (original) | LP | Escalera patio inglés nave SO | |

5.4. RESULTADOS

5.4.1. Azulejos gota de agua originales de la fuente central

5.4.1.a. Descripción macroscópica (muestra PC₁)



En el fragmento tomado se observa el esmalte, cuya coloración azulada original ($L^* = 63,09$; $a^* = -10,18$; $b^* = -3,18$) todavía se conserva (figura 5.4.a), y la tonalidad rojiza ($L^* = 67,42$; $a^* = 13,83$; $b^* = 21,75$) de la cerámica (figura 5.4.b). En el seno de la cerámica, con aspecto heterogéneo, se reconocen unas masas con intensa coloración rojiza.

Fig.5.4. Aspecto macroscópico de la muestra PC₁, tomada de un azulejo gota de agua de la fuente central.

5.4.1.b. Caracterización petrográfica (muestra PC₁)

La cerámica presenta muy abundante cantidad de árido, estimándose la relación árido:pasta en 3:1 (figuras 5.5.a y 5.5.b), correspondiente fundamentalmente con granos de cuarzo monomineral con formas subredondeadas y subangulosas. Se observan abundantes minerales opacos, una importante cantidad de pellas arcillosas, de tonalidad oscura, morfologías redondeadas y tamaños desde los 0,15 mm hasta los 0,4 mm (figura 5.5.a). También se identifica chamota, con coloración oscura, formas subangulosas y mayores tamaños, que suelen contener abundantes áridos de cuarzo en su interior (figura 5.5.b). Estas chamotas muestran en ocasiones grietas de retracción a su alrededor. La pasta muestra una tonalidad oscura intensa, un aspecto compacto y cierta heterogeneidad textural, principalmente en cuanto al tamaño de los áridos de cuarzo se refiere, agrupados en dos tamaños principales, con tamaños medios de 0,07 mm y de 0,4 mm. La superficie de la cerámica presenta zonas con intensa tonalidad oscura (figura 5.5.c). El esmalte es de coloración oscura, aspecto denso y burbujas en su interior (figura 5.5.c), apreciándose sobre el mismo una película, posiblemente un lustre (figura 5.5.d).

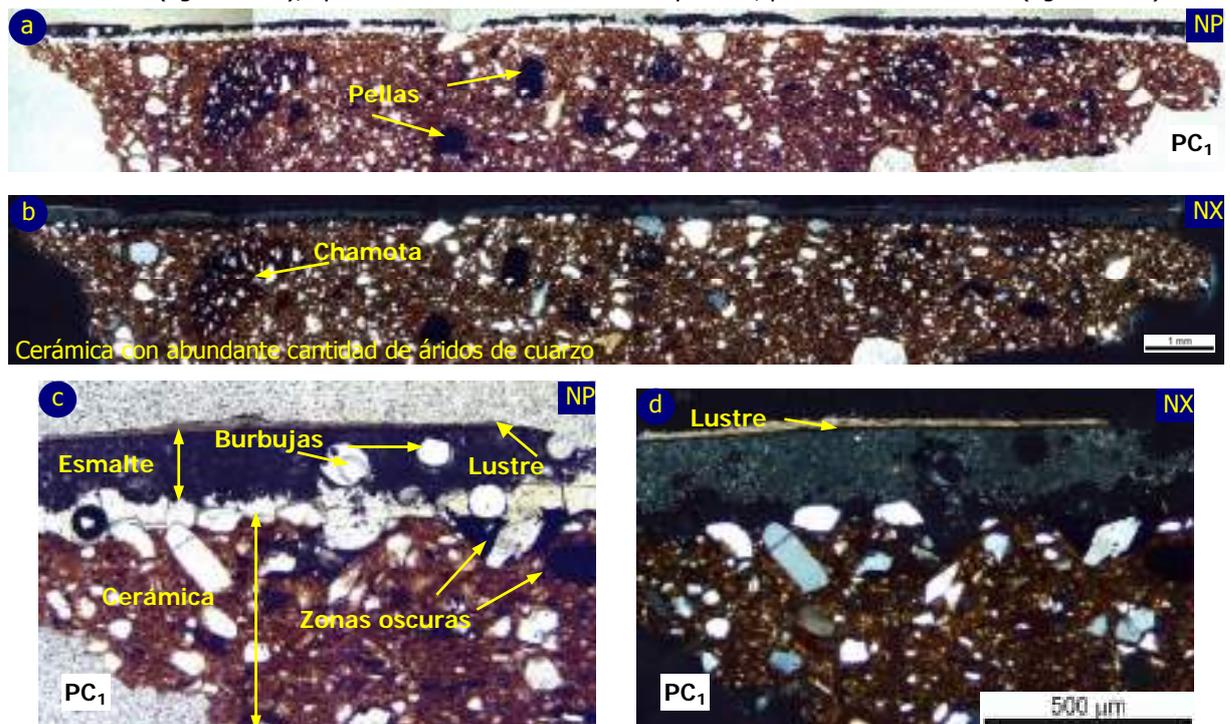


Fig.5.5. Aspecto bajo microscopio óptico de polarización de la muestra PC₁, caracterizada. Nícoles paralelos (NP) y nicoles cruzados (NX).

5.4.1.c. Caracterización mineralógica de la cerámica (muestra PC₁)

En el difractograma correspondiente a la fracción analizada, la totalidad de las reflexiones se corresponden con cuarzo (tres reflexiones de mayor intensidad en los ángulos $2\theta = 26,64^\circ$, $20,84^\circ$ y $50,14^\circ$).

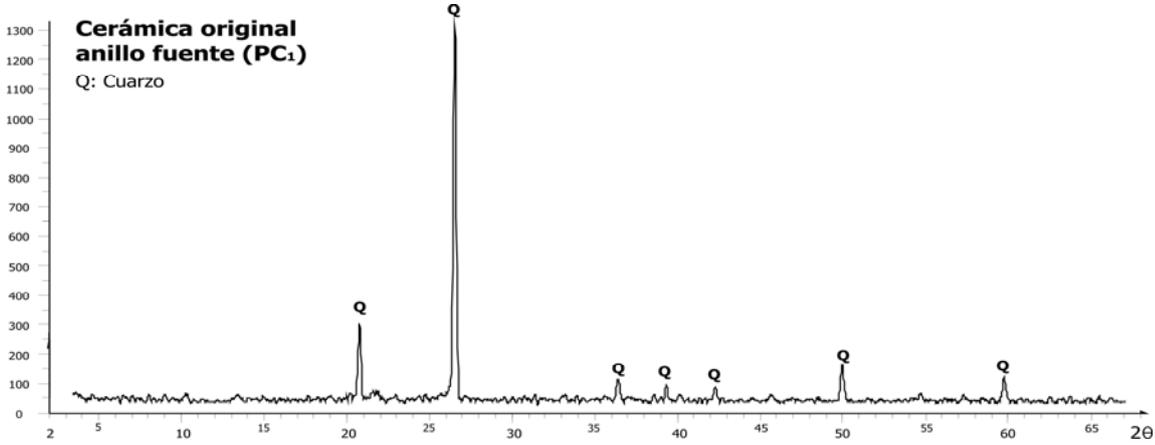


Fig.5.6. Difractograma de Rayos X de la cerámica utilizada para la fabricación de los azulejos gota de agua originales que decoran la fuente central (muestra PC₁).

5.4.1.d. Caracterización mediante MEB-EDS (muestra PC₁)

En la figura 5.7 se observa que el contacto del esmalte con la pasta es continuo y muy irregular. El esmalte se adapta a la superficie rugosa de la cerámica, presenta importante heterogeneidad textural, salvo la franja en contacto con la pasta. El esmalte presenta un espesor medio de unos 200 μm y se observan en su interior burbujas circulares con un tamaño medio de 100 μm . Los elementos químicos determinados en el esmalte son aluminio (Al), silicio (Si), potasio (K), vanadio (V), hierro (Fe), zirconio (Zr) y plomo (Pb). La distribución lineal de estos elementos permite comprobar que los elementos mayoritarios en el esmalte son zirconio y plomo. No se ha identificado estaño, pudiendo el contenido en titanio determinado corresponderse con óxidos de titanio añadidos en sustitución del estaño. El lustre aplicado sobre el esmalte presenta un espesor constante (unos 20 μm) y el contacto entre ambos es muy regular. Está constituido en su práctica totalidad por calcio, determinándose un contenido del 84,2% en peso en la zona analizada.

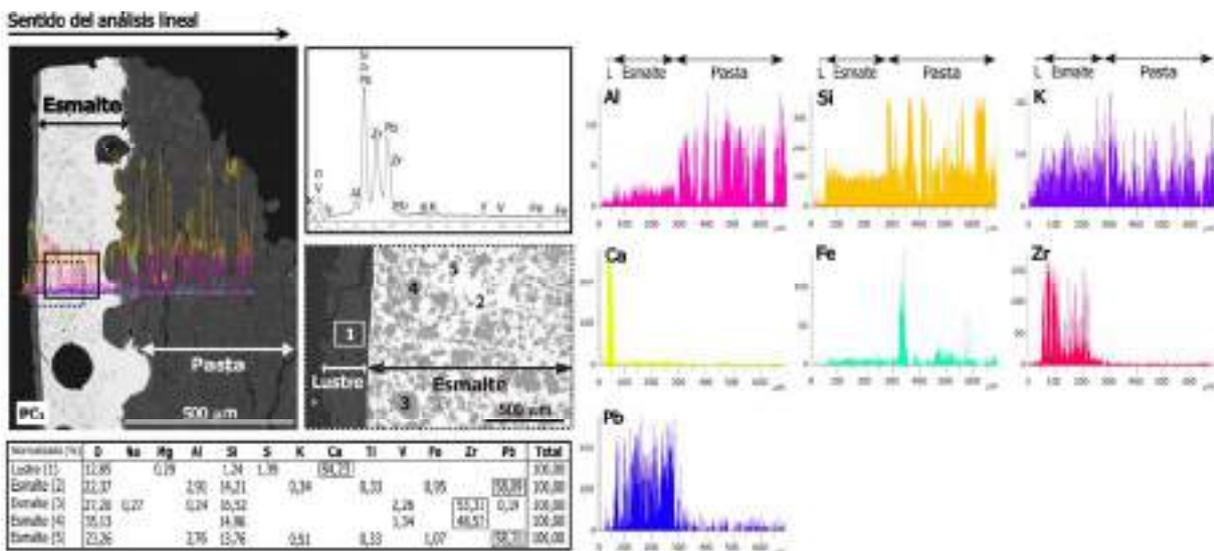


Fig.5.7. Caracterización mediante MEB-EDS (en modo ER) del esmalte en la muestra PC₁.

En la zona izquierda se muestra la imagen MEB-ER general de la pasta y del esmalte, el espectro EDS de la zona recuadrada así como la ampliación de la zona punteada en la imagen general. En esta ampliación puede atenderse a los constituyentes del esmalte y al lustre aplicado, mostrándose en el cuadro su composición semicuantitativa normalizada. A la derecha, se muestra la distribución de elementos en el esmalte y en la pasta establecida a partir de análisis lineal efectuado en la imagen general.

5.4.2. Piezas de sustitución de los paneles cerámicos originales

5.4.2.a. Descripción macroscópica (muestra PC₂)

La pieza tomada, perteneciente al cordón de enmarcación de los paneles cerámicos elaborados en los años ochenta, presenta unas dimensiones de 38 x 13 x 2,5 cm. La cerámica muestra un aspecto homogéneo y una coloración rojiza-marrón ($L^* = 66,58$; $a^* = 20,69$; $b^* = 27,06$). Se aprecian algunos áridos, probablemente correspondientes a cuarzo (figura 5.8.b). La zona central de la pieza, con un relieve curvo, muestra un esmalte de tonalidad verde algo azulada ($L^* = 56,38$; $a^* = -19,75$; $b^* = -3,46$).



Fig.5.8. Aspecto macroscópico de la pieza cerámica, correspondiente al cordón que enmarca los paneles, elaborada en los años ochenta (muestra PC₂) para la sustitución de los paños originales.

5.4.2.b. Caracterización petrográfica (muestra PC₂)

La pasta elaborada para la fabricación de la cerámica de la muestra PC₂ corresponde a una arcilla con abundante cantidad de árido, fundamentalmente granos de cuarzo (figura 5.9.b), estimándose la proporción árido:pasta en 3:1. Los áridos de cuarzo son principalmente monocristalinos, presentan morfologías subangulosas y subredondeadas y un tamaño que oscila entre los 0,1 y 0,3 mm. Se reconocen abundantes minerales opacos (figura 5.9.c) y algunos filosilicatos (figura 5.9.d). Se observa la orientación generalizada de los áridos en el seno de la pasta, amoldándose éstos al borde curvo de la pieza (figura 5.9.b).

Muchos áridos presentan en su contacto con la pasta una corona de intenso color oscuro (figura 5.9.d). La cerámica presenta una tonalidad oscura y, hacia el exterior de la pieza, se aprecia una franja con una tonalidad más oscura (figuras 5.9.c y 5.9.d). Se observan poros subredondeados y poros que presentan morfologías elongadas, éstos últimos especialmente hacia la zona externa de las piezas, mostrando algunos poros en su borde interno cierto contenido arcilloso (figura 5.9.c). La cerámica presenta homogeneidad textural en cuanto al tamaño y forma del árido de cuarzo se refiere, así como su disposición en el seno de la pasta de forma paralela o subparalela a la superficie externa.

Respecto al esmalte aplicado sobre la cerámica, se trata de una capa de aspecto homogéneo con tonalidad clara que presenta una serie de fisuras ortogonales que lo atraviesan en todo su espesor (figura 5.9.a). No se observan burbujas y no se ha identificado la aplicación de un lustre sobre el mismo.

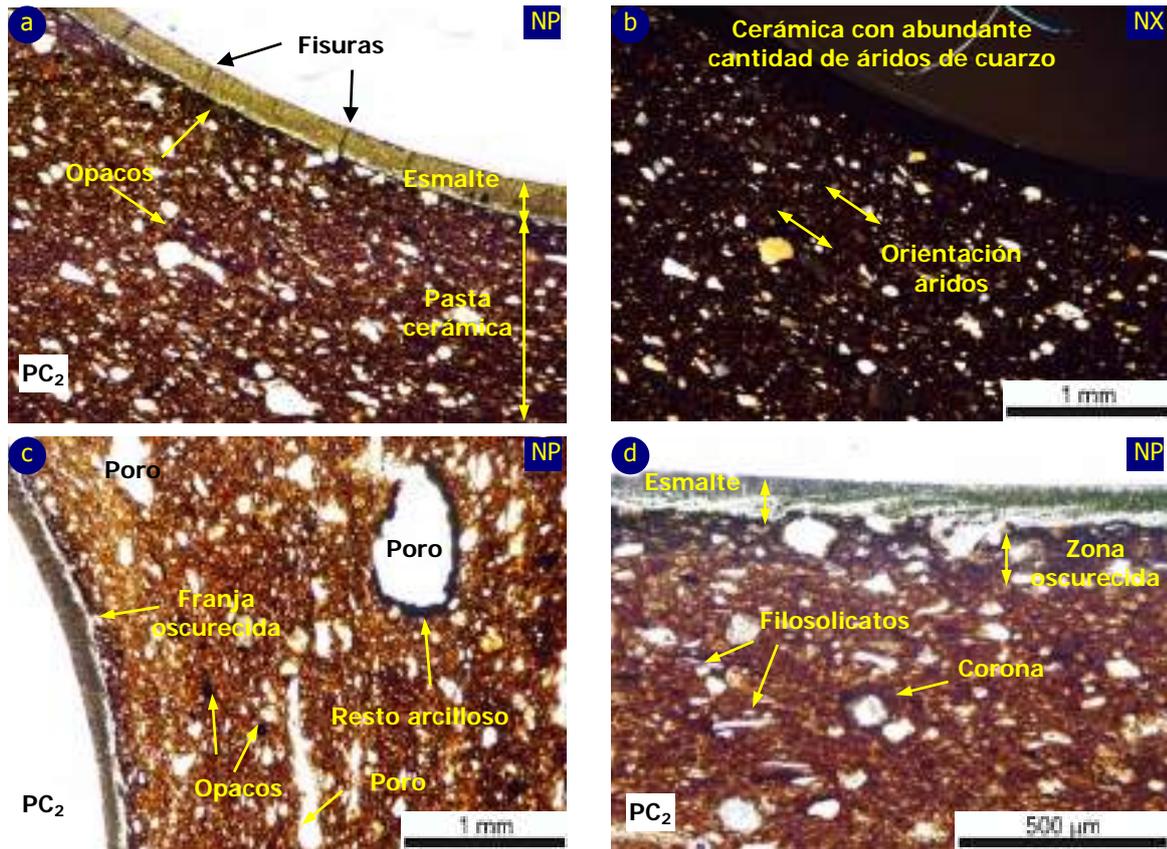


Fig.5.9. Aspecto del cordón cerámico elaborado hacia 1986 (muestra PC₂) para la sustitución de los paneles cerámicos originales observado mediante MOP. Nícoles paralelos (NP) y nícoles cruzados (NX).

5.4.2.c. Caracterización mineralógica de la cerámica (muestra PC₂)

En el difractograma obtenido (figura 5.10), la práctica totalidad de las reflexiones corresponden a cuarzo (sus tres reflexiones características aparecen en los ángulos $2\theta = 26,64^\circ$, $20,84^\circ$ y $50,14^\circ$). También se ha identificado illita (reflexión de mayor intensidad en $2\theta = 8,83^\circ$).

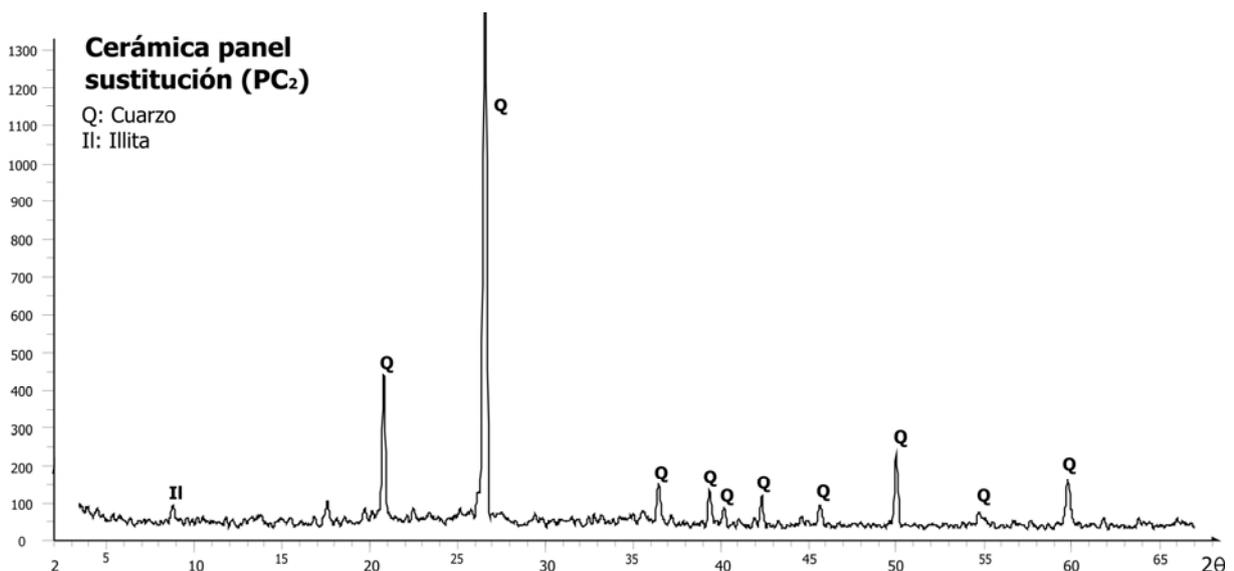


Fig.5.10. Difractograma de Rayos X perteneciente a la cerámica empleada para la elaboración del cordón de enmarcación de los paneles fabricado en los años ochenta (muestra PC₂).

5.4.2.d. Caracterización mediante MEB-EDS (muestra PC₂)

En la figura 5.11 puede observarse el contacto neto y continuo del esmalte con la cerámica. No se observan burbujas en su interior, presenta un aspecto muy homogéneo y un espesor constante (unos 500 μm), que aumenta al amoldarse a la curvatura de la pieza. En la zona analizada no se ha observado la aplicación de lustre alguno. El espectro EDS obtenido revela la existencia en el esmalte de sodio (Na), aluminio (Al), silicio (Si), calcio (Ca), hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), estaño (Sn) y plomo (Pb), indicando el análisis lineal realizado que el calcio, cobre, zinc, estaño y plomo son los principales elementos químicos constituyentes del esmalte. El contenido en plomo es menor que el obtenido en el esmalte de las piezas originales. Cabe destacar el importante contenido de antimonio (19,4% en peso en la zona analizada) y de cloro (6,9% en peso).

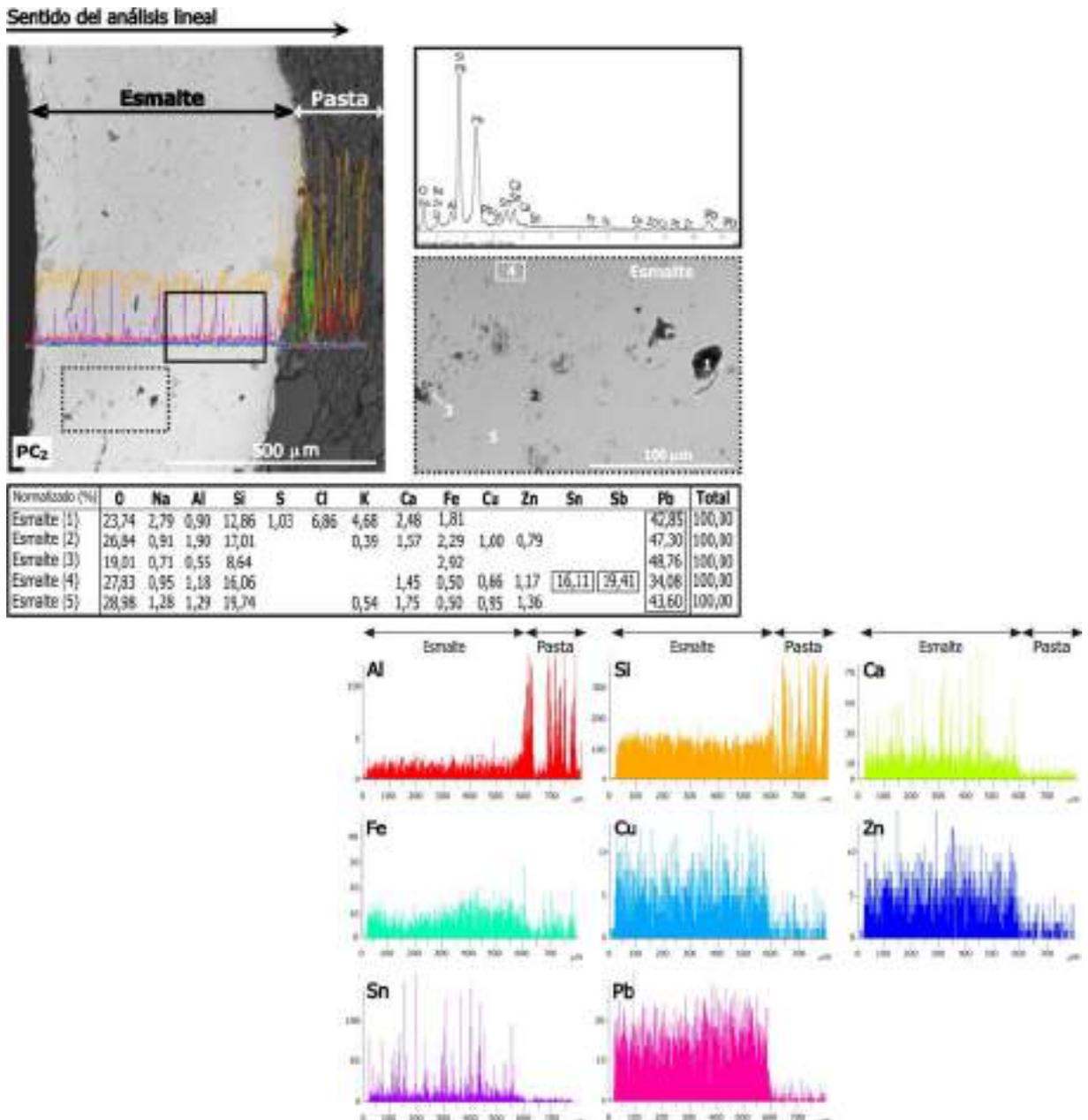


Fig.5.11. Caracterización mediante MEB-EDS (en modo ER) del esmalte en la muestra PC₂. En la zona izquierda se muestra la imagen MEB-ER general de la pasta y del esmalte, el espectro EDS de la zona recuadrada así como la ampliación de la zona punteada en la imagen general. En esta ampliación puede atenderse a los constituyentes del esmalte, mostrándose en el cuadro su composición semicuantitativa normalizada. A la derecha, se muestra la distribución de elementos en el esmalte y en la pasta establecida a partir de análisis lineal efectuado en la imagen general.

5.4.3. Azulejos del *trencadiç* original de la cubeta de la fuente central

5.4.3.a. Descripción macroscópica (muestra MA₁)

En la figura 5.12 se observa su aspecto en muestra de mano. El azulejo presenta un espesor medio de 1,5 cm. Su cara superior conserva el esmalte original, de tonalidad azul-verdosa ($L^* = 61,36$; $a^* = -11,30$; $b^* = -3,03$). La cerámica muestra un aspecto homogéneo y una tonalidad anaranjada ($L^* = 73,27$; $a^* = 9,90$; $b^* = 20,21$).



Fig.5.12. Aspecto macroscópico del azulejo original (MA₁) tomado del *trencadiç* de la fuente central.

5.4.3.b. Caracterización petrográfica (muestra MA₁)

La cerámica contiene cierta cantidad de áridos, correspondientes en su práctica totalidad a cuarzo monocristalino, estimándose la proporción árido:pasta en 1:3 (figura 5.13). Los áridos muestran morfologías subangulosas y subredondeadas y un tamaño de grano comprendido entre los 0,05 y 0,30 mm. La cerámica presenta una coloración marrón oscura, que difiere de unas zonas a otras. Hacia la zona de contacto con el esmalte, la pasta muestra un mayor grado de empaquetamiento y una tonalidad más oscura (figura 5.13.a). La cerámica presenta cierta porosidad así como heterogeneidad textural, en cuanto a su grado de empaquetamiento y a la distribución de los áridos de cuarzo. El esmalte muestra una tonalidad clara, aspecto heterogéneo, una superficie irregular y contiene abundantes partículas, principalmente de cuarzo (figura 5.13.d). Se observan burbujas en su interior. Sobre el mismo se aprecia una película incolora que se acopla a las irregularidades de su superficie, probablemente correspondiente al lustre aplicado.

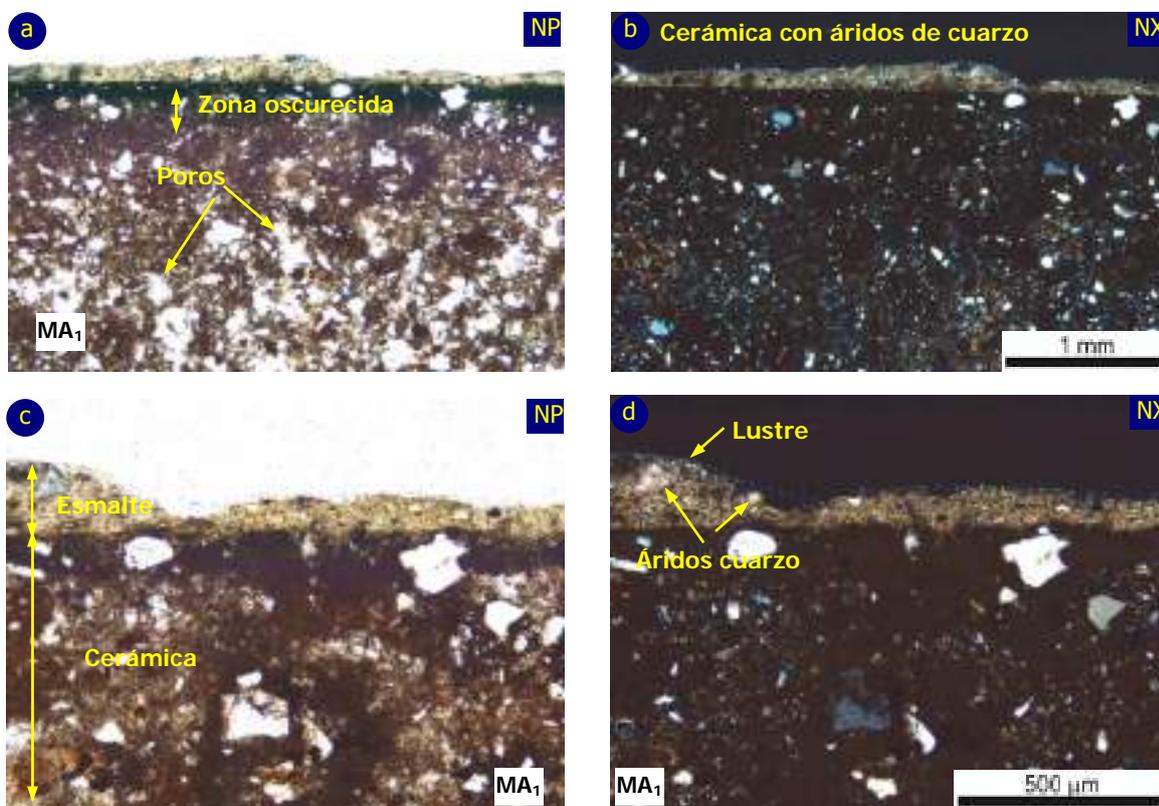


Fig.5.13. Aspecto bajo microscopio petrográfico de polarización del azulejo del *trencadiç* original que decora la cubeta de la fuente del patio central (muestra MA₁). Nícoles paralelos (NP) y nícoles cruzados (NX).

5.4.3.c. Caracterización mineralógica de la cerámica (muestra MA₁)

El difractograma (figura 5.14) permite la identificación de cuarzo (sus tres reflexiones de mayor intensidad en los ángulos $2\theta = 26,64^\circ$, $20,84^\circ$ y $50,14^\circ$), de la anortita (reflexión característico obtenido en el ángulo $2\theta = 27,88^\circ$), del hematites (su principal reflexión en el ángulo $2\theta = 33,28^\circ$), de la gehlenita (reflexión de mayor intensidad en el ángulo $2\theta = 31,28^\circ$), del diópsido (reflexión principal en el ángulo $2\theta = 29,86^\circ$) y de la wollastonita (reflexión característica en el ángulo $2\theta = 30,06^\circ$).

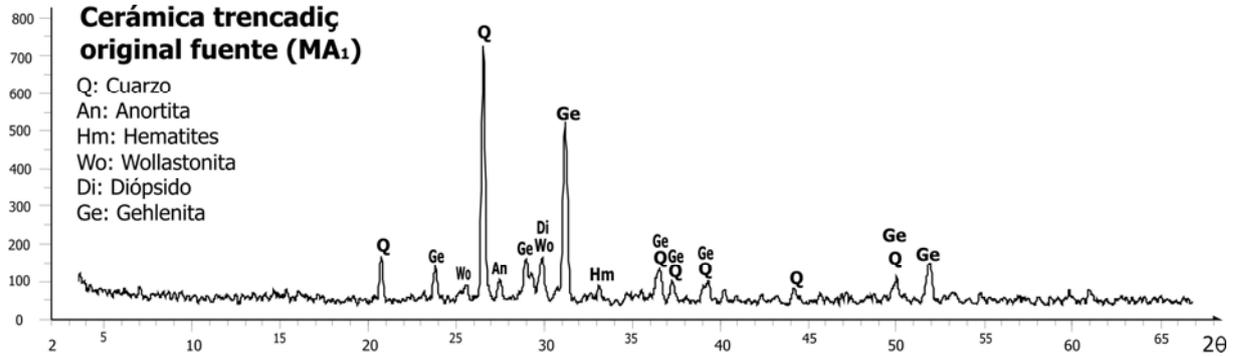


Fig.5.14. Difractograma de Rayos X de la cerámica del azulejo original (muestra MA₁) tomado del *trencadiç* que decora la cubeta de la fuente.

5.4.3.d. Caracterización mediante MEB-EDS (muestra MA₁)

El esmalte aplicado sobre los azulejos originales presenta un aspecto heterogéneo, espesor constante (330 μm aprox.) y su contacto con la cerámica es continuo aunque ligeramente irregular (figura 5.15). En su interior se observan burbujas circulares de tamaños muy diversos, alcanzando los 150 μm de diámetro. Los elementos químicos determinados son sodio (Na), aluminio (Al), silicio (Si), potasio (K), calcio (Ca) y plomo (Pb), resultando los más abundantes silicio, potasio y plomo. Resultan especialmente significativos los contenidos de aluminio y potasio en algunos de los constituyentes del esmalte analizado. No se ha identificado el/los posible/s elemento/s que podría/n otorgar el color azul-verdoso al esmalte y no se ha observado la aplicación de un lustre.

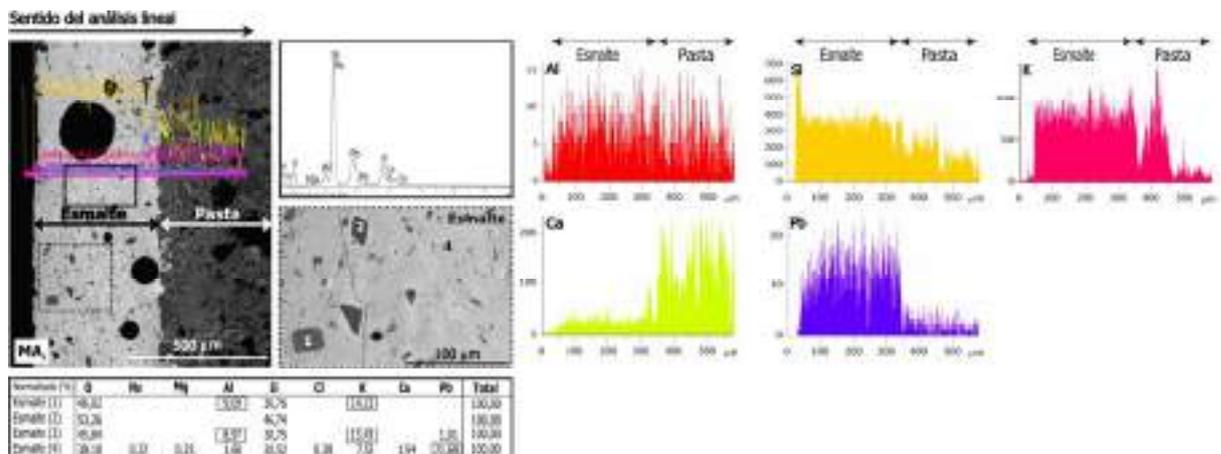


Fig.5.15. Caracterización mediante MEB-EDS (en modo ER) del esmalte en la muestra MA₁. En la zona izquierda se muestra la imagen MEB-ER general de la pasta y del esmalte, el espectro EDS de la zona recuadrada así como la ampliación de la zona punteada en la imagen general. En esta ampliación puede atenderse a los constituyentes del esmalte, mostrándose en el cuadro su composición semicuantitativa normalizada. A la derecha, se muestra la distribución de elementos en el esmalte y en la pasta establecida a partir de análisis lineal efectuado en la imagen general.

5.4.4. **Azulejos elaborados para la restauración del *trencadiç* original de la fuente**

5.4.4.a. **Descripción macroscópica (muestra MA₂)**

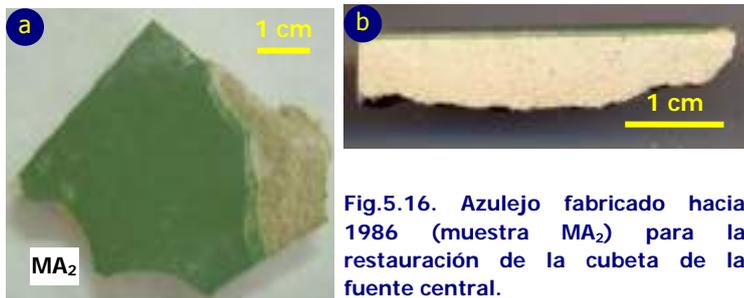


Fig.5.16. Azulejo fabricado hacia 1986 (muestra MA₂) para la restauración de la cubeta de la fuente central.

En el azulejo tomado (figura 5.16), fabricado para la restauración del *trencadiç* de la fuente en los años ochenta, la cerámica muestra una tonalidad amarillenta ($L^* = 75,85$; $a^* = 5,44$; $b^* = 23,18$) y el esmalte un color verde ($L^* = 52,56$; $a^* = -14,95$; $b^* = 17,39$).

5.4.4.b. **Descripción petrográfica (muestra MA₂)**

La cerámica de este azulejo presenta un elevado contenido en áridos de cuarzo, estableciéndose una relación árido:pasta de 3:1 (figura 5.17). Los áridos tienen morfologías subredondeadas y su tamaño abarca desde los 0,05 mm hasta los 0,20 mm. También se observa la existencia de minerales opacos. La pasta muestra una tonalidad oscura y tinción ferruginosa generalizada, observándose diversas tonalidades marrones (figuras 5.17.a y 5.17.c). La cerámica presenta homogeneidad textural, en cuanto al tamaño del árido de cuarzo, distribución en el seno de la pasta y grado de vitrificación se refiere. La superficie del esmalte es irregular y se observan abundantes burbujas en su interior (figura 5.17.a). El esmalte muestra una tonalidad clara y contiene una importante cantidad de partículas (figura 5.17.b). No se observa la aplicación de un lustre sobre el esmalte.

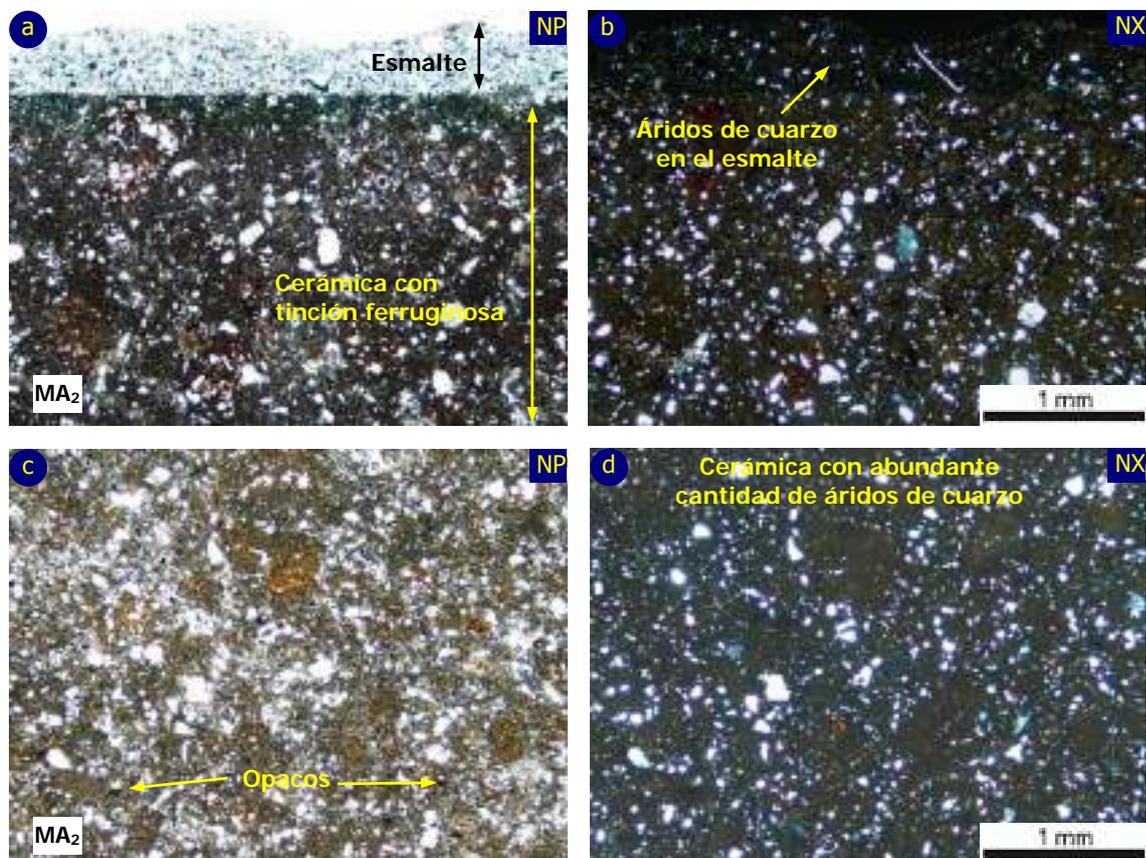


Fig.5.17. Azulejo fabricado para la restauración (muestra MA₂) del *trencadiç* de la cubeta de la fuente observado bajo microscopio petrográfico de polarización. Nícoles paralelos (NP) y nícoles cruzados (NX).

5.4.4.c. Caracterización mineralógica de la cerámica (muestra MA₂)

En el difractograma obtenido (figura 5.18) se ha identificado cuarzo (sus tres reflexiones de mayor intensidad en los ángulos $2\theta = 26,64^\circ$, $20,84^\circ$ y $50,14^\circ$), hematites (principal en el ángulo $2\theta = 33,28^\circ$), gehlenita (reflexión característica en el ángulo $2\theta = 31,28^\circ$), wollastonita (pico de mayor intensidad en el ángulo $2\theta = 30,06^\circ$) y diópsido (su pico de mayor intensidad aparece en el ángulo $2\theta = 29,86^\circ$).

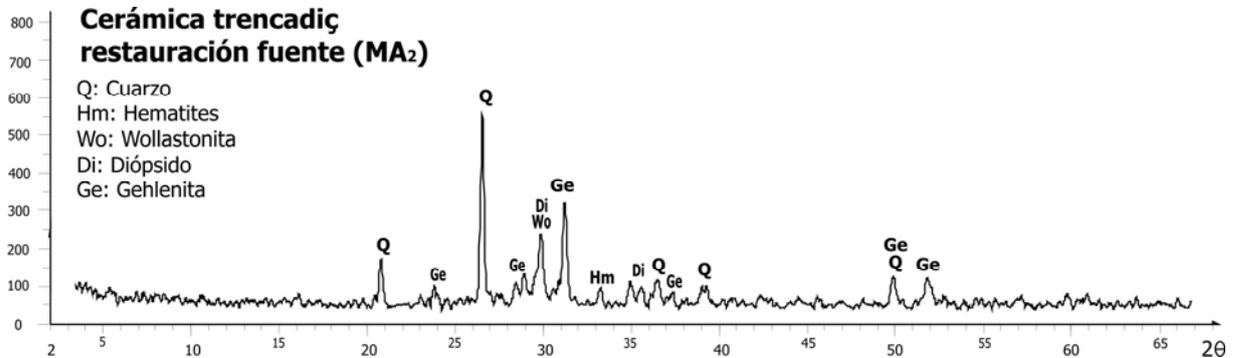


Fig.5.18. Difractograma de Rayos X correspondiente a la cerámica del azulejo fabricado entre 1984 y 1986 (muestra MA₂) para la restauración de la cubeta de la fuente central.

5.4.4.d. Caracterización mediante MEB-EDS (muestra MA₂)

El aspecto del esmalte en los azulejos de reposición es bastante similar al aplicado sobre los originales (figura 5.19). Presenta una textura heterogénea y burbujas circulares de tamaño variable (25-90 μm de diámetro). Su espesor es muy constante ($\pm 450 \mu\text{m}$) y el contacto pasta-esmalte es recto aunque algo irregular. El espectro EDS revela la existencia en el esmalte de sodio (Na), magnesio (Mg), aluminio (Al), silicio (Si), potasio (K), calcio (Ca), cromo (Cr) y plomo (Pb). También silicio, potasio y plomo son los elementos que en mayor medida constituyen la composición del esmalte e igualmente resulta significativo el contenido de aluminio y potasio en algunos de los constituyentes del esmalte. Se identifican partículas con un importante contenido en calcio (Ca) y arsénico (As).

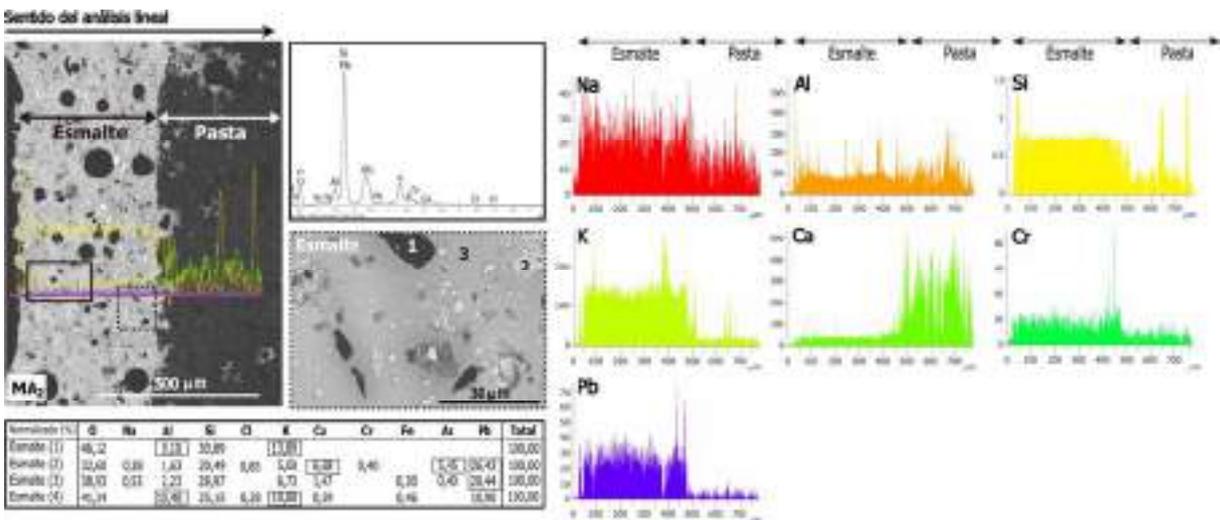


Fig.5.19. Caracterización mediante MEB-EDS (en modo ER) del esmalte en la muestra MA₂.

En la zona izquierda se muestra la imagen MEB-ER general de la pasta y del esmalte, el espectro EDS de la zona recuadrada así como la ampliación de la zona punteada en la imagen general. En esta ampliación puede atenderse a los constituyentes del esmalte, mostrándose en el cuadro su composición semicuantitativa normalizada. A la derecha, se muestra la distribución de elementos en el esmalte y en la pasta establecida a partir de análisis lineal efectuado en la imagen general.

5.4.5. Ladrillos del muro de fábrica (original)

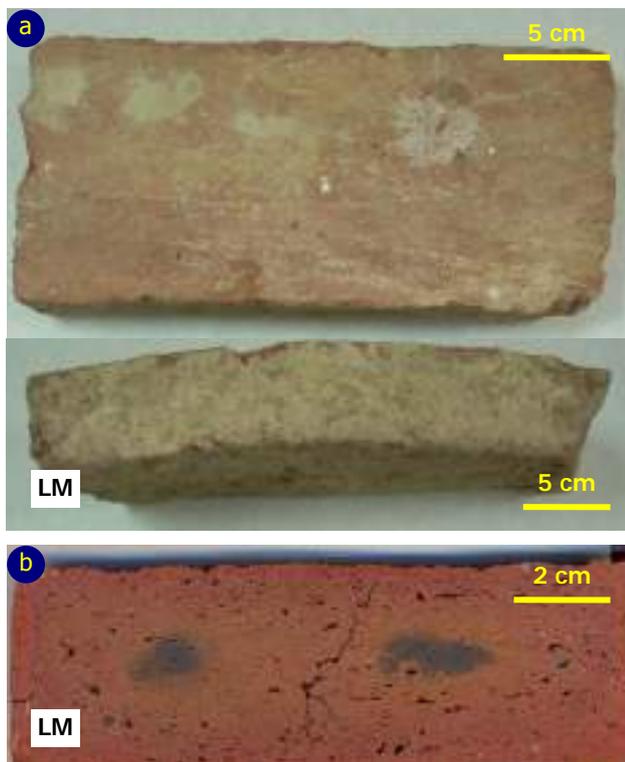


Fig.5.20. Ladrillo original perteneciente a la fábrica del muro del inmueble (muestra LM).

5.4.5.a. Descripción macroscópica (muestra LM)

El ladrillo original tomado de la fábrica del muro del edificio, tiene unas dimensiones de 28 (soga) x 13 (tizón) x 4 (grueso) cm. Los bordes son muy irregulares y, colocando la pieza de canto, se aprecia la importante curvatura que presenta (figura 5.20.a). El corte en laboratorio de la pieza ha permitido observar el prensado insuficiente de la pieza y la intensa tonalidad rojiza de la cerámica así como la gradación de color que muestra de borde a centro (figura 5.20.b).

Así, la tonalidad rojiza (en el borde, $L^* = 47,38$; $a^* = 15,41$; $b^* = 17,90$) va disminuyendo en intensidad ($L^* = 45,99$; $a^* = 16,74$; $b^* = 23,39$) hacia el centro de la pieza, en donde se observan zonas con intensa tonalidad oscura ($L^* = 41,27$; $a^* = 7,58$; $b^* = 12,55$). Se reconocen áridos de cuarzo de tamaño milimétrico y un importante grado de porosidad, presentando los poros una orientación que en parte sigue la morfología de la pieza.

5.4.5.b. Caracterización petrográfica (muestra LM)

La cerámica empleada para la fabricación de la muestra LM presenta una proporción de árido:pasta estimada en 1:2 y un importante grado de porosidad (figura 5.21). El árido principalmente se corresponde con áridos de cuarzo monocristalino, con morfologías redondeadas y subredondeadas y un tamaño medio de unos 0,15 mm. Atendiendo a diversas zonas de la lámina, se observa cierto grado de orientación en los áridos. La matriz arcillosa presenta una tinción ferruginosa generalizada, apreciándose diversas tonalidades oscuras (figura 5.21.a), y se observan minerales opacos. La elevada porosidad del ladrillo corresponde a poros con morfologías y tamaños muy diversos, bien alargados de 0,3 mm de espesor, bien formas irregulares que alcanzan los 5 mm de tamaño (figura 5.21.b). La cerámica muestra cierta heterogeneidad textural, en cuanto a su tonalidad y grado de compactación así como a la distribución del árido se refiere.

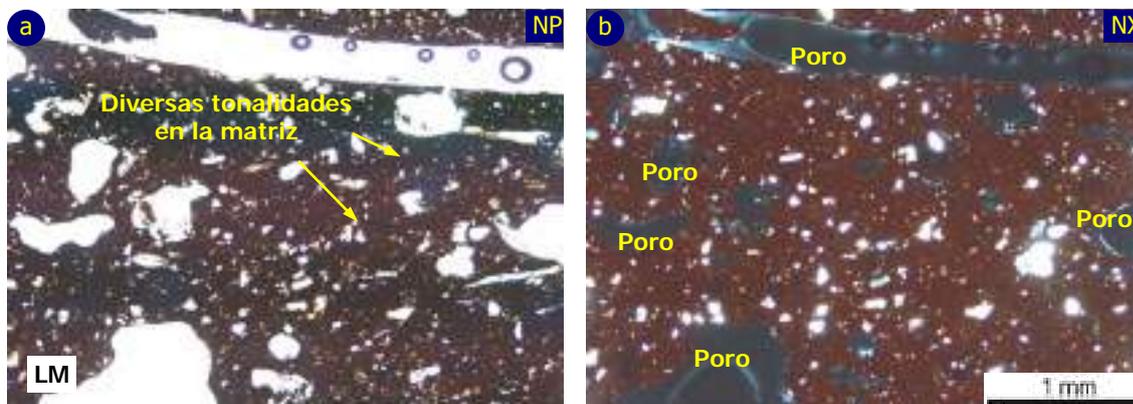


Fig.5.21. Aspecto bajo el microscopio petrográfico de polarización de la cerámica empleada para la elaboración del ladrillo original del muro de fábrica (LM). Nícoles paralelos (NP) y nícoles cruzados (NX).

5.4.5.c. Caracterización mineralógica (muestra LM)

En el difractograma obtenido (figura 5.22), a partir de muestra tomada en la zona intermedia de la pieza, se ha identificado cuarzo (sus tres reflexiones de mayor intensidad en los ángulos $2\theta = 26,64^\circ$, $20,84^\circ$ y $50,14^\circ$), anortita (pico correspondiente al ángulo $2\theta = 28,08^\circ$), el hematites (su principal reflexión característica aparece en el ángulo $2\theta = 33,28^\circ$) y gehlenita (pico de máxima intensidad en el ángulo $2\theta = 31,28^\circ$).

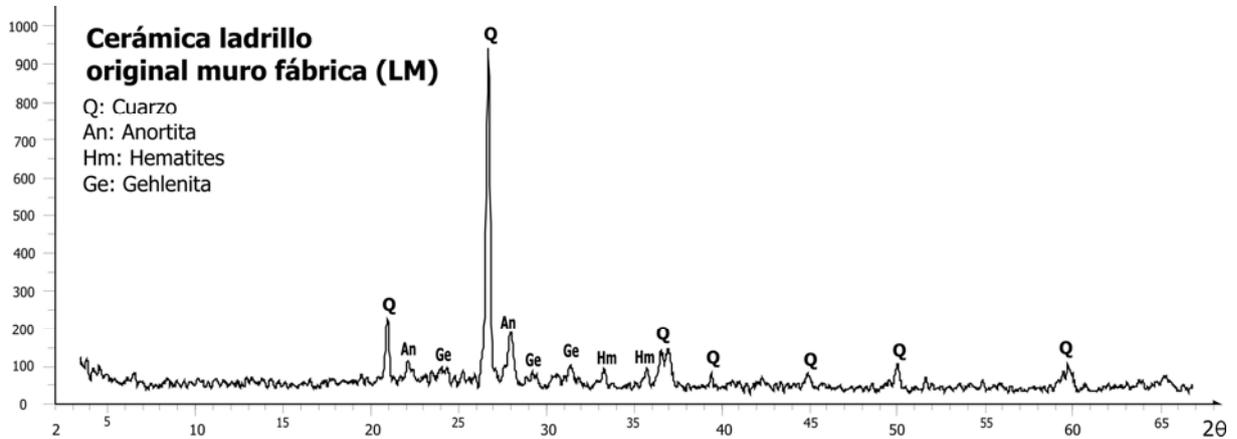


Fig.5.22. Difractograma de Rayos X de la cerámica empleada para la fabricación del ladrillo original del muro de fábrica (muestra LM).

5.4.6. Ladrillos de la escalera del patio inglés (original)

5.4.6.a. Descripción macroscópica (muestra LP)

Respecto al ladrillo original que configura la pieza que presenta una cuidada elaboración y dimensionado, con dimensiones de 25,5 (soga) x 14 (tizón) x 4,8 (grueso).

La hendidura que muestra en la tabla, permite que, mediante su relleno con mortero (figura 5.23.a), los ladrillos de la barandilla queden imbricados entre sí (localización de la muestra LP en la figura 5.3).

El corte del ladrillo en el laboratorio ha permitido observar la cara fresca de la pieza cerámica. La superficie de este ladrillo muestra una coloración clara amarillenta ($L^* = 72,97$; $a^* = 9,00$; $b^* = 26,51$), que resulta muy heterogénea al presentar abundantes manchas rojizas homogéneamente distribuidas, y un aspecto bastante compacto (figura 5.27.b). Hacia los bordes, el ladrillo muestra una tonalidad más clara.

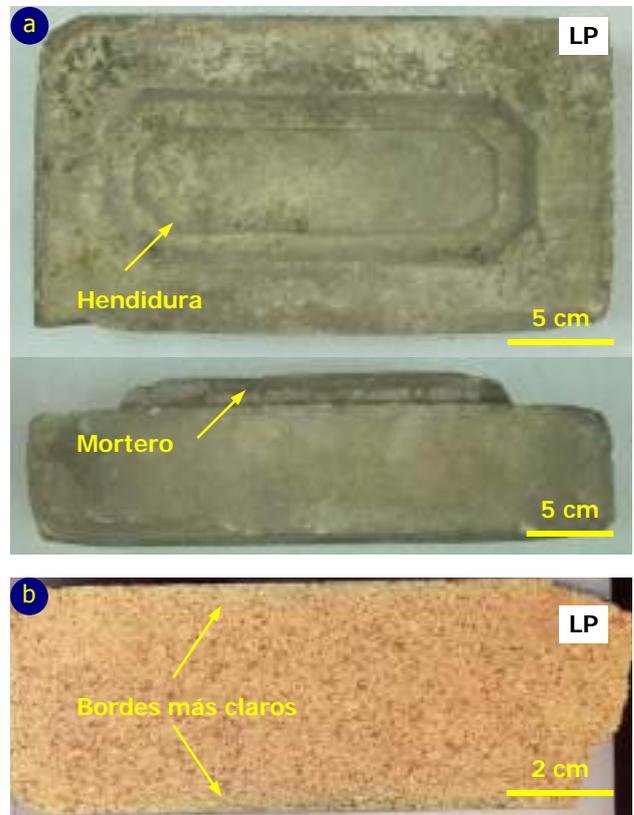


Fig.5.23. Aspecto macroscópico del ladrillo original empleado en la construcción de la escalera del patio inglés de la nave Suroeste (muestra LP).

5.4.6.b. Caracterización petrográfica (muestra LP)

La cerámica presenta una relación de árido:pasta estimada en 1:4. El árido corresponde en su práctica totalidad a granos de cuarzo monomineral, que muestra morfologías principalmente subangulosas y un tamaño medio inferior a los 0,07 mm (figura 5.24.b). Se observa abundante chamota, con morfologías redondeadas y que llegan a alcanzar el milímetro de tamaño, y algunas contienen áridos de cuarzo en su interior. También se reconocen algunos minerales opacos. Si bien en muestra de mano el ladrillo presenta un aspecto bastante compacto, petrográficamente se observan abundantes poros y fisuras. En general, la mayoría de las fisuras se corresponden con grietas de retracción generadas alrededor de la chamota (figura 5.24.a). La cerámica muestra una importante heterogeneidad textural, en tanto que está constituida por dos componentes claramente diferenciados, el árido de cuarzo y la chamota.

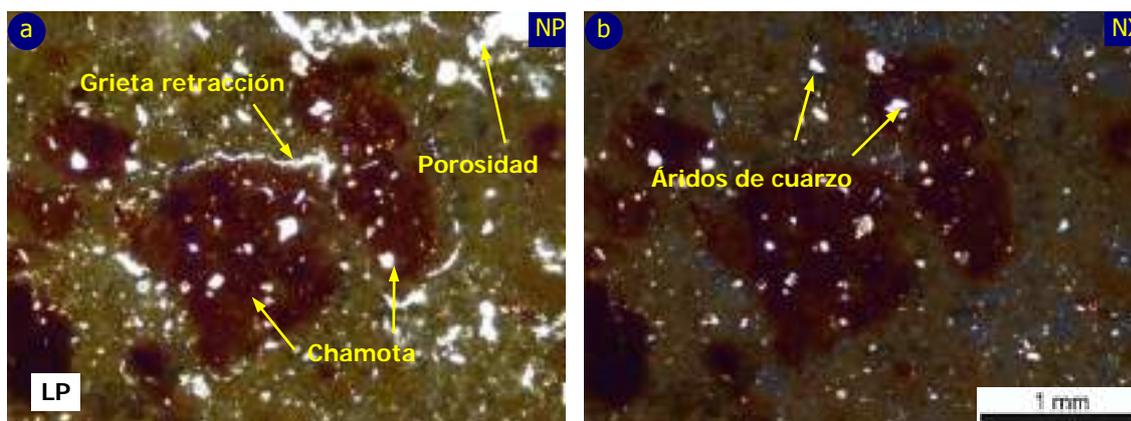


Fig.5.24. Aspecto general del ladrillo original que conforma la escalera del patio inglés de la nave Suroeste (muestra LP). Nícoles paralelos (NP) y nícoles cruzados (NX).

5.4.6.c. Caracterización mineralógica (muestra LP)

La Difracción de Rayos X realizada (figura 5.25) ha confirmado la presencia de cuarzo (sus tres reflexiones de mayor intensidad en los ángulos $2\theta = 26,64^\circ$, $20,84^\circ$ y $50,14^\circ$) como constituyente principal de la pasta cerámica empleada para la fabricación del ladrillo caracterizado. Ha permitido también la identificación de feldespato potásico, concretamente microclina, y anortita (reflexiones de máxima intensidad obtenidos en los ángulos $2\theta = 27,5^\circ$ y $2\theta = 27,88$ respectivamente), de wollastonita (reflexión característica en el ángulo $2\theta = 30,06^\circ$), diópsido (su pico de mayor intensidad aparece en el ángulo $2\theta = 29,86^\circ$) y gehlenita (reflexión de máxima intensidad en el ángulo $2\theta = 31,28^\circ$).

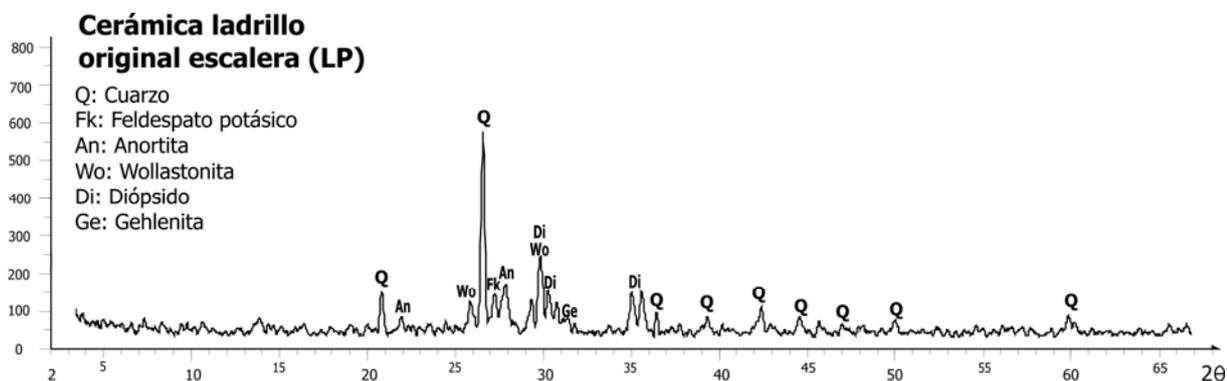


Fig.5.25. Difractograma de Rayos X de la cerámica utilizada para la elaboración del ladrillo original que configura la escalera del patio inglés de la nave Suroeste (muestra LP).

Tabla 5.2. Parámetros cromáticos, caracterización petrográfica y mineralógica de las cerámicas.

| CERÁMICAS | CIELAB | Análisis petrográfico (MOP) | | | | Caracterización mineralógica (DRX) | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|--------|--------|---------|------------------------------------|-----|-----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|
| | | a:p | Pellas | Opacos | Chamota | Q | Fts | Ill | Hm | Wo | Di | Ge | An | | | | |
| Paneles cerámicos | Originales (PC ₁) | L* = 67,42 a* = 13,83 b* = 21,75 | 3:1 | Sí | Sí | Sí | X | | | | | | | | | | |
| | Sustitución (PC ₂) | L* = 66,58 a* = 20,69 b* = 27,06 | 3:1 | No | Sí | No | X | | X | | | | | | | | |
| Mosaico azulejos | Original (MA ₁) | L* = 73,27 a* = 9,90 b* = 20,21 | 1:3 | No | No | No | X | X | | X | X | X | X | X | X | X | X |
| | Reposición (MA ₂) | L* = 75,85 a* = 5,44 b* = 23,18 | 3:1 | No | No | No | X | | | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Ladrillos (originales) | Fábrica (LM) | Ver texto | 1:2 | No | No | No | X | X | | X | | | | | | X | X |
| | Patios (LP) | L* = 72,97 a* = 9,00 b* = 26,51 | 1:4 | No | No | Sí | X | X | | | X | X | X | X | X | X | X |

Tabla 5.3. Principales resultados obtenidos tras la caracterización de los esmaltes mediante MOP y MEB-ER.

| ESMALTES | Tonalidad | CIELAB | Descripción petrográfica (MOP) y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM-EDS) | | | | | | |
|--------------------------------|---------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------|
| | | | Espesor | Contacto E-P | Burbujas | Lustre ⁽¹⁾ | Lustre ⁽²⁾ | Varios | |
| Paneles cerámicos | | | | | | | | | |
| Originales (PC ₁) | Azulada | L* = 63,09 a* = -10,18 b* = -3,18 | ±cte | Continuo | Sí | | Aplicado | Observado | Heterogéneo |
| | | | 200 µm | Irregular | 100 µm | | Espesor ±20 µm Constituido por Ca | Elaboración artesanal | |
| Sustitución (PC ₂) | Verde-azulada | L* = 56,38 a* = -19,75 b* = -3,46 | Cte | Nítido | No | | Aplicado | No observado | Homogéneo |
| | | | 500 µm | Continuo | | | Aplicación semindustrial | | |
| Mosaico azulejos | | | | | | | | | |
| Originales (MA ₁) | Azul-verdosa | L* = 61,36 a* = -11,30 b* = -3,03 | Cte | Continuo | Sí | | No | Observado en MOP | Heterogéneo |
| | | | 330 µm | Irregular | Hasta 150 µm | | aplicado | Abundante Q | |
| Reposición (MA ₂) | Verde | L* = 52,56 a* = -14,95 b* = 17,39 | Cte | Recto | Sí | | No | No observado | Heterogéneo |
| | | | 450 µm | ±irregular | 25-90 µm | | aplicado | Abundante Q | |

⁽¹⁾Información sobre la aplicación de lustres indicada en la bibliografía consultada.

⁽²⁾Información sobre los lustres aplicados obtenida a partir de la caracterización realizada.

Tabla 5.4. Elementos químicos identificados mediante MEB-EDS en los esmaltes analizados.

| ESMALTES | Elementos químicos determinados mediante análisis semicuantitativo con microanálisis EDS | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|---|----|---|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | Na | Mg | Al | Si | S | Cl | K | Ca | Ti | V | Cr | Fe | Cu | Zn | As | Zr | Sn | Sb | Pb |
| Paneles cerámicos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Original (PC ₁) | | | x | x | | | x | x | x | | x | | | | | x | | | x |
| Sustitu. (PC ₂) | x | | x | x | x | x | x | x | | | x | x | x | | | | x | x | x |
| Mosaico azulejos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Original (MA ₁) | x | | x | x | | | x | x | | | | | | | | | | | x |
| Resposi.(MA ₂) | x | x | x | x | | | x | x | | x | | | | x | | | | | x |

Aquellos elementos cuantitativamente más abundantes en cada una de las muestras son indicados en negrita.

5.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.5.1. Motivos que condicionaron el empleo de cerámicas decorativas en el Hospital de Jornaleros

Son varios los aspectos que influyeron en la utilización de cerámicas decorativas en las fachadas del Hospital de Maudes (Pérez-Monserrat et al. 2013), concebida desde el principio a partir del interés de Palacios por incluir el color y la cerámica a la arquitectura, así como su preocupación por recuperar las técnicas y oficios artísticos. Con los paneles cerámicos el artífice quiso otorgar luz y movimiento a las fachadas, empleando la técnica *trencadix* posiblemente como signo de identidad del movimiento moderno. Considerando que al término de la construcción se debieron ajustar al máximo los presupuestos y que la decoración de las enjutas se correspondía con una operación realizada a la finalización de la obra, la carencia del mosaico de azulejos originariamente en la práctica totalidad de las enjutas pudo deberse bien a que su eliminación (tanto del material como de la mano de obra) resultaría muy apropiada para la reducción de costes, bien simplemente a las prisas de última hora.

Por otro lado, y teniendo muy en cuenta además las cerámicas que revisten los paramentos interiores (principalmente en los zócalos, arrimaderos y escaleras), estos materiales participaban del ambiente agradable que Palacios quiso proporcionar a la construcción, colaborando de la hospitalidad que el arquitecto pretendía sintieran los enfermos cuando ingresaran y durante su convalecencia. También considerar, sobre todo en cuanto a los materiales cerámicos de los paramentos interiores se refiere, el carácter higienista que debe tener toda construcción hospitalaria, resultando los materiales cerámicos fáciles de limpiar.

5.5.2. Técnicas analíticas para el mejor conocimiento de la tecnología de elaboración de los materiales cerámicos empleados en el Antiguo Hospital

Analizando conjuntamente la información obtenida a partir de las tres técnicas de caracterización empleadas (MOP, DRX y MEB-EDS) se establecen claras diferencias entre las piezas originales y las de sustitución, tanto en las cerámicas como en los esmaltes analizados (tablas 5.2, 5.3 y 5.4). Los datos obtenidos aportan información sobre las materias primas empleadas y la fabricación de las piezas cerámicas caracterizadas (Pérez-Monserrat et al. 2013), permitiendo además contrastar la información consultada, especialmente en cuanto a la temperatura de cocción de las cerámicas se refiere (tabla 5.5). Se exponen los aspectos más relevantes que han resultado en parte comunes a las muestras analizadas, indicándose a continuación separadamente a las mismas.

La intensa tonalidad oscura observada en la franja superficial de las cerámicas de los paneles cerámicos (originales y de sustitución) así como del mosaico de azulejo original (figuras 5.5.c, 5.9.d y 5.13.a), probablemente responda al mayor calentamiento producido en esta zona, al experimentar un doble recocido (cocción de la pasta cerámica y, posteriormente, del esmalte).

La no identificación de compuestos de hierro mediante DRX en cerámicas que bien por su tonalidad, bien porque la documentación consultada hace referencia al empleo de materia prima arcillosa y/o aditivos ricos en hierro, puede deberse a que en las fracciones analizadas existan geles de hierro que no han podido ser identificados con el difractor empleado. De este modo, así puede haber sucedido con las pastas de los paneles cerámicos, originales y de sustitución (figuras 5.5.c y 5.9.d). Señalar también que la tinción ferruginosa observada en MOP en las pastas de los mosaicos de reposición (figura 5.17.a) y de los ladrillos de fábrica (figura 5.21.a) puede responder a la presencia tanto de óxidos de hierro como de geles de hierro heredados de la materia prima (Kreimeyer 1987). Por otro lado, si bien la identificación de hematites mediante DRX señalaría la presencia en la arcilla de partida de óxidos de hierro, debe tenerse en cuenta que estos óxidos pueden generar a su vez cristales de hematites durante la cocción (Sebastián y Cultrone 2003).

La identificación mediante DRX de la paragénesis mineral de alta temperatura wollastonita, dióxido y ghlenita revela que la materia prima de partida se correspondía con arcillas calcáreas y algo magnésicas¹⁷ (López-Arce et al. 2003, 2005, López-Arce 2004), señalando la presencia de estas fases de alta temperatura, junto con la ausencia de filosilicatos y carbonatos, temperaturas de cocción superiores a los 900°C (López-Arce et al. 2003, 2005, López-Arce 2004). Así sucede en las cerámicas de los mosaicos de azulejo, originales y de sustitución (figuras 5.14 y 5.18). Si también se identifica anortita, se puede afirmar la utilización de una tecnología que permitiera alcanzar temperaturas superiores a los 1.000°C, alcanzadas para la elaboración de los ladrillos de los jardines (figura 5.25). Como las arcillas calcáreas inhiben la formación de hematites durante el proceso de cocción (Maniatis et al. 1981), la presencia de hematites en cerámicas elaboradas con arcillas calcáreas, nuevamente las pastas de ambos mosaicos de azulejos (figuras 5.14 y 5.18), señalaría que esta materia prima arcillosa de partida también contenía óxidos de hierro.

5.5.2.a Paneles o paños cerámicos (originales y de sustitución): cerámicas y esmaltes

La elevada cantidad de cuarzo que presentan las pastas de los paneles cerámicos originales confirmaría el empleo para su fabricación de arcillas a las que se añadió una importante cantidad de cuarzo (sílice de Bernuy). Puesto que las arcillas rojas empleadas correspondían a un material muy blando y el cierre de fronteras impidió a Zuloaga emplear los aditivos que acostumbraba (Perla 1990), la sílice fue añadida, en parte, para mejorar la resistencia de la materia prima arcillosa. Las pellas arcillosas observadas indican que la homogenización de la materia prima pudo resultar algo incompleta (Morales 2005), debido fundamentalmente a la fabricación artesanal de las piezas. Además de la sílice, también se añadió chamota para incrementar la resistencia de las piezas cerámicas, formándose grietas de retracción entorno a la misma debido principalmente a las contracciones producidas durante el enfriamiento de las piezas cerámicas. La heterogeneidad textural en cuanto al tamaño del árido se refiere podría indicar que si bien se cuidó la procedencia del árido seleccionado a añadir (sílice de Bernuy), no se prestó la misma atención en cuanto a su tamaño¹⁸.

El empleo de arcillas rojas ricas en óxidos de hierro señalado por Perla (1990) y Rubio-Celada (2004), la tonalidad que muestran las cerámicas *de visu* (figura 5.4.b), la presencia de minerales opacos observados mediante MOP (figura 5.5) y/o el incremento puntual de hierro (Fe) detectado en la pasta mediante EDS (análisis lineal figura 5.7) señalarían la existencia de óxidos de hierro, si bien no se ha identificado compuesto alguno de hierro mediante DRX (figura 5.6). Por otro lado, no han podido confirmarse las elevadas temperaturas de cocción indicadas por Rubio-Celada (2004), pues en la fracción analizada no existen y/o no se han identificado fases minerales que revelen altas temperaturas de cocción. Ahora bien, puesto que la concentración de cuarzo disminuye drásticamente a los 1.100°C (Trindade et al. 2009), la significativa presencia de cuarzo en la fracción analizada (figura 5.6) señalaría que no se pudieron alcanzar los 1.200°C referidos por Rubio-Celada (2004). No obstante, puesto que estas piezas se elaboraron manualmente, es muy probable que, según la posición que ocupaban en el horno, en algunas sí pudieran alcanzarse los 1.200°C. La tonalidad oscura de la cerámica, observada mediante MOP (figura 5.5), sí podría deberse a unas altas temperaturas de cocción (López-Arce et al. 2003), resultando interesante analizar mediante MEB al grado de vitrificación de la cerámica (López-Arce 2004).

¹⁷ La materia prima arcillosa calcárea de partida, además del carbonato cálcico (calcita), debía presentar cierto contenido en carbonato cálcico-magnésico (dolomita), permitiendo su descomposición la liberación de MgO, que al reaccionar con los silicatos de la arcilla formara el dióxido (silicato cálcico magnésico).

¹⁸ Quiere indicarse que, tal vez, esta heterogeneidad en el tamaño de grano pudiera haber sido intencionada, pues en materiales pétreos artificiales una granulometría variada permite el mejor empaquetamiento de los áridos (Cazalla y de la Torre 2003).

Las cerámicas elaboradas hacia 1984 para la sustitución de los paneles cerámicos originales se elaboraron con barros extraídos en las cercanías de Valdemorillo (Madrid) y arenas de Segovia, añadiéndose abundante cuarzo y chamota (Perla 1990). Pues bien, la importante cantidad de cuarzo (figuras 5.9 y 5.10) se correspondería con la adición de cuarzo a las arenas de Segovia para conseguir pastas resistentes. No se ha observado chamota alguna, si bien los restos arcillosos que algunos poros presentan en su interior (figura 5.9.c) podrían corresponderse con chamotas. La homogeneidad textural principalmente en cuanto al tamaño del árido y a su orientación en la cerámica es debida a la mecanización parcial con la que se elaboraron las piezas (Perla 1990), indicando que posiblemente el proceso incluyó la extrusión de las pastas. También señalaría que se prestó especial atención a la selección del árido silíceo y a su homogeneización con la materia prima arcillosa, respectivamente. La corona de intensa tonalidad oscura que presentan algunos áridos, podría corresponderse con bordes de reacción generados al interaccionar éstos con la matriz arcillosa.

La documentación consultada no ofrece referencia alguna respecto al color y/o presencia de hierro en la arcilla. La coloración rojiza-marrón de la cerámica (figura 5.8.b) y la existencia de minerales opacos (figura 5.9), podrían señalar la presencia de óxidos de hierro en la materia prima utilizada. Sin embargo, tampoco se ha identificado compuesto alguno de hierro en la fracción analizada mediante DRX (figura 5.10) ni se ha detectado un contenido significativo de hierro (Fe) en la cerámica mediante el análisis lineal realizado con MEB-ER (figura 5.11). Aunque las fases minerales identificadas, cuarzo e illita, no permiten establecer rangos de temperatura de cocción, la presencia de illita indicaría temperaturas no muy superiores a los 900°C, pues a partir de esta temperatura comienza su descomposición (López-Arce et al. 2003). Sin embargo, Perla (1990) señala que estas pastas cerámicas fueron cocidas a unos 1.200-1.250°C, dato que además resulta coherente con la intención de emplear pastas refractarias que resistieran mejor las condiciones ambientales. Tal vez, la illita corresponda a relictos de arcilla que no llegaron a fundir. Los filosilicatos observados (figura 5.9.d) podrían haberse formado por alteración de feldespatos existentes, bien en la materia prima arcillosa bien añadidos a la misma.

En los esmaltes aplicados sobre las piezas originales de los paneles, el contacto irregular esmalte-pasta y su heterogeneidad textural reflejan su elaboración y aplicación artesanal. Se conserva parcialmente el lustre (figuras 5.5.d y 5.7) aplicado para conseguir el reflejo metálico (Perla 1990), que si bien se conseguía mediante el empleo de cobre, el principal elemento constituyente del lustre analizado es el calcio (figura 5.7). Este elemento, añadido fundamentalmente como calcita, facilita la adherencia del esmalte a la cerámica y, en pequeñas cantidades, mejora el brillo del esmalte, disminuyendo la solubilidad del plomo y, por tanto, del color amarillento que genera (Morales 2005). Se confirma la adición de sodio y potasio (Perla 1990), si bien no se ha identificado estaño. Las partículas con un contenido significativo en vanadio pudieron añadirse para otorgar la tonalidad azulada al esmalte, pues aunque el vanadio también actúa como fundente existe un compuesto denominado azul turquesa de Zr-V (Vielhaber 1954), pudiendo formar parte de este pigmento igualmente el zirconio identificado.

Sobre los esmaltes elaborados en los años ochenta para la sustitución de los paneles cerámicos originales se aplicaron lustres (Perla 1990), si bien no se han sobre el esmalte analizado. Su homogeneidad textural así como su contacto regular con la cerámica (figura 5.11), responden a su fabricación y aplicación en gran parte mecanizada. El color verde-azulado mayormente responde a la presencia de óxidos de cobre y/o de hierro (figura 5.11). El sodio, potasio y calcio identificados formarían parte, en gran medida, de los feldespatos, caolín y calcita utilizados para la fabricación del esmalte (Perla 1990). La capacidad opacificante del estaño (Tite et al. 1998) pudo haber sido parcialmente sustituida y/o reforzada con la adición de óxidos de zinc (Tulyaganov et al. 2007). El antimonio podría haberse añadido como agente opacificante (Vielhaber 1954) y la presencia del cloro puede deberse al empleo de cloruro sódico, por la capacidad fundente del sodio (Rincón et al. 1991, Díaz et al. 1993).

5.5.2.b. Mosaico de azulejos o *trencadiç* (original y de sustitución): cerámicas y esmaltes

Se recuerda que para revestir la cubeta de la fuente del patio central originariamente se emplearon fragmentos sobrantes de los azulejos que decoraban los paramentos interiores del edificio, fabricados en Sevilla por la casa Ramos Rejano (Perla 1990, 2001). En una primera aproximación, la cantidad de áridos de cuarzo observada mediante MOP (figura 5.13), señalaría que se añadió poca cantidad de sílice a la arcilla de partida. Esto pudiera deberse a que, dada su localización en el interior del inmueble, estas piezas cerámicas no requerían una resistencia especialmente elevada. La ligera heterogeneidad textural observada (figura 5.13), respecto al grado de empaquetamiento de la pasta y distribución del árido de cuarzo, podría deberse a que la homogeneización artesanal de las materias primas resultara algo incompleta.

En la documentación consultada no se ha encontrado dato alguno referente a las temperaturas de cocción alcanzadas por la casa Ramos Rejano para la elaboración de las cerámicas que revestían los paramentos interiores del Antiguo Hospital. Esta casa sevillana, manejaba temperaturas de cocción que como mucho alcanzaban los 980°C (a partir de una conversación mantenida con Abraham Rubio-Celada). La ausencia de filosilicatos y carbonatos así como la presencia de las fases de alta temperatura wollastonita, dióxido y gehlenita en la pasta, revelan que las temperaturas de cocción alcanzadas en los hornos del ceramista Manuel Ramos Rejano debieron ser muy superiores a los 900°C, pues si bien el rango de estabilidad de la gehlenita comprende los 800-900°C, puede permanecer a temperaturas algo superiores y coexistir con la wollastonita, que empieza a formarse a partir de los 900°C (López-Arce et al. 2003, López-Arce y García Guinea 2005, López-Arce 2004).

Señala Perla (1990) que los azulejos colocados en la restauración del *trencadiç* original de la fuente en los años 80 correspondían a fragmentos sobrantes de las cerámicas elaboradas para la reposición de los materiales cerámicos que decoraban los paramentos interiores. La homogeneidad textural observada en la cerámica mediante MOP (figura 5.17), indica cierto grado de mecanización durante su elaboración. Comenta también Perla (1990) que en la fabricación de las cerámicas destinadas a la reposición de los zócalos cerámicos interiores se utilizaron arenas de El Molar, pasta de mimbre y barros rojos.

Pues bien, la elevada cantidad de áridos de cuarzo observada en MOP (figura 5.17) se podría corresponder con la adición de arenas de El Molar a la arcilla de partida, también para otorgar mayor resistencia a las pastas. Por otro lado, la tonalidad amarillenta de la cerámica (figura 5.16.b), que en parte fue proporcionada por el empleo de la pasta de mimbre, también podría indicar que la materia prima arcillosa presentaba una composición calcárea (Álvarez de Buergo 1997)¹⁹, identificándose precisamente mediante DRX las fases wollastonita, dióxido y gehlenita (figura 5.18). Por otro lado, la no identificación de anortita y la presencia de gehlenita y wollastonita en las pastas de los azulejos de reposición podría deberse a un menor contenido de calcio y/o de sílice en las arcillas empleadas para su elaboración (Riccardi et al. 1999). La identificación de hematites mediante DRX (figura 5.18) confirmaría la presencia en la arcilla de partida (barros rojos) de óxidos de hierro, si bien el color de la pasta en muestra de mano (figura 5.16.b) no parece indicar la utilización de barros rojos. La tonalidad oscura que observada en la pasta mediante MOP (figura 5.20.a) respondería a unas elevadas temperaturas de cocción (López-Arce et al. 2003), confirmando la paragénesis mineral identificada (wollastonita, dióxido y gehlenita) los 1.030°C indicados por Perla (1990) que se alcanzaron en la cocción de las cerámicas elaboradas para la reposición de los zócalos interiores en la Escuela Cerámica de Madrid.

¹⁹ También esta coloración podría indicar el empleo de una arcilla rica en esmectitas, desaparecidas durante la cocción (López-Arce 2004).

Respecto al esmalte del *trencadiç* original, si la fina capa superficial observada únicamente mediante MOP (figura 5.13.d) se correspondiera con un lustre, indicaría que en las piezas originales destinadas a la decoración de los paramentos interiores también se aplicaron lustres. Si bien la casa Ramos Rejano empleaba cobre para la obtención del verde (Gestoso 1903), este elemento no ha sido identificado (figura 5.15).

En el esmalte elaborado para los azulejos destinados a la restauración de la cubeta de la fuente en los años 80 caracterizado, se han determinado todos los elementos indicados por Perla (1990), plomo, sodio, potasio, silicio y aluminio (figura 5.19). El cromo, añadido como óxido de cromo, proporciona el color verde al esmalte, pudiendo participar el hierro en esta tonalidad (Vielhaber 1954), elemento que ha sido identificado mediante EDS (figura 5.19). El calcio y arsénico pudieron añadirse principalmente para otorgar brillo y como agente opacificante, respectivamente (Vielhaber 1954). No se ha observado lustre en el esmalte caracterizado, señalando que tal vez los azulejos destinados para la reposición de los zócalos cerámicos interiores carecieran de lustres.

5.5.2.c. Ladrillos estructurales (originales)

La morfología irregular de los bordes y la curvatura del ladrillo de fábrica caracterizado (figura 5.20.a) denota su dimensionado manual, elaborándose las piezas tal vez en los en los tejares que existían cerca del Antiguo Hospital (Checa 1982), con arcillas extraídas en sus proximidades, a la que se añadió cuarzo. La importante porosidad observada indicaría un prensado insuficiente de la pasta cerámica y su bajo grado de vitrificación, bien debido a una escasa permanencia de la pieza en el horno (Fort et al. 2004) o unas bajas temperaturas de cocción. La heterogeneidad cromática observada *de visu* (figura 5.20.b) revelaría, por un lado, su cocción en atmósferas no controladas, siendo al principio en medio reductor y al final oxidante, de ahí que la pieza muestre una tonalidad oscura en el centro y más rojiza hacia el borde. Por otro, también la posible presencia de materia orgánica en la arcilla de partida, que favorece la creación en el interior de las piezas de condiciones reductoras, originando un color oscuro (corazón negro) en el núcleo (Sebastián y Cultrone 2003). Si bien el ladrillo del muro desempeña una función estructural, puede que, al tratarse de una pieza que no resultaba vista, no se prestara especial cuidado a su dimensionado, prensado y/o cocción, de ahí la importante heterogeneidad textural también observada en MOP en cuanto a su tonalidad y grado de compactación se refiere (figura 5.21.a).

El color rojizo de la cerámica indicaría que la arcilla empleada como materia prima era rica en óxidos de hierro, identificándose hematites mediante DRX (figura 5.22). La identificación de de gehlenita y anortita indicaría la utilización de una mezcla arcillosa constituida por arcillas caoliníticas y calcita, en la que durante el proceso de cocción hubiera tenido lugar la reacción de recristalización según la secuencia metacaolinita-gehlenita-anortita, favorecida en gran parte por la similitud estructural que presentan estas tres fases minerales y acelerada por la sustitución del aluminio de la caolinita por hierro (González-García et al. 1990, Traoré et al. 2003). Aunque su heterogeneidad textural indica unas bajas temperaturas de cocción, la presencia de las fases gehlenita y anortita indicaría que la temperatura alcanzada en la zona intermedia de los ladrillos de fábrica debió superar los 950°C.

En cuanto al los ladrillos que conforman la escalera del patio inglés, la regularidad de las piezas y la hendidura que presentan (figura 5.23.a) denotan un proceso de fabricación que implica cierto grado de mecanización. Su aspecto, en general compacto, responde a un cuidado prensado de la pasta cerámica. La tonalidad más clara observada en el borde de la pieza (figura 5.23.b), pudo haberse producido durante la cocción de la pieza debido a la existencia de una atmósfera no controlada en el horno. Sin embargo, más bien parece tratarse de una forma de deterioro generada por la exposición del ladrillo a las condiciones atmosféricas o corresponderse con procesos de recristalización de carbonato cálcico en la superficie del ladrillo relacionados con la disolución de los morteros adyacentes, si éstos fueran de cal (López-Arce et al. 2005).

La baja cantidad de áridos de cuarzo observada, hace pensar que formaran parte en gran medida de la materia prima arcillosa y no que fueran añadidos. Sin embargo, para otorgar un elevado grado de refractariedad a las cerámicas, pues las piezas debían ser resistentes a los agentes ambientales, se añadió una abundante cantidad de chamota, de ahí la heterogeneidad cromática de la pieza. Por su tonalidad, esta chamota debe ser rica en óxidos de hierro, si bien no ha sido identificado compuesto alguno de hierro en la fracción arcillosa analizada mediante DRX (figura 5.25), debido posiblemente al motivo ya explicado. Igualmente, las grietas de retracción formadas alrededor de la chamota fundamentalmente responden a la contracción de las mismas durante el enfriamiento de la cerámica. La permanencia en el horno también debió ser ciertamente prolongada, permitiendo un mayor grado de vitrificación de las muestras y que las reacciones para la formación de las fases de alta temperatura (abundante wollastonita, diópsido y anortita y, prácticamente ausente, gehlenita, figura 5.25) fueran más completas (Fort et al. 2004).

Puede afirmarse que los ladrillos de los patios fueron elaboradas con una materia prima arcillosa similar a la empleada para la fabricación de las cerámicas que originariamente revestían los paramentos interiores del Antiguo Hospital (MA₁), esto es, arcillas calcáreas y algo magnésicas. Aunque la funcionalidad y ausencia de decoración de estas piezas no debía merecer los costes de transporte, tal vez fueran fabricadas por la casa Ramos Rejano, siendo trasladadas junto con los azulejos destinados para la decoración de los interiores.

Si bien en las cerámicas tanto del mosaico de azulejos, original y de reposición, como de los ladrillos de los patios se han identificado mediante DRX la paragénesis de alta temperatura, wollastonita-gehlenita-diópsido, también anortita en los azulejos originales y ladrillos de los patios (figuras 5.14, 5.18 y 5.25), a partir de la intensidad en las reflexiones características se establecen diferencias en cuanto a las temperaturas de cocción alcanzadas. Por un lado, atendiendo a los difractogramas de las pastas en los mosaicos de azulejos (figuras 5.14 y 5.18), la mayor intensidad en la reflexiones de la gehelenita en los originales señalaría una menor temperatura de cocción (950-980°C) que la alcanzada para los de reposición (1.030°C). Por otro, si bien las temperaturas de cocción para las pastas cerámicas de los azulejos de reposición y de los ladrillos de los patios estuvieron muy por encima de los 900°C, la mayor intensidad de las reflexiones correspondientes a las fases diópsido y wollastonita en los ladrillos (figura 5.25) indicaría temperaturas que superaron los 1.030°C, disminuyendo drásticamente la intensidad de la reflexión de la gehelenita con el aumento de la temperatura. Este dato indicaría que los ladrillos de los patios no fueron elaborados en la casa sevillana de Ramos Rejano pues, como comentó Abraham Rubio-Celada, esa casa trabajaba con temperaturas que no alcanzaban los 950-980°C. Por tanto, se puede afirmar que las pastas de los azulejos originales (Ge >Di, Wo y An) fueron cocidas a menor temperatura (>800°C) que las de los de reposición (Ge ≈ Di y Wo; >>900°C) y que éstas últimas a menor temperatura que las pastas de los ladrillos de los patios (Ge <Di, Wo y An; >1.000°C). Teniendo en cuenta que estos ladrillos se colocarían a la intemperie, estas elevadas temperaturas otorgarían mayor grado de refractariedad a las piezas cerámicas.

Finalmente, señalar que las burbujas observadas en los esmaltes se generan en gran medida durante su proceso de cocción, principalmente por el desprendimiento de los gases que contiene la cerámica infrayacente. También durante la cocción de las cerámicas pueden desprenderse pequeñas cantidades de CH₄ y NO_x y, en mayor medida, de CO y CO₂ (Toledo et al. 2004). En ocasiones, la expulsión en el horno de gases albergados en las piezas cerámicas puede originar cierta textura esponjosa en las mismas (Freestone y Middleton 1987). En los esmaltes donde se han observado burbujas, éstas son más abundantes en aquellos aplicados sobre las cerámicas de los azulejos, elaboradas a partir de arcillas ricas en calcio, pues la calcinación del carbonato cálcico origina el desprendimiento de burbujas de CO₂ (Rincón y Romero 2000, Jordán et al. 2005).

Tabla 5.5. Documentación consultada e información aportada por la caracterización realizada (en cursiva).

| Documentación consultada | | | Resultados caracterización | | | | |
|--------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Ceramista | Materias primas | | Elaboración | Arcilla | Aditivos | T cocción | Elaboración |
| Localidad | Arcilla | Aditivos | | | | | |
| Paneles cerámicos (PC ₁ y PC ₂) | | | | | | | |
| Zuloaga, | Arcillas rojas | Abundante | Horno leña pino | Arcillas rojas | Abundante | No superior | <i>Homogeneización</i> |
| Segovia 1914 | de Segovia, ricas en OxFe | sílice de Segovia | Atm, Oxidante 1.200°C | | cuarzo y <i>chamota</i> | a 1.100°C; 1.200°C no se descarta | <i>incompleta (pellas)</i> Artesanal |
| Madrid ±1985 | Arcilla de Madrid | Tierras Segovia, cuarzo y <i>chamota</i> de Teruel | Horno eléctrico Atm, Oxidante Semimanual 1.200-1.250°C | Arcillas | Abundante cuarzo | Sin confirmar la indicada en documentación | <i>Homogeneización completa</i> <i>Semindustrial Extrusión pasta</i> |
| Mosaico Azulejos (MA ₁ y MA ₂) | | | | | | | |
| Ramos Rejano, Sevilla ±1915 | Sin datos | Sin datos | Sin datos | <i>Arcillas ricas en Ca (y/o algo de Mg) y con OxFe</i> | <i>Cuarzo escaso</i> | <i>Ge >Di, Wo y An >800°C</i> | |
| Escuela Cerámica Madrid ±1985 | Barros rojos | Pastas ricas Ca y arenas de Madrid | 1.030°C | <i>Arcillas con menos Ca (y/o algo de Mg) Si₂O y con OxFe</i> | Abundante cuarzo | <i>Ge ≈ Di y Wo >>900°C</i> | <i>Pastas más resistentes que las de los azulejos originales</i> |
| Ladrillos originales (LM y LP) | | | | | | | |
| | | Sin datos | | <i>Mezcla arcillas caoliniticas, ricas en OxFe, y calcita</i> | <i>Cuarzo</i> | <i>Ge y An >950°C</i> | <i>Prensado escaso Atm, no controlada Tejares cercanos Manual</i> |
| | | Sin datos | | <i>Arcillas ricas en Ca (y/o algo Mg)</i> | <i>Chamota muy abundante</i> | <i>Ge <Di, Wo y An >1.000°C</i> | <i>Muy cuidada Importante grado de mecanización</i> |

Todas las localidades indicadas se encuentran en España.

5.6. CONCLUSIONES

- Palacios concibió la utilización de materiales cerámicos en las fachadas para otorgar luz y movimiento así como que participaran del ambiente agradable que quiso proporcionar al hospital.
- Para la fabricación de los paneles cerámicos originales se emplearon arcillas rojas ricas en óxidos de hierro, añadiendo sílice y chamota para incrementar la resistencia de las pastas cerámicas; la fabricación de las piezas de sustitución apostó por conseguir unas pastas más resistentes mediante la adición de abundante cuarzo, incluyendo su extrusión. Para la fabricación de los azulejos de reposición, se procuró también elaborar pastas cerámicas más resistentes que las originales, mediante la adición de un mayor contenido de cuarzo y el empleo de temperaturas de cocción más elevadas. Los ladrillos de fábrica presentan un prensado insuficiente y su cocción se realizó en atmósferas no controladas, mientras que los de los patios fueron cuidadosamente elaborados, incrementando la resistencia de las pastas con la adición de mucha chamota.
- Para la elaboración de las pastas de los azulejos (originales y de sustitución) y de los ladrillos de los patios se emplearon arcillas ricas en calcio y/o con cierto contenido en magnesio. La identificación de hematites en las pastas de los azulejos originales señalaría que la materia prima arcillosa rica en calcio también podría contener óxidos de hierro. Las pastas de los azulejos originales alcanzaron menores temperaturas de cocción (>800°C) que las alcanzadas para elaborar los de reposición (>>900°C), y éstas últimas fueron cocidas a menor temperatura que las pastas de los ladrillos de los patios (>1.000°C). La paragénesis mineral de alta temperatura identificada en los ladrillos de los patios revela la utilización de una tecnología que permitiera alcanzar temperaturas >1.000°C. Para los ladrillos de fábrica se utilizó una mezcla arcillosa constituida por arcillas caoliníficas y calcita, con abundantes óxidos de hierro, y durante la cocción se superaron los 950°C.
- Para el esmalte aplicado en los paneles cerámicos originales principalmente se emplearon óxido de plomo y sílice. El elevado contenido en zirconio podría revelar la utilización ya entonces de óxidos y/o silicatos de zirconio en sustitución de los óxidos de estaño. La tonalidad azulada pudo otorgarse con la adición de vanadio y el lustre aplicado está constituido en su práctica totalidad por calcio. El esmalte sobre las piezas de los paños cerámicos de sustitución fue elaborado y aplicado con cierto grado de mecanización y, composicionalmente, cabe destacar su contenido en cloro y antimonio. Este esmalte presenta menor contenido en plomo que los esmaltes originales, y en el mismo la capacidad opacificante del estaño pudo haber sido parcialmente sustituida y/o reforzada con la adición de óxidos de zinc.
- Los esmaltes de los azulejos (originales y de sustitución) presentan un aspecto bastante similar y, posiblemente, sobre los esmaltes originales también se aplicó un lustre. En ambos, silicio y plomo son los elementos mayoritarios y el contenido en aluminio y potasio resulta especialmente significativo. La principal diferencia composicional se corresponde con la presencia en el esmalte de los azulejos de reposición de partículas con un importante contenido en calcio y arsénico.
- El estudio permite confirmar en gran parte la tipología y composición de las materias primas utilizadas y referidas en la documentación consultada. Se establecen claras diferencias entre los materiales cerámicos originales y de sustitución, tanto en las cerámicas como en los esmaltes analizados. Por otro lado, los datos obtenidos proporcionan información desconocida hasta la fecha sobre la elaboración de estos materiales, permitiendo en parte contrastar esta información con la disponible en la bibliografía consultada, especialmente en cuanto a las materias primas empleadas y a las temperaturas de cocción alcanzadas para las cerámicas. Se considera por tanto que el conocimiento aportado supone un criterio para establecer si los materiales cerámicos son originales o de sustitución, reflejando además la importancia de este tipo de estudios para la conservación y/o sustitución de materiales empleados en el patrimonio cultural.

CAPÍTULO 6. PIEDRA ARTIFICIAL Y MORTEROS EN LOS PARAMENTOS DEL ANTIGUO HOSPITAL

Diversas tipologías de piedra artificial y morteros, de revestimiento y de fábrica, son ampliamente utilizadas en el Antiguo Hospital, participando activamente de la textura aportada por los materiales pétreos a sus paramentos. Entendidos como materiales pétreos artificiales, también pueden pasar algo inadvertidos en el conjunto del inmueble, llegando incluso a mimetizarse con la piedra natural. Así, la piedra artificial y los morteros de revestimiento recuerdan en ocasiones a la caliza y/o al granito empleados en la construcción.

Por un lado, se atiende igualmente a la disposición que mostraban estos materiales en los paramentos en el año 2006, a los motivos que pudieron condicionar su utilización y a las modificaciones de las que han sido objeto entre 1916 y 2006. Las tipologías identificadas se han establecido principalmente en función del color y acabado superficial que presentan así como de la localización de los elementos constructivos que configuran o revisten. Si bien en esta ocasión apenas se ha localizado documentación referente a las intervenciones acometidas en estos materiales, la información gráfica consultada, especialmente la proporcionada por Fernando de Castro López-Villarino, ha permitido establecer que estos materiales han sido puestos en obra en diversas etapas de la historia del inmueble. Por otro lado, cada una de las tipologías identificadas se ha caracterizado mediante Espectrofotometría, MOP, DRX y MEB-EDS, estableciendo sus principales caracteres texturales y composicionales.

El análisis conjunto de la información obtenida a partir de la observación de estos materiales en los paramentos, en el 2006 y en otras etapas, y de la caracterización realizada permite establecer cierta relación entre los mismos así como con la piedra caliza utilizada en la construcción. Además, posibilita determinar que algunas de las tipologías identificadas son originales, otras fueron puestas en obra en la rehabilitación de los años 80 y otras en intervenciones anteriores o posteriores. Teniendo en cuenta que los morteros de fábrica existentes en sus paramentos han sido sustituidos en su práctica totalidad durante la intervención efectuada entre los años 2006 y 2008, se considera que la información aportada en este capítulo supone un valioso documento histórico al quedar recogido cómo eran estos morteros ya desaparecidos, participando en el mejor conocimiento y conservación del Antiguo Hospital.



Aspecto de la piedra artificial (izda.), mortero de revestimiento (centro) y mortero de junta (dcha.) en los paramentos del Antiguo Hospital en el año 2006 y durante la intervención acometida entre 2006-2008.

6.1. INTRODUCCIÓN

6.1.1. Elaboración de materiales pétreos artificiales

Frente a los materiales pétreos naturales, esto es, la piedra natural, los materiales pétreos artificiales son aquellos fabricados por el hombre, con medios manuales o mecánicos, empleando para su elaboración materias primas naturales. Entre este tipo de materiales principalmente se incluyen los morteros y la piedra artificial, cuyos constituidos por un árido, un ligante inorgánico y agua. Los morteros normalmente rejuntan piezas pétreas o cerámicas (morteros de junta o de fábrica) o cubren superficies, proporcionando protección y/o decoración (morteros de revestimiento). La piedra artificial se elabora tratando de imitar a la piedra natural, resultando su empleo más económico pues se trata de piezas fabricadas y dimensionadas. En España, a principios del siglo XX, la piedra artificial constituía un nuevo material que permitía fabricar “piedras” en taller (Crespo 2005).

El árido principalmente estabiliza el volumen, disminuye la retracción durante el secado y otorga la textura al mortero; generalmente es de composición silíceo o calcáreo y el empleo de áridos con dos intervalos de tamaño principales favorece su trabado con el ligante (Cazalla y De la Torre 2003). El ligante es el constituyente esencial de un mortero, pues posibilita su fraguado, siendo los principales ligantes el yeso, la cal y el cemento. Los morteros de yeso se forman mediante la cocción de yeso a temperaturas entre 110 y 160°C. Tras la cocción, el yeso es molido y se mezcla con agua, formándose de nuevo yeso durante el fraguado del mortero. En Madrid, a finales del siglo XIX se emplearon morteros de azufre¹, debido principalmente a su capacidad adhesiva y que, al aplicarse fundidos y endurecer a temperaturas inferiores a los 110°C, resultaban más fáciles de trabajar que los morteros de cal (Pérez et al. 2008). La cal viva o aérea (CaO, óxido de calcio) se obtiene por calcinación de la caliza a 800-1.200°C. Al añadirle agua, resulta la cal apagada o portlandita (Ca(OH)₂, hidróxido cálcico) que, en contacto con el CO₂ atmosférico, se transforma en carbonato cálcico o calcita (CaCO₃)².

El cemento es el producto que se obtiene al calcinar una mezcla de composición calcárea, normalmente margas calcáreas, y un constituyente secundario, principalmente arcillas (Cazalla y De la Torre 2003). Durante la cocción, primero se descomponen los silicatos en sílice, alúmina y óxido férrico (entre 400-800°C) y a mayor temperatura, entre 800-1000°C, tiene lugar la descomposición de los carbonatos en CaO y CO₃. Entre 900-1200°C, mediante la combinación de los óxidos obtenidos, se forman silicatos y aluminosilicatos cálcicos (tabla 6.1), fases minerales que constituyen el clínker de cemento y otorgan las propiedades hidráulicas, esto es, capacidad de endurecer y resistir bajo el agua. El clínker se muele y, para regular el fraguado, se añade yeso o anhidrita. Cuando el cemento se mezcla con agua, se produce su apagado o hidratación, reaccionando sus fases minerales con el agua. El apagado tiene lugar mediante reacciones exotérmicas, que liberan calor y elevan el pH por encima de 10, generándose fases hidratadas como portlandita (CH) y tobermorita (CSH) (Varas et al. 2007b). La presencia de portlandita implica una elevadísima alcalinidad en el cemento, que disminuye conforme se produce su carbonatación, de ahí que la portlandita sea más abundante cuanto menos contacto haya tenido el mortero con el CO₂ (Varas et al. 2005). Por otro lado, el grado de sulfatación del cemento también puede ser indicativo del tiempo que lleva puesto en obra, siendo más incipientes los procesos de alteración cuanto más reciente sea el cemento. Indican Sabioni et al. (2001) que la formación de etringita (CASH) confirma la naturaleza hidráulica del mortero, pues implica la reacción del yeso con los aluminatos cálcicos hidratados constituyentes de los morteros hidráulicos.

¹ Estos morteros de azufre también se emplearon en otras ciudades y en trabajos de restauración.

² Referido a la cal calcárea, elaborada con piedra caliza, existiendo igualmente la cal magnésica (MgO, óxido de magnesio o periclase), fabricada con dolomía y/o margas dolomíticas. A partir del apagado de la cal magnésica se obtiene el hidróxido magnésico o brucita (Mg(OH)₂), cuya carbonatación, al entrar en contacto con el CO₂, genera carbonato cálcico magnésico o dolomita.

Tabla 6.1. Principales fases minerales del cemento.

| Fase mineral | Composición | Formación |
|--------------|-------------|----------------------------------|
| Alita | C3S | Silicato tricálcico |
| Belita | C2S | Silicato bicálcico |
| Wollastonita | CS | Silicato cálcico |
| Celita | C4AF | Ferritoaluminato tetracálcico |
| Kilchoanita | C3S2 | Bisilicato tricálcico |
| C3A | C3A | Aluminato tricálcico |
| Gehlenita | CAS | Aluminosilicato cálcico |
| Portlandita | CH | Hidróxido cálcico |
| Tobermorita | CSH | Hidróxido cálcico hidratado |
| Etringita | CASH | Sulfoaluminato cálcico hidratado |
| Taumasita | CSSH | Sulfosilicato cálcico hidratado |

El cemento natural fue el precursor del cemento artificial o Portland, el cual sustituyó al primero rápidamente (Lea 1976, Varas et al. 2007a). Las principales diferencias entre ambos radican en las materias primas empleadas y en las temperaturas de cocción alcanzadas (Varas et al. 2005), en la tabla 6.2 se muestran las características fundamentales de ambos tipos de cementos (a partir de Aspiazu 1924³ y Balbas et al. 2001). En España, hasta la segunda mitad del siglo XIX los ligantes utilizados eran principalmente el yeso, la cal y la cal hidráulica, siendo sustituidos desde entonces por el cemento natural (Varas et al. 2005). El cemento natural fue muy utilizado hasta 1926, localizándose los principales centros productores en el País Vasco y Cataluña. Progresivamente, fue sustituyéndose por el cemento artificial y el inicio de la Guerra Civil supuso la práctica desaparición de la fabricación del cemento natural (Varas et al. 2007b).

Tabla 6.2. Principales características del cemento natural y artificial.

| | Naturales | Artificiales |
|-------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Origen | 1796 James Parker | 1824 Joseph Aspdin |
| Composición | Margas: 60-75% carbonatos 25-40% arcillas | Caliza pura (75-80% CO ₃ Ca) 20-25% arcillas |
| Calcinación | 800-1.200°C 8-20h | >1.300°C <8h |
| Fraguado | <12h | >1h |

La fase mineral belita (C2S) es más típica en los cementos naturales, al formarse entre los 900-1.200°C, si bien también puede observarse en los cementos artificiales aunque siempre con menor representatividad que en los naturales, y la alita (C3S) define los cementos artificiales, pues para que se genere deben superarse los 1.300°C (Lea 1976). La existencia de la fase mineral gehlenita (CAS) también permite la diferenciación entre ambos tipos de cementos, siendo característica de los cementos naturales al formarse a temperaturas inferiores a los 1.200°C (Callebaut et al. 2001).

³ Aspiazu (1924) clasifica los cementos naturales en lentos y rápidos. Principalmente, los primeros son elaborados con margas cuyo contenido en arcillas es del 25-30% y fraguan en un tiempo <30 min, los segundos presentan un contenido en arcillas del 40% y un tiempo de fraguado entre 30 min-12h.

6.1.2. Tipologías de piedra artificial y morteros en los paramentos del Antiguo Hospital (año 2006)

La piedra artificial así como los morteros de fábrica y de revestimiento se emplean en las fachadas, mientras que en el muro perimetral sólo se utilizan morteros de fábrica⁴.

6.1.2.a. Piedra artificial (PA)

Según la ubicación de los elementos constructivos configurados con piedra artificial así como de las diversas tonalidades grises y acabados superficiales que presentan se reconocen tres tipologías:

- Piedra artificial tipo 1 (PA₁): con tonalidad gris oscuro y los elementos muestran en su cara anterior un acabado similar al observado en las piezas de caliza, con tiradas lisas en los bordes y una rugosidad superficial. Estas piezas constituyen todos los balaustres de menor tamaño y albardillas⁵ del pasamanos de todas las balaustradas, menos las de las naves diagonales, (figuras 6.1.b - 6.1.h) así como en las terrazas de los miradores. Se observa en el recrecido posterior de los pináculos pétreos que coronan los cuerpos semicirculares de la iglesia y la escalera absidal del patio central, amoldándose a la caliza (figura 6.1.j).
- Piedra artificial tipo 2 (PA₂): presenta similar tonalidad que la tipología anterior pero los elementos muestran todas sus caras lisas. Conforman los elementos de remate (pináculos y/o piezas semicirculares) en las torres del cuerpo central la iglesia (figura 6.1.a) y en todos los torreones de las naves (figuras 6.1.b y 6.1.c).
- Piedra artificial tipo 3 (PA₃): con tonalidad gris clara y superficie lisa. Están configurados con este material algunas piezas semicirculares de remate (figura 6.1.a), ciertas albardillas en el pasamanos del cuerpo de entrada (figura 6.1.e), los recrecidos posteriores observados en las balaustradas (figura 6.1.g) así como en el zócalo de los torreones exteriores, el sellado⁶ de la cara superior y posterior de algunos balaustres pétreos (figura 6.1.i) y la superficie curvada sobre la que asientan los balaustres de menor tamaño (figuras 3.7.a y 6.1.i).

6.1.2.b. Morteros de revestimiento (MRC y MRG)

Estos morteros recubren fábricas principalmente de ladrillo; se distinguen revestimientos con cuya aplicación posiblemente se pretendiera imitar a la piedra caliza (MRC) y otros que parecen pretender imitar al granito (MRG), diferenciándose a su vez diversas tipologías:

- Mortero de revestimiento imitación caliza tipo 1 (MRC₁): reviste la fábrica de ladrillo que configura la hoja interna de la portada de la iglesia (figura 6.1.l) y es empleado alternativamente en los antepechos bajo los vanos laterales de la puerta de entrada (figura 6.2.a). Se observa en la escalera absidal del patio central (figura 6.2.b) así como en los estrechos parapetos del nivel inferior de la nave Noroeste (figura 6.2.c) y del nivel medio de la nave Suroeste. Reviste el carguero sobre el que apoya el nivel cornisa en las naves (figura 6.2.d) y el empleado en los miradores⁷. En las figuras 6.1.l, 6.2.a, 6.2.b y 6.2.c, puede observarse la tonalidad y los diferentes acabados superficiales, muy marcados, que muestra este tipo de revestimiento.

⁴ Se indica que en el muro también se observaba el sellado inferior de la balaustrada (figuras 6.3.g y 6.5.i), la aplicación de un enfoscado en el trasdós en el jardín Oeste de la iglesia (retirado en la intervención de 2006-2008) y el revestimiento con un mortero de intensa tonalidad oscura de los antepechos en los paños de acceso desde la calle Raimundo Fernández Villaverde a las dependencias de la iglesia (1 en figura 3.8.a).

⁵ Las albardillas de las balaustradas en los torreones interiores (figuras 6.1.b y 6.1.c), en el cuerpo central de la iglesia (figura 6.1.d) y en las terrazas rectangulares de los torreones exteriores (1 en figura 3.2.a y figura 6.1.i) suponen cierta excepción, al mostrar su cara anterior lisa.

⁶ Este sellado se corresponde con un revestimiento, aunque por su localización y similitud con la tipología PA₃, se ha considerado piedra artificial.

⁷ Bajo el revestimiento imitación caliza (MRC₁) de la escalera absidal del patio central y del carguero se han observado elementos metálicos.

- Mortero de revestimiento imitación caliza tipo 2 (MRC₂): de tonalidad similar a la caliza, presenta dos tipos de acabados, uno con cierta rugosidad en las caras que conforman los diversos planos y otro liso para remarcar las aristas (figura 6.2.e). Recubre las fábricas de ladrillo de los torreones interiores, incluyendo los balaustres de mayor tamaño⁸ (figuras 6.1.b y 6.1.c), del cuerpo torreado central de la iglesia (figura 3.2.b), de los cuerpos que albergan las instalaciones, del patio de luces y de las ménsulas que soportan tanto los elementos en voladizo de los miradores (figura 6.1.k) como la pasarela metálica⁹. En los antepechos de los torreones exteriores se observa este mismo mortero, pero únicamente con el acabado superficial rugoso (figura 6.2.f).
- Mortero de revestimiento imitación granito tipo 1 (MRG₁): presenta diversas tonalidades grisáceas y una superficie lisa, observándose en algunas zonas del nivel inferior de las fachadas la impresión de un acabado superficial (figura 6.2.g). Recubre las fábricas de ladrillo de antepechos y/o alféizares¹⁰ en muchas fachadas. En la iglesia, aquellas de los dos cuerpos retranqueados comprendidos entre la portada principal y las dos torres de campanas, y las que constituyen sus dos cuerpos semicirculares (figura 6.2.g). También es empleado en las fachadas que unen el edificio principal con la iglesia (figura 6.2.h), de la biblioteca, del torreón del cuerpo de entrada (figura 6.1.c) y de los torreones exteriores (figura 6.2.f) e interiores¹¹.
- Mortero de revestimiento imitación granito tipo 2 (MRG₂): reviste las fábricas de ladrillo de las chimeneas de ventilación, ubicadas en las terrazas de las naves¹² (figura 6.2.i). Muestra una coloración gris y una superficie lisa, siendo distinto el mortero empleado en el pedestal de aquel que reviste el cuerpo de las mismas.

⁸ En la figura 6.9.c se observa la fábrica interna, de ladrillo, que constituye los paramentos y balaustres grandes en los torreones interiores.

⁹ Este mismo tipo de mortero también reviste la estructura metálica y de ladrillo de la zona inferior de la pasarela, siendo la fábrica interna de las ménsulas también de estructura metálica y ladrillo. La capa de pintura aplicada en la chimenea localizada junto a la iglesia, presenta un aspecto similar al mortero tipo MRC₁.

¹⁰ Como la documentación gráfica consultada ha permitido comprobar que la estructura interna de los alféizares del nivel inferior en la biblioteca (antigua sala de operaciones) se corresponde con fábrica de ladrillo (figura 6.9.d), es de suponer que así lo sea en todos aquellos que presentan morteros de revestimiento. Sin embargo, la documentación gráfica consultada no ha permitido establecer qué tipo de fábrica revisten los morteros empleados en los antepechos, que, presumiblemente, también debe ser de ladrillo.

¹¹ Tanto en los torreones exteriores como en los interiores de las naves, sólo los antepechos de las fachadas dirigidas hacia las terrazas de las mismas presentan los revestimientos que se han clasificado como MRG₁. En las demás fachadas, como se ha indicado, los antepechos están revestidos con mortero imitación caliza del tipo 2 (figuras 6.1.b y 6.2.f), con acabado superficial rugoso.

¹² Si bien esta tipología no se corresponde con material de fachada propiamente, pues reviste las chimeneas ubicadas en las terrazas, por su similitud con el granito de la construcción se ha considerado apropiado incluirlo como mortero imitación granito.

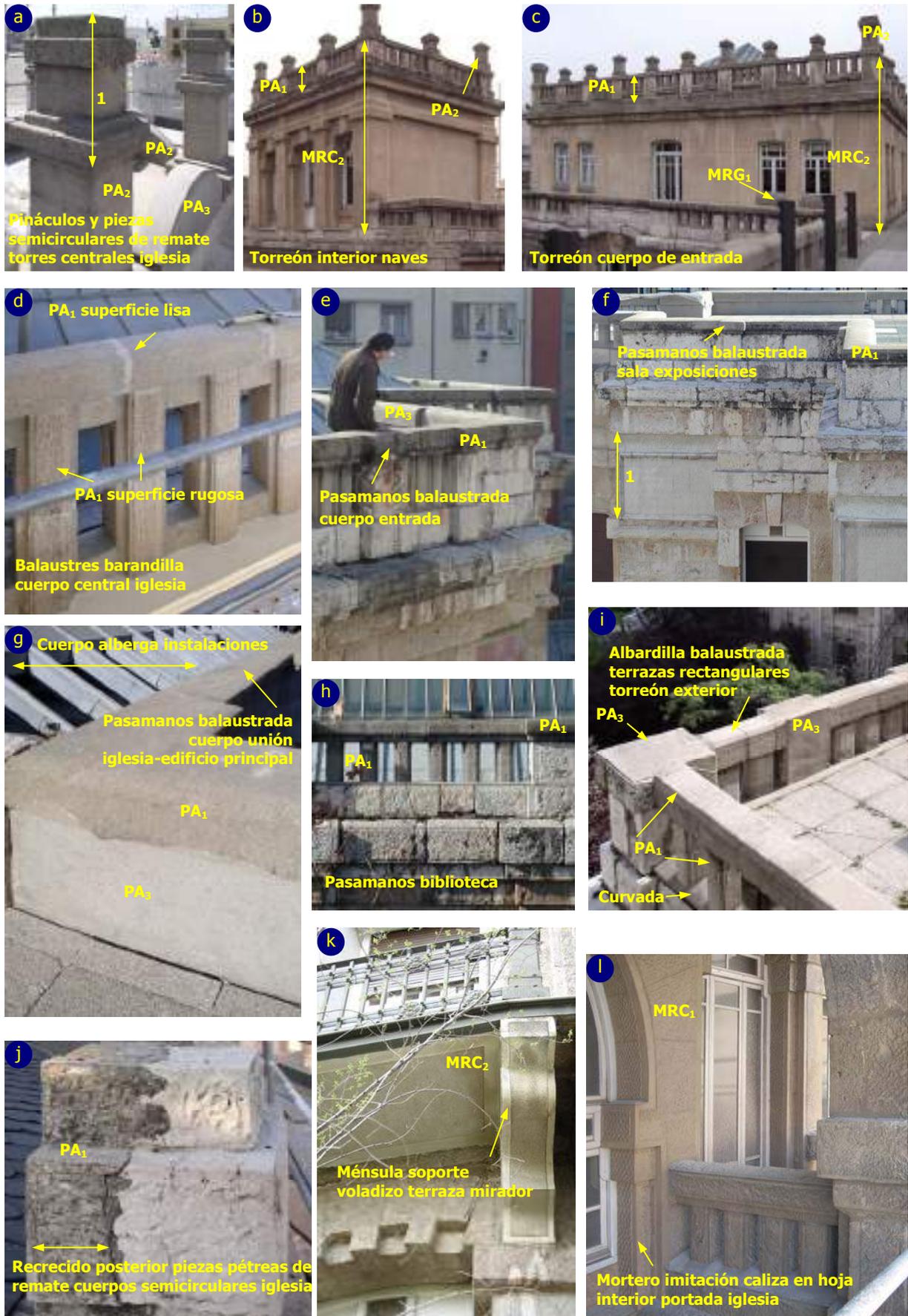


Fig.6.1. Tipologías de piedra artificial y morteros de revestimiento identificados en las fachadas (año 2006).

PA: piedra artificial, MRC: mortero revestimiento imitación caliza, MRG: mortero revestimiento imitación granito.

1: Friso corrido constituido por baldosas hidráulicas de tonalidad blanca en las fachadas de la sala de exposiciones.

La nomenclatura de los diversos materiales se corresponde con la indicada en la tabla 6.3.

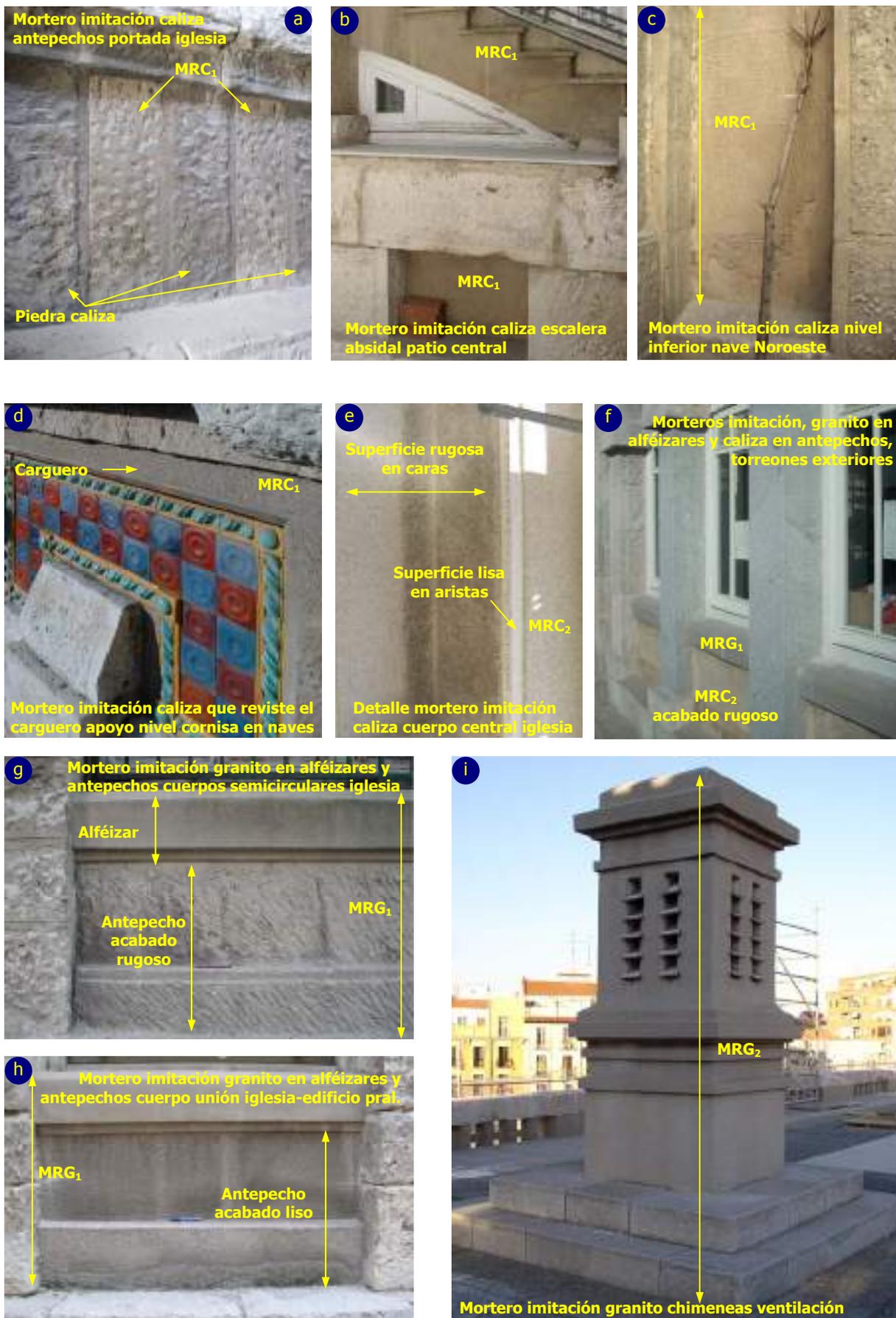


Fig.6.2. Morteros de revestimiento identificados en las fachadas y terrazas del Antiguo Hospital (año 2006).

MRC: mortero revestimiento imitación caliza, MRG: mortero revestimiento imitación granito.
La nomenclatura de los diversos materiales se corresponde con la indicada en la tabla 6.3.

Tabla 6.3. Piedra artificial y morteros de revestimiento identificados en las fachadas (año 2006).

| Piedra artificial (PA) | | Mortero revestimiento imitación caliza (MRC) | | Mortero revestimiento imitación granito (MRG) | |
|----------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------|---------|
| Tipologías | Figuras | Tipologías | Figuras | Tipologías | Figuras |
| Tipo 1 (PA ₁) | | Tipo 1 (MRC ₁) | | Tipo 1 (MRG ₁)* | |
| Balaustrés menor tamaño | 6.1.b-6.1.f, 6.1.h, 6.1.i | Hoja interna portada iglesia | 6.1.l | Retranqueo portada iglesia | x |
| Pasamanos** | 6.1.d-6.1.i | Antepechos entrada iglesia | 6.2.a | Cuerpos semicirculares iglesia | 6.2.g |
| Recrecido post. piezas remate | | Escalera absidal patio central** | 6.2.b | Unión iglesia-edificio principal | 6.2.h |
| Cuerpos semicirculares iglesia | 6.1.j | Nivel inferior nave NO | 6.2.c | Biblioteca | x |
| Escalera absidal | x | Nivel medio nave SO | x | Torreón cuerpo entrada | 6.1.c |
| Tipo 2 (PA ₂) | | Carguero | | Torreones exteriores naves | 6.2.f |
| Pináculos remate* | 6.1.a, 6.1.b, 6.1.c | Naves** | 6.2.d | Torreones interiores naves | 6.1.b |
| Piezas semicirculares remate | 6.1.a | Miradores | x | Tipo 2 (MGR ₂) | |
| Tipo 3 (PA ₃) | | Tipo 2 (MRC ₂)* | | Ventilación naves (pedestal) | 6.2.i |
| Piezas semicirculares remate | 6.1.a | Torreones interiores naves | 6.1.b | Ventilación naves (cuerpo) | 6.2.i |
| Albardillas balastrada cuerpo entrada | 6.1.e | Torreón cuerpo entrada | 6.1.c | *En antepechos y/o alfézares (fábrica interna de ladrillo) | |
| Recrecido posterior balastradas | 6.1.g | Cuerpo torreado central iglesia | 6.2.e | | |
| Recrecido zócalos torreones exteriores | x | Cuerpos instalaciones | x | | |
| Sellado balaustrés pétreos | 6.1.i | Patio de luces | x | | |
| Sup. curvada apoyo balaustrés menores | 6.1.i | Ménsulas** | | | |
| *Estructura interna de ladrillo | | Miradores | 6.1.k | | |
| **Piedra artificial en masa | | Pasarela metálica** | x | | |
| | | Antepechos torreones exteriores | 6.1.f | | |
| | | *Revisten fábricas de ladrillo | | | |
| | | **Armadura metálica interior | | | |

Con asteriscos únicamente se indican las fábricas internas de los elementos constructivos en los que se utiliza piedra artificial y/o morteros de revestimiento que han sido observadas, bien *in situ*, bien en la documentación gráfica consultada.

6.1.2.c. Morteros de junta en los paramentos (fachadas y muro)

En las fachadas se observaban dos formas principales de aplicación de los morteros de fábrica, según el plano considerado (figura 6.3.a). En el plano principal, el rejuntado se presentaba a modo de un fino encintado rehundido, que se extendía desde la junta hacia la pieza pétreo y se amoldaba a su acabado superficial. En general se identificaban a su vez dos aplicaciones, correspondientes a dos tipos de morteros diferentes (MJE₁ y MJE₂). Estas dos aplicaciones diferían en el relieve del mortero que se extendía desde la junta hacia la piedra (figuras 6.3.b y 6.3.c), resultando más representativa la aplicación en la que el mortero presentaba menor relieve (MJE₁). En los planos de avance, donde las juntas de cantería original son más finas al quedar las piezas encajadas con mayor precisión (Cabrera 2004), el rejuntado carecía de incisión central y sobresalía en menor medida de la junta, MJE₃ (figura 6.3.d). En general, el rejuntado camufla las irregularidades de la fábrica pétreo, como los ladrillos colocados para conseguir su ortogonalidad.

En el muro perimetral, los sillarejos del plano principal quedaban encajados en un trazado ortogonal de grueso mortero de junta (MJM₁) que simulaba el despiece perfecto de la fábrica pétreo (figura 6.3.e). Indica Cabrera (2004) que la aplicación de este mortero se efectuó en dos etapas. En primer lugar, se realiza la llaga matando con la punta de la paleta los bordes del mortero en el que asientan las piezas pétreas. Luego, con el mortero de asiento ya endurecido, la llaga se rellena, formando un marcado encintado rehundido en su centro y resaltado en los bordes. La mayoría de los paños presentaban este tipo de rejuntado, observándose en aquellos próximos a los chaflanes en las calles de Alenza con Raimundo Fernández Villaverde, así como de Treviño con Maudes, una aplicación similar pero con el encintado menos marcado, tipología MJM₂ (figura 6.3.f)¹³. El zócalo, pilastras y balaustrada presentaban el mismo rejuntado que el observado en los planos de avance de las fachadas, MJM₃ (figura 6.3.e). En la hoja interna del muro, la mampostería quedaba rejuntada por un mismo tipo de mortero, carente de incisión alguna y algo retranqueado respecto a los mampuestos, que en algunas zonas presentaba la aplicación de una capa posiblemente de cemento, MJM₄ (figura 6.3.g).

Los muros de mampostería concertada que soportan los jardines (figura 6.3.h) y las cubetas de las dos fuentes (MJM_F, figura 6.3.j) presentaban un mortero de fábrica similar al de menor espesor observado en el plano principal de las fachadas, MJE₁ (figuras 6.3.b y 6.3.c), pero con el encintado más grueso. En el muro de la biblioteca el mortero muestra un doble rehundido con un significativo grado de detalle, MJM_B (figura 6.3.i).

¹³ En estas zonas, se observa la aparición de eflorescencias (figura 6.3.f) así como el levantamiento y/o desprendimiento de los morteros de fábrica (figura 9.1.m), principalmente por la humedad que rezuma a través del muro debido al potente nivel de tierras que contiene.



Fig.6.3. Aspecto del mortero de fábrica en los paramentos del Antiguo Hospital, fachadas y muro perimetral (año 2006).

6.2. OBJETIVOS

Identificadas las principales tipologías que en el año 2006 constituían los tres grupos de materiales pétreos artificiales empleados en los paramentos del Antiguo Hospital (piedra artificial, morteros de revestimiento y morteros de fábrica), son tres los objetivos perseguidos en el presente capítulo.

6.2.1. Señalar los motivos que condicionaron la utilización de materiales pétreos artificiales

Especialmente en cuanto a la piedra artificial y morteros de revestimiento se refiere, teniendo en cuenta aspectos como la memoria del proyecto redactada por Palacios en 1909, el empleo por parte del arquitecto de este tipo de materiales en otras obras suyas y el propio proceso constructivo del Antiguo Hospital.

6.2.2. Atender a las intervenciones efectuadas en los materiales pétreos artificiales

Debido a la importante documentación gráfica de la que se ha podido disponer, prestar especial atención a las intervenciones realizadas en estos materiales pétreos artificiales a lo largo de la historia del inmueble se ha considerado como un objetivo.

6.2.3. Caracterización de los materiales pétreos artificiales

- Descripción macroscópica y caracterización mediante Espectrofotometría, MOP, DRX y MEB-EDS (en modo ES) de muestras correspondientes a las diferentes tipologías de piedra artificial identificadas en las fachadas.
- Descripción macroscópica y caracterización mediante Espectrofotometría, MOP, DRX y MEB-EDS (en modo ES) de muestras correspondientes a las diferentes tipologías de morteros de revestimiento identificadas en las fachadas.
- Descripción macroscópica y caracterización mediante Espectrofotometría, MOP, DRX y MEB-EDS (en modo ES) de muestras correspondientes a las diferentes tipologías de morteros de fábrica identificadas en las fachadas y en el muro perimetral.

La información incluida en este capítulo deja claro la enorme variabilidad de materiales pétreos artificiales empleados en los paramentos del Antiguo Hospital, que ciertamente pasan desapercibidos. Por el tipo de material, localización y/o por la función que desempeñan, a lo largo de la historia del inmueble han requerido de más actuaciones de conservación y/o restauración que la caliza o los materiales cerámicos, siendo el reflejo de las diferentes intervenciones acometidas.

6.3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

6.3.1. Toma de muestras

6.3.1.a. Piedra artificial (muestras PA)

En la figura 6.4 se señala la situación de las 7 muestras tomadas correspondientes a la piedra artificial así como algunas fotografías del muestreo realizado. Los materiales estudiados han sido tomados de la superficie de los elementos constructivos. Puesto que a la hora de realizar el muestreo, se ha observado que el tipo 1 es el que presenta más diferencias, se han muestreado más elementos constructivos. Sólo se ha tomado una muestra perteneciente al tipo 3, porque en todas las zonas en donde ha sido observado se corresponde con el mismo material. En la tabla inferior quedan recogidas las muestras con la nomenclatura asignada. El muestreo realizado ha permitido observar que, en el anillo circulatorio central (figura 6.1.g), el pasamanos de la balaustrada anexa a la entrada del cuerpo que alberga las instalaciones, configurado con la tipología PA₁, presenta la aplicación de un mortero de revestimiento (muestra PA_{1d}).

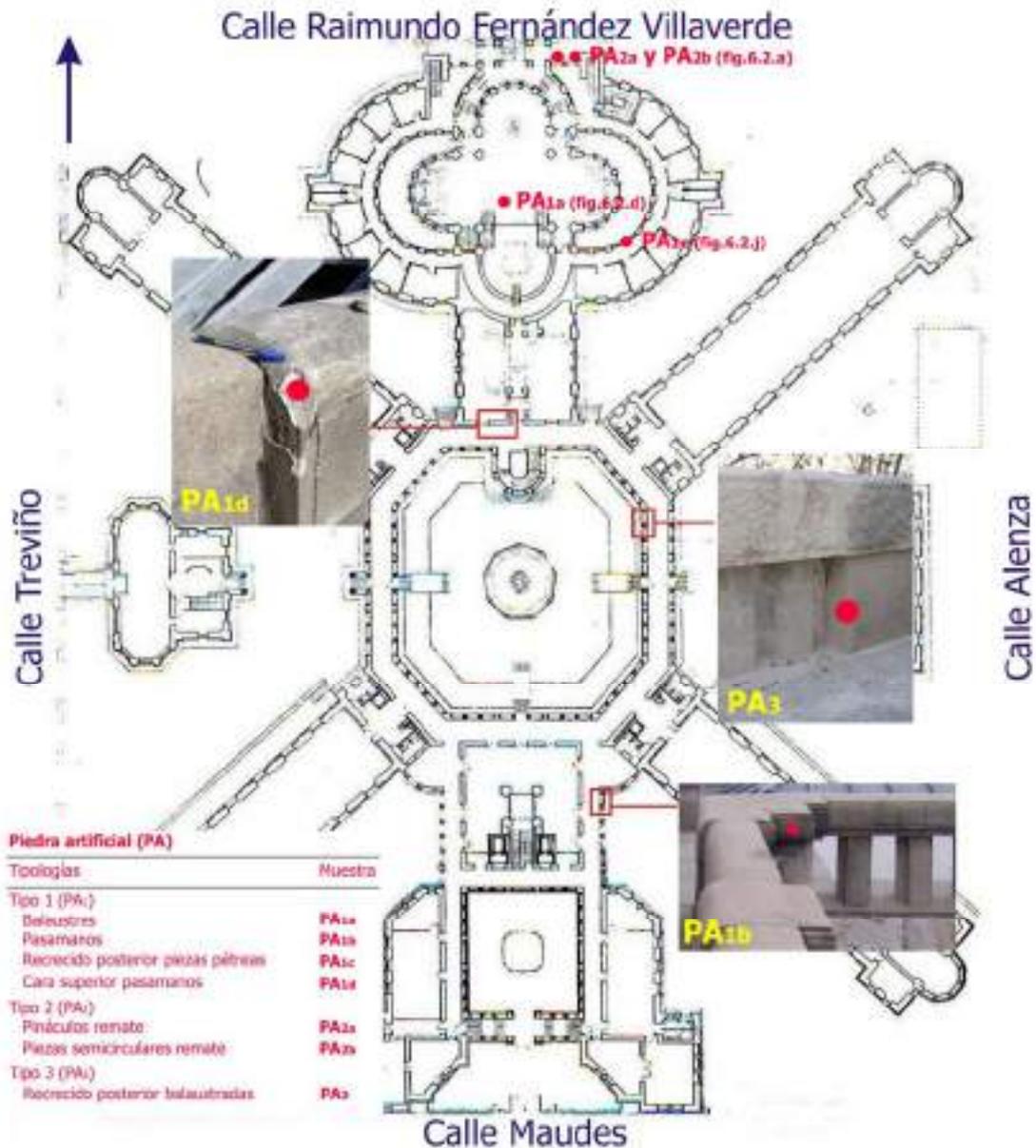


Fig.6.4. Localización de las muestras tomadas correspondientes a las diferentes tipologías de piedra artificial (PA) establecidas *in situ*.

6.3.1.b. Morteros de revestimiento (muestras MRC y MRG)

En la figura 6.5 se indica la localización de las 11 muestras estudiadas tomadas de la superficie de los elementos constructivos seleccionados y algunas fotografías del muestreo realizado. De las 11 muestras, 9 corresponden propiamente a morteros de revestimiento. Las otras dos, indicadas en blanco en la figura 6.5, se han identificado durante el muestreo, considerándose en este epígrafe al estar bajo los morteros de revestimiento caracterizados (de ahí que no estén incluidas en la tabla 6.1). Por un lado, bajo el mortero de revestimiento imitación granito que recubre el alféizar muestreado, se ha identificado un mortero inferior, de tonalidad más oscura, el cual se ha denominado MRG1_{ainf}. Por otro lado, el mortero que reviste la chimenea próxima a la iglesia, correspondiente a la muestra MRG1_{cr}, que presenta una pintura superficial. En las dos tablas inferiores se recogen los materiales a caracterizar con la denominación asignada.

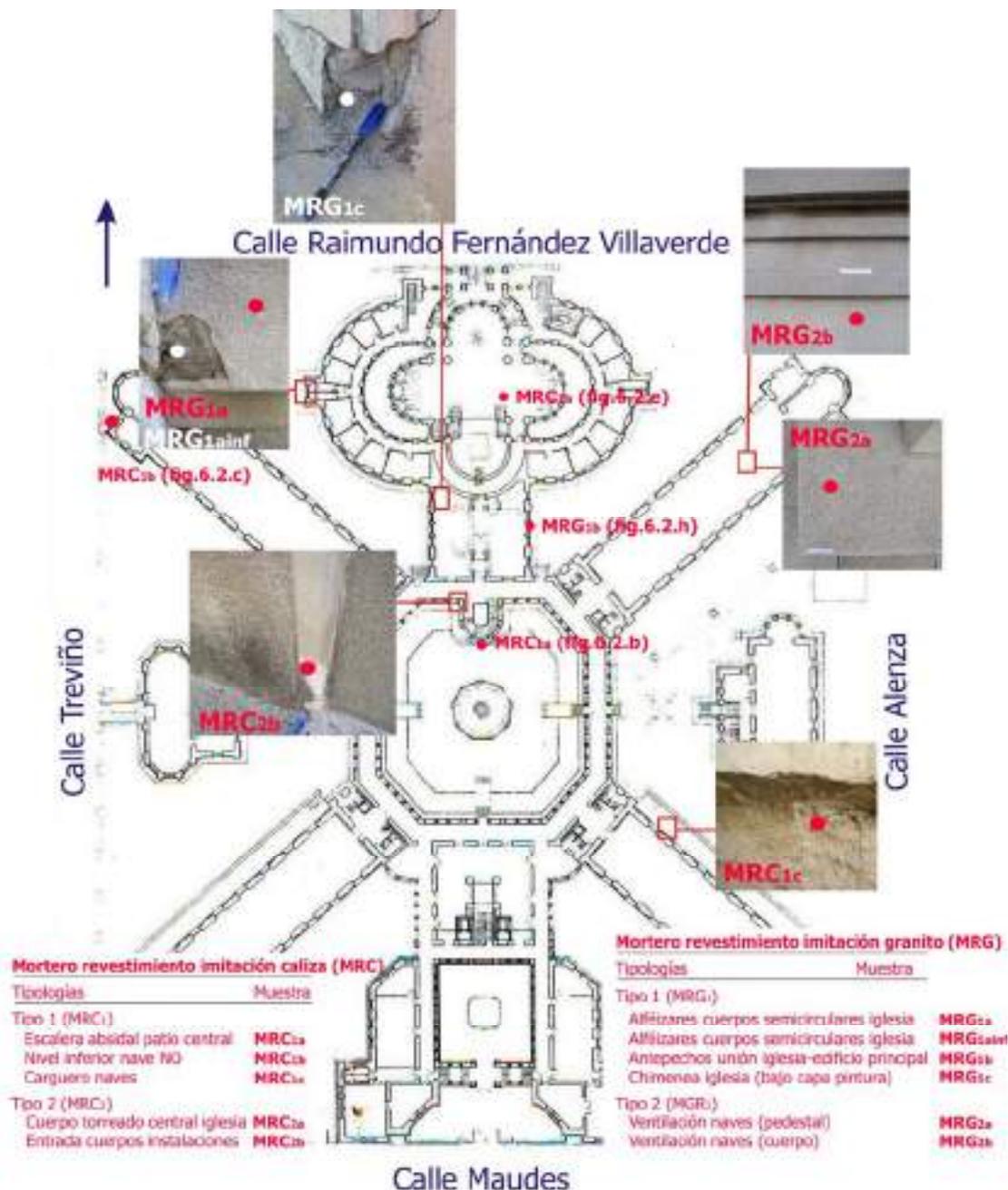
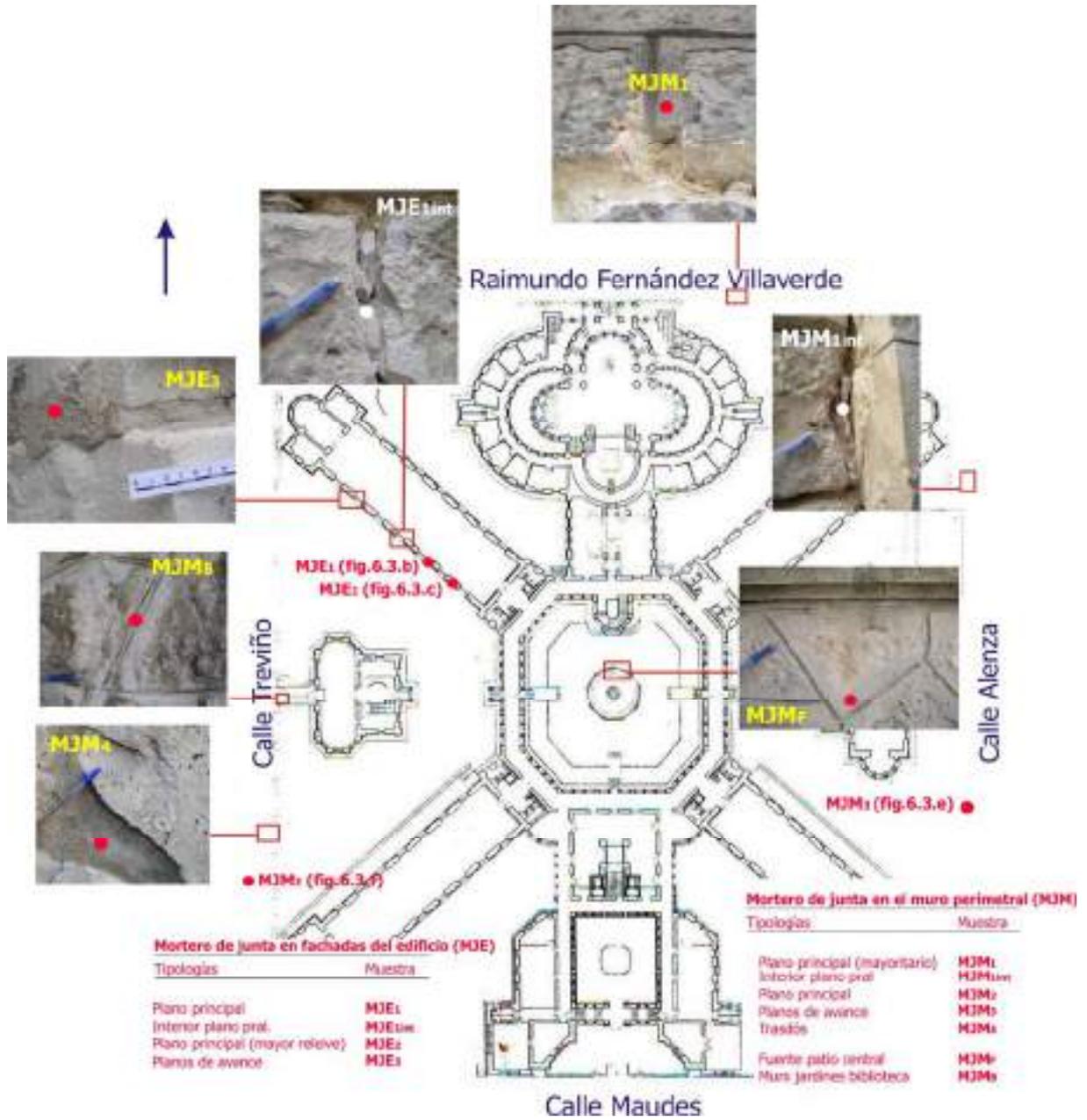


Fig.6.5. Localización de las muestras tomadas correspondientes a las diferentes tipologías de morteros de revestimiento, imitación caliza (MRC) y granito (MRG), establecidas *in situ*.

6.3.1.c. Morteros de junta (muestras MJE y MJM)

En la figura 6.7 se muestra la localización de los 11 morteros de junta caracterizados, tomados en las fachadas del edificio (muestras MJE), en el muro perimetral (muestras MJM), en la cubeta de la fuente central (MJM_F) y en el muro que sustenta las tierras de los jardines anexos a la biblioteca (MJM_B). Igualmente, en las tablas inferiores se indica la denominación asignada a las muestras analizadas. El muestreo realizado ha permitido también la identificación de materiales no observados a simple vista en los paramentos, tratándose, en este caso, de morteros de fábrica interior, tanto en las juntas de las fachadas como de los paños del muro.



6.7. Localización de las muestras tomadas correspondientes a las tipologías de morteros de junta (MJE y MJM) establecidas *in situ* en el año 2006.

6.3.2. Técnicas de caracterización

La tipología de materiales analizados en este capítulo se corresponde con sistemas complejos en donde el ligante no resulta en numerosas ocasiones fácilmente identificable (Chiari et al. 1992, Biscontin et al. 2002), siendo esencial emplear diversas técnicas de caracterización, cuyas especificaciones son igualmente señaladas en los aspectos metodológicos generales de la Tesis.

Se ha atendido en primer lugar a su aspecto macroscópico, que ha incluido la determinación mediante Espectrofotometría de los parámetros cromáticos, considerando la zona interna del material y seleccionándose la luminosidad de color (L^*) así como las coordenadas cromáticas a^* y b^* .

El análisis petrográfico se ha realizado mediante Microscopía Óptica de Polarización (MOP) con luz transmitida. Las láminas se han teñido parcialmente con rojo de alizarina y ferricianuro potásico, para identificar los áridos de composición calcítica así como la presencia de calcita en el ligante de las muestras.

Las principales fases minerales constituyentes de las diversas tipologías de piedra artificial y morteros han sido identificadas mediante Difracción de Rayos X (DRX) de la fracción polvo de muestra total. Para identificar la mineralogía constituyente del cemento, se ha atendido al intervalo $2\theta = 30-37^\circ$, donde aparecen los picos característicos de los silicatos cálcicos y aluminosilicatos cálcicos responsables de las propiedades hidráulicas del cemento (Galán et al. 2002).

Una muestra en fragmento de las diversas tipologías establecidas en cada uno de los tres grupos principales de materiales caracterizados se ha observado mediante Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), en modo electrones secundarios (ES), con Espectroscopía de Energía Dispersiva de Rayos X (EDS), para observar las morfologías y determinar la composición química elemental de las fases minerales que constituyen el ligante.

6.4. RESULTADOS

6.4.1. Motivos que condicionaron su utilización

6.4.1.a. Piedra artificial

La memoria del proyecto redactada por Palacios indica que se utilizaría piedra artificial en *impostas, cornisas, pináculos y otros*¹⁴. Además, el arquitecto señala en uno de sus planos la configuración del pasamanos en la balaustrada del cuerpo de entrada con piedra artificial. Por la tonalidad gris de la piedra artificial empleada, podría pensarse que se pretendiera con su utilización imitar al granito seleccionado. Por otro lado, su ubicación en las zonas más elevadas podría estar relacionada con las restricciones económicas que debieron surgir a la finalización de la obra. Ciertamente, su utilización supondría cierta reducción de los costes, pues tanto la fabricación de las piezas como la impresión superficial de la textura se realizaron de forma mecanizada. Sin embargo, aunque estos factores debieron influir a favor de la utilización de la piedra artificial en la construcción, la documentación consultada refleja la clara intencionalidad de Palacios por el empleo de este material desde la concepción de la obra y como parte esencial de la misma, suponiendo además otra impronta de modernidad¹⁵.

6.4.1.b. Morteros de revestimiento

Puesto que la memoria de 1909 no hace referencia alguna al empleo de revestimientos, tal vez su utilización sí que pudiera deberse a ajustes económicos al término de la obra. En el caso de los revestimientos cuya tonalidad y acabado superficial son similares a los que presentan las piezas configuradas con caliza y que son empleados en las zonas elevadas de la construcción, su ubicación debió resultar la más apropiada para prescindir de la piedra, pues se ejecutaron hacia la finalización de la obra. No obstante, se eligió un mortero cuya tonalidad se asemejara a la de la piedra caliza utilizada, y que con su acabado superficial participara igualmente de la textura aportada por los materiales a las fachadas. Respecto a los morteros de revestimiento con cuya aplicación parece haberse pretendido imitar al granito, presentan una tonalidad grisácea y en gran parte también revisten fábricas de ladrillo. Tampoco se ha encontrado referencia alguna sobre la intención de Palacios por utilizar este tipo de material, tal vez lo considerara como piedra artificial, otorgándole una tonalidad similar a la empleada en el inmueble, y supusiera otra impronta de modernidad, tal vez su utilización respondiera a los sempiternos ajustes económicos, o deberse a otro motivo.

6.4.1.c. Morteros de junta

Palacios (1909) no hace referencia al empleo de estos materiales ni a una forma específica de rejuntar con mortero de las piezas de cantería. Palacios concibió el empleo de mortero de junta como recurso plástico fundamental de la construcción, enriqueciendo la textura de los paramentos, otorgando cierta irregularidad a los mismos e incrementando el carácter regionalista de la construcción¹⁶. Además, su forma de aplicación posibilitaba el mejor entendimiento del despiece de los paramentos, potenciaba la expresividad de la molduración pétreo y camuflaba las irregularidades de la fábrica.

¹⁴ Esta información arroja ciertas dudas. Por un lado, las impostas, tal y como son entendidas en la Tesis, están configuradas con piedra caliza (figuras 3.6 y 3.7.a). Sin embargo, tal vez para Palacios fueran los antepechos y alféizares o las albardillas que conforman el pasamanos de la balaustrada en algunas zonas. Por otro, se desconoce si en el término *otros* Palacios incluía a los antepechos y alféizares, configurados como se verá con un material que podría corresponderse con piedra artificial, o igualmente referirse a las albardillas ya indicadas. Puede que, simplemente, al incluir la palabra *otros*, no especificaba más elementos por si fuera necesario emplear más piedra artificial de la contemplada en proyecto.

¹⁵ Impronta que también el artífice quiso plasmar en los zócalos del interior del inmueble, mediante la colocación de una baldosa hidráulica en color gris cemento (Perla 2001), o en el Palacio de Comunicaciones, empleando la piedra artificial principalmente para los elementos decorativos de las fachadas (González-Limón y Álvarez de Buergo 2001).

¹⁶ La utilización de este recurso plástico fue en ocasiones criticado, alegando incluso que se ajustaba al perfil de aquellos para los que estaba destinado el hospital (nota 9 capítulo 3). Sin embargo, más bien se intuía el carácter regionalista que caracterizará la obra posterior de Palacios, como las centrales eléctricas de Valderribas (Madrid), Tambre (A Coruña) y Menjíbar (Jaén) o su arquitectura tardía gallega (figura 1.3).

6.4.2. **Intervenciones efectuadas en la piedra artificial y morteros (1916-2006)**

La comparativa entre las fotografías mostradas en las figuras 6.1, 6.2 y 6.3 y aquellas de las figuras 6.8 y 6.9¹⁷, permiten conocer algunas modificaciones sufridas por los materiales incluidos en el presente capítulo entre los años 1916 y 2006. Para el estudio presentado deben tenerse en cuenta una serie de aspectos, algunos ya indicados en el capítulo 2. Por un lado, desde la finalización de la construcción en 1916 hasta su rehabilitación integral entre 1984 y 1986, las fachadas no fueron objeto de intervención alguna, salvo aquellas que pudieran relacionarse con las intervenciones de emergencia que puntualmente se realizaron en los años 50 y 60 (epígrafe 2.2.3). La única referencia encontrada que hace alusión a la intervención en este tipo de materiales durante dicha rehabilitación es indicada en Perea (1990), donde señala que se procedió a la reintegración puntual de los morteros de junta en las zonas en donde se estimó necesario. Por otro lado, entre 1986 y 2006 tampoco se han efectuado operaciones que hayan supuesto la modificación sustancial de estos materiales (epígrafe 2.2.6).

6.4.2.a. En la piedra artificial

Siguiendo las tres tipologías establecidas *in situ* en el año 2006, en las figuras 6.8 y 6.9 se observa que:

- Piedra artificial tipo 1 (PA₁): hacia 1983 presentaba el mismo aspecto y los elementos que en 2006 estaban constituidos con este tipo de piedra artificial así lo estaban entonces¹⁸. Las fotografías tomadas hacia 1983 permiten observar este tipo 1 en el pasamanos y en los balaustres de menor tamaño del cuerpo de entrada (figuras 6.8.a y 6.8.b, en esta última y en la figura 6.9.c se observa que algunas albardillas se habían desprendido) y del cuerpo central de la iglesia (figura 6.8.d), en los balaustres más pequeños de los torreones interiores (figuras 6.8.c y 6.9.c) y en el pasamanos de las terrazas de los miradores (figura 6.9.a). También se observa que algunas albardillas conformadas con esta tipología de piedra artificial presentaban todas sus caras lisas, como en las balaustradas de los torreones interiores (figuras 6.8.c y 6.9.c) y de las terrazas de los torreones exteriores (figura 6.8.e).
- Piedra artificial tipo 2 (PA₂): los pináculos de los torreones interiores (figuras 6.8.b, 6.8.c y 6.9.c) y los elementos de remate de las torres centrales de la iglesia (figura 6.8.d) estaban constituidos por el tipo PA₂.
- Piedra artificial tipo 3 (PA₃): en ninguna de las imágenes anteriores a la intervención de los años ochenta consultadas, se ha observado la tipología PA₃ reconocida en el año 2006. En la figura 6.8.g se observa el grueso revestimiento aplicado sobre la piedra artificial original que constituía el pasamanos en la balaustrada del cuerpo de entrada. Como puede apreciarse, el recrecido posterior y este grueso sellado responden a un material muy similar.

6.8.2.b. En los morteros de revestimiento

- Mortero de revestimiento imitación caliza tipo 1 (MRC₁): las fábricas de ladrillo de los torreones interiores de las naves (figuras 6.8.a, 6.8.c y 6.9.c), del torreón del cuerpo de entrada (derecha en la figura 6.8.a) y del cuerpo torreado central de la iglesia (figura 6.8.d), estaban revestidas con un mortero similar al establecido en el año 2006 como MRC₁. Este mortero estaba constituido por una base y una capa superficial, la cual se aplicó simulando el despiece de los paramentos y en la que se imprimió el acabado rugoso (figuras 6.8.a y 6.8.c). El mortero que en 2006 se observaba revistiendo el carguero sobre el que apoya la cornisa en las

¹⁷ La práctica totalidad de las fotografías mostradas en las figuras 6.8 y 6.9 fueron realizadas por Fernando de Castro López-Villarino, arquitecto responsable del levantamiento de alzados efectuado en 1984, antes del inicio de la rehabilitación integral del inmueble (epígrafe 2.2.5).

¹⁸ Puntualmente, se observan balaustres configurados con una piedra artificial más oscura, que presenta un árido muy grueso (>2mm) y unas marcas que indican haber sido moldeados o encofrados *in situ* (figura 6.8.f). Este mismo material se observa en ciertas partes de algunos pináculos (1 en figura 6.1.a) y posiblemente no se corresponda con material original.

naves, es el mismo que el existente antes de la intervención de los años ochenta (comparar figuras 6.2.d y 6.8.e). La escalera absidal del patio central presentaba hacia 1983 un revestimiento que podría corresponderse con el observado en el año 2006 (comparar figuras 6.2.b y 6.9.b).

- Mortero de revestimiento imitación caliza tipo 2 (MRC₂): no observado en las fotografías consultadas. Precisamente, este mortero fue aplicado en algunas de las zonas donde se ha indicado se apreciaba el mortero MRC₁ antes de la intervención de los años 80, como en los torreones interiores (figuras 6.8.a y 6.8.c) y el cuerpo torreado central de la iglesia (figura 6.8.d). Respecto al mortero MRC₂ localizado en los antepechos de los torreones exteriores, se observa que, en esta zona, antes de la intervención de los años ochenta, el mortero era muy parecido al observado en el año 2006 (comparar figuras 6.2.f y 6.9.a).
- Mortero de revestimiento imitación granito tipo 1 (MRG₁): antes de la intervención de los años ochenta, los alféizares de los torreones exteriores estaban revestidos con un mortero similar al observado en el año 2006 (comparar figuras 6.2.f y 6.9.a), También así los estaban los antepechos y/o alféizares de las ventanas en el nivel inferior de la antigua sala de operaciones (figura 6.9.d, en donde puede observarse además la morfología original de la ventana, hoy en día el vano llega casi hasta el suelo, y a la fábrica interna de ladrillo del alféizar, revestida con mortero tipo MRG₁).
- Mortero de revestimiento imitación granito tipo 2 (MRG₂): las chimeneas de ventilación presentaban en su base y zona intermedia un aplacado cerámico (1 en figura 6.9.c). Sin embargo, el resto mostraba un revestimiento muy similar al establecido en el año 2006 como MRG₂¹⁹.

6.8.2.c. En los morteros de junta

A partir de la ampliación de la imagen mostrada en la figura 2.5.b (figura 6.9.e), puede intuirse que la aplicación original del rejuntado en las fachadas era similar a la que éstas mostraban en el año 2006. No sucede lo mismo con la zona central de la cara externa del muro, cuyo aspecto original se asemejaba al que presentaban las fachadas y no se correspondía con la ortogonalidad que mostraba en el año 2006, el cual ya existía hacia la mitad de la década de los sesenta (figura 6.9.f). En 2006, se observaba la restitución de algunos sillarejos con mortero (figura 6.9.j). En la imagen mostrada en la figura 6.9.g, puede observarse el aspecto original que mostraba la cubeta de la fuente, localizada entonces en el patio de entrada. Se observa la morfología concertada de la zona central de la cubeta, muy similar a la que presentaban tanto los muros que soportan los jardines como las fuentes en el año 2006 (figuras 6.3.h, 6.3.i y 6.3.j). En cuanto al rejuntado del trasdós del muro, el aspecto que en muchas zonas mostraba en el año 2006 (figura 6.9.h) hace pensar que no se corresponda con el mortero original. Tampoco parecen ser originales algunas piezas constituidas con mortero (figura 6.9.h), puestas en obra sustituyendo posiblemente a mampuestos originales, ni el sellado inferior que presentaban los balaustres (figura 6.9.i). El lienzo Norte del muro en el año 2006 mostraba en el trasdós una zona enfoscada, retirada como se ha indicado en la intervención de 2006-2008.

¹⁹ El abombamiento que presenta este mortero en la zona de ventilación de la chimenea (2 en la figura 6.9.c) parece indicar que se trataba de un revestimiento, presumiblemente sobre fábrica de ladrillo. Sin embargo, las molduras superiores e inferiores sí que podrían corresponderse con mortero en masa, como si de piedra artificial se tratara.

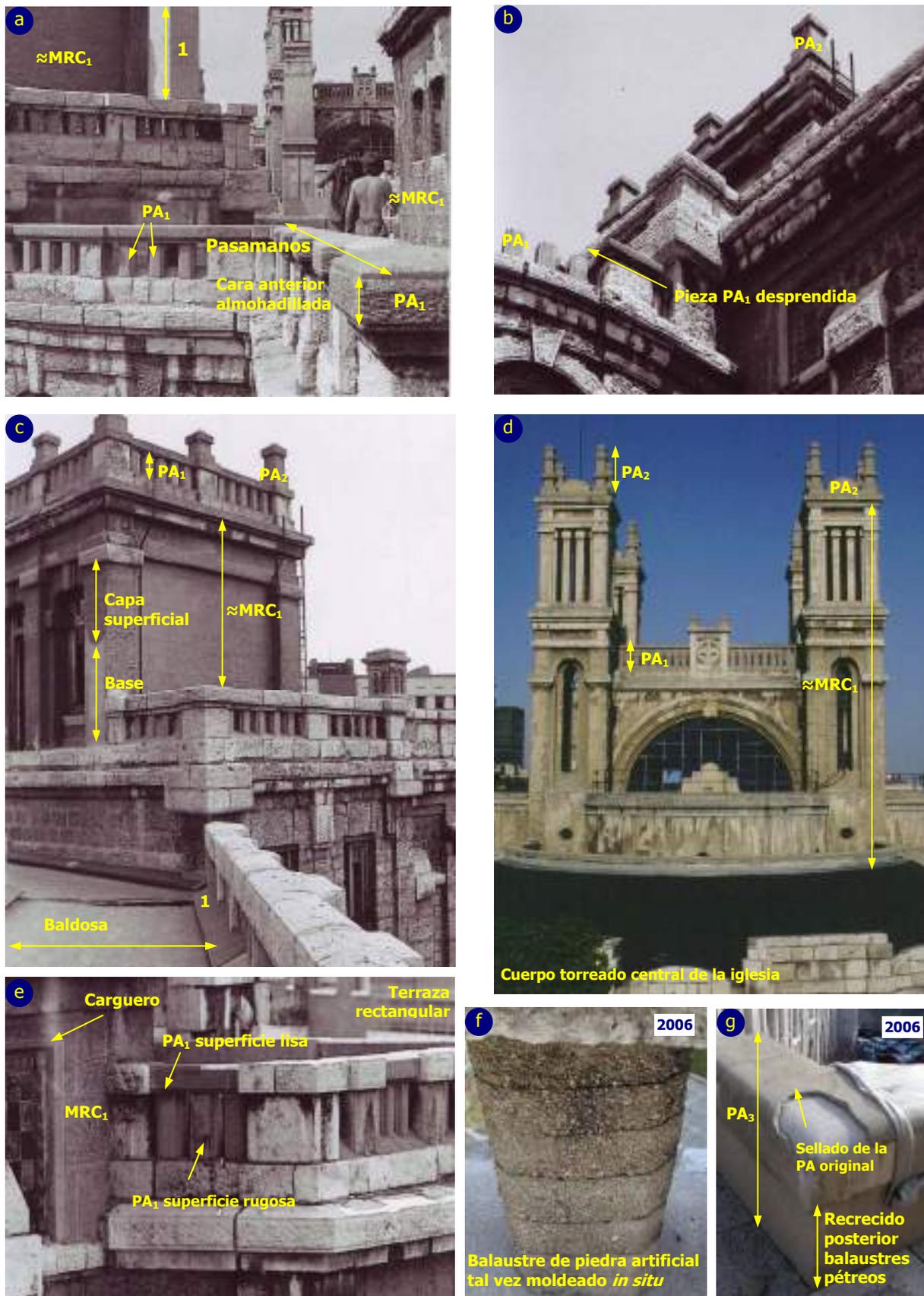


Fig.6.8. Piedra artificial y morteros de revestimiento antes de la rehabilitación integral del Antiguo Hospital acometida entre 1984-1986. Fotografías cedidas por Fernando de Castro López-Villarino, realizadas hacia 1983, salvo 6.8.f y 6.8.g.



Fig.6.9. Piedra artificial, morteros de revestimiento y morteros de junta antes de la rehabilitación integral del Antiguo Hospital acometida entre 1984-1986 y/o en el año 2006. Fotografías a, b, c y d cedidas por Fernando de Castro López-Villarino, realizadas hacia 1983.

6.4.3. Caracterización materiales pétreos artificiales

6.4.3.a. Piedra artificial (muestras PA)

Descripción macroscópica (piedra artificial, PA)

Piedra artificial tipo 1 (PA₁): esta tipología se corresponde con un mortero constituido por abundantes áridos y un ligante de tonalidad gris. La mayoría de los áridos muestran tamaños milimétricos, alcanzando algunos los 3 mm, y se identifican áridos de cuarzo. El mortero presenta cierta porosidad, correspondiente principalmente a poros con morfologías subredondeadas. Entre las muestras tomadas, se observan diferencias en cuanto a la morfología y tamaño de los áridos se refiere. La muestra PA_{1a} presenta un fragmento cerámico que supera el centímetro de tamaño (figura 6.10.a). Sobre la muestra PA_{1d} se ha aplicado un mortero de revestimiento de unos 3 mm de espesor (figura 6.10.d).

Piedra artificial tipo 2 (PA₂): la muestra PA_{2a} tiene una tonalidad muy similar a la tipología anterior y la muestra PA_{2b} algo más oscura. Se observan abundantes áridos, identificándose algunos de cuarzo. Las muestras tomadas también presentan diferencias en cuanto a la morfología y tamaño de los áridos se refiere.

Piedra artificial tipo 3 (PA₃): presenta un ligante de tonalidad gris clara. Los áridos apenas son reconocibles y se observan abundantes poros de muy pequeño tamaño (figura 6.10.g).

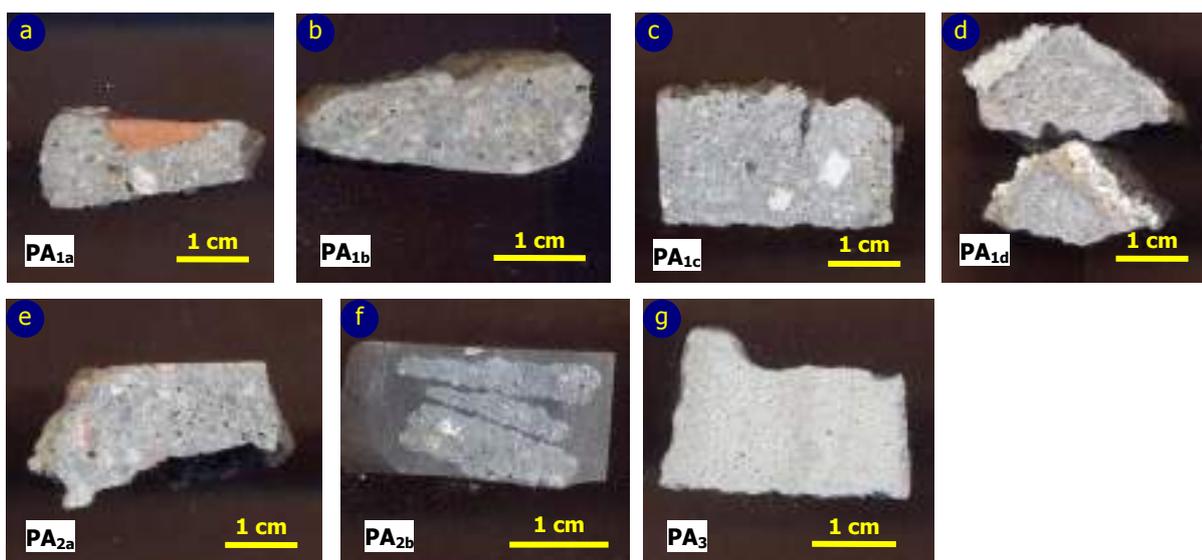


Fig.6.10. Aspecto macroscópico de las muestras tomadas correspondientes a las tipologías de piedra artificial establecidas *in situ*, PA₁, PA₂ y PA₃.

Caracterización petrográfica (piedra artificial, PA)

Piedra artificial tipo 1 (PA₁): las muestras clasificadas en esta tipología presentan diferencias en cuanto a la composición, cantidad y tamaño de los áridos se refiere. Los áridos se corresponden principalmente con granos de cuarzo, en su mayoría monocristalino, y de feldespato potásico (figuras 6.11.a-6.11.d), observándose también fragmentos de roca granítica (figura 6.11.b). La muestra PA_{1a} contiene además áridos de calcita, abundantes y con un tamaño medio de 0,15 mm. En algunos áridos de cuarzo se observan golfos de corrosión (figuras 6.11.a y 6.11.d). Los áridos presentan morfologías subangulosas y/o subredondeadas y en las muestras PA_{1a}, PA_{1c} y PA_{1d}, el feldespato potásico en general está muy alterado (figuras 6.11.a, 6.11.c y 6.11.d). Para PA_{1a}, se estima una relación árido:pasta de 4:1-3:1 y de 4:1 para PA_{1c}, estableciéndose en ambas dos tamaños de árido, correspondientes a los intervalos comprendidos entre 0,43-1 mm y 0,07-0,2 mm.

Para PA_{1b} y PA_{1d}, el tamaño de los áridos comprende de forma gradual el intervalo 0,08-0,35 mm, superando otros áridos el milímetro, y la relación árido:pasta se establece en 3:1. En las cuatro muestras, el ligante es una masa densa, opaca y criptocristalina que adquiere una tonalidad rojo oscura en la zona teñida. La porosidad observada, fundamentalmente se corresponde con poros de morfología vacuolar (figuras 6.11.c y 6.11.d).

Piedra artificial tipo 2 (PA₂): los áridos principalmente se corresponden con granos de cuarzo monocristalino, identificándose también feldespato potásico y biotita (figuras 6.11.e y 6.11.f). Los áridos muestran morfologías mayoritariamente subangulosas. Para las dos muestras caracterizadas la relación árido:pasta se estima en 3:1 y el tamaño del árido presenta dos modas. Para PA_{2a} un intervalo comprendido entre 0,35-2,5 mm y otro entre 0,08-0,4 mm, para PA_{2b} un intervalo comprendido entre 0,4-1,7 y otro igualmente entre 0,08-0,4 mm. En las dos muestras el ligante corresponde a una masa densa, opaca y criptocristalina que adquiere una tonalidad rojo oscura en la zona teñida. Se observan poros de morfología circular y el ligero agrietamiento del ligante, extendiéndose las grietas por el borde de los áridos (figura 6.11.f).

Piedra artificial tipo 3 (PA₃): los áridos se corresponden con granos de cuarzo y fragmentos de roca carbonática (caliza y mármol calcítico), con morfologías angulosas-subangulosas. La relación árido:pasta se estima en 1:2. Se observan áridos de tamaño comprendido entre los 0,15-0,5 mm y otros cuyo tamaño es inferior a 0,02 mm. El ligante es una masa criptocristalina, densa y opaca (figura 6.11.g) que tiñe a rojo en la zona teñida. Se observan abundantes poros con morfología circular.

Caracterización mineralógica (piedra artificial, PA)

Para las muestras pertenecientes a las tipologías 1 y 2, las principales fases minerales identificadas son cuarzo, calcita y feldespatos, tanto los términos potásicos (ortosa y microclina) como plagioclasa rica en sodio (albita). El feldespato dominante en la práctica totalidad de las muestras es microclina, identificándose también ortosa en las muestras PA_{1b} y PA_{1d}. En los difractogramas correspondientes a las muestras PA_{1a}, PA_{1c}, PA_{1d} y PA_{2a} también se ha identificado albita y en las muestras PA_{1a}, PA_{1d} y PA_{2a} biotita y/o etringita (figura 6.12). En las muestras PA_{1a}, PA_{1d} y PA_{2a} se ha atendido al intervalo comprendido entre los ángulos $2\theta = 30-37^\circ$. Las principales fases minerales determinadas son belita (C2S), kilchoanita (C3S2) y aluminato tricálcico (C3A), y en la muestra PA_{1a} se ha identificado también gehlenita (CAS). En las muestras PA_{1d} y PA_{2a} se observa, ligeramente, el pico principal de la fase mineral alita (C3S). En la muestra equivalente al tipo PA₃, las principales fases minerales identificadas son el cuarzo y la calcita, resultando la única muestra de piedra artificial en la que se ha identificado la fase mineral portlandita (CH).

Caracterización del ligante por MEB-EDS (piedra artificial, PA)

En la figura 6.13 se muestra el aspecto que presenta el ligante de las muestras PA_{1d}, PA_{2a} y PA₃ así como los análisis semicuantitativos puntuales realizados en las zonas recuadradas. Los elementos químicos que forman parte del ligante en la muestra PA_{1d} son potasio (K), calcio (Ca), aluminio (Al), silicio (Si) y azufre (S), detectándose también hierro (Fe) (figura 6.13.b). En la muestra PA_{2a}, los espectros obtenidos revelan la presencia de calcio (Ca), aluminio (Al) y silicio (Si) en el ligante. También se han identificado hierro (Fe) y azufre (S) (figura 6.13.e). En el ligante se ha observado la formación de etringita (CASH), revelando el análisis químico puntual realizado la presencia de los elementos calcio (Ca), aluminio (Al), silicio (Si) y azufre (S) (figura 6.13.g). En el ligante de la muestra PA₃ se observan abundantes morfologías grumosas (figura 6.13.h), constituidas prácticamente por calcio (Ca). Además de este elemento, el análisis puntual realizado (figura 6.13.i) revela la presencia en el ligante de potasio (K), hierro (Fe), magnesio (Mg), aluminio (Al), silicio (Si) y azufre (S).

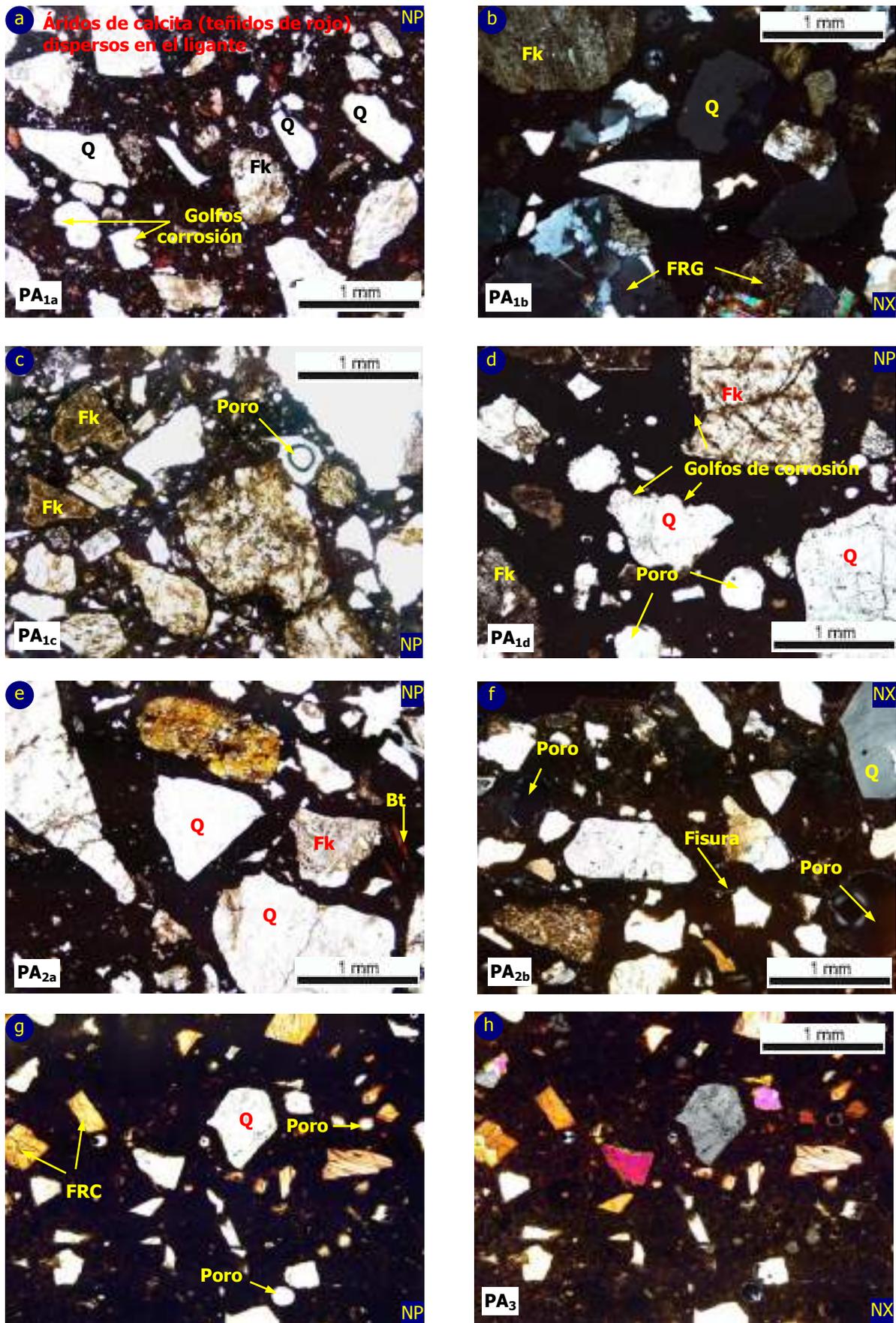


Fig.6.11. Imágenes de las muestras pertenecientes a los tipos de piedra artificial establecidos, PA₁, PA₂ y PA₃, observadas con microscopio óptico de polarización. Nícoles paralelos (NP) y nícoles cruzados (NX).

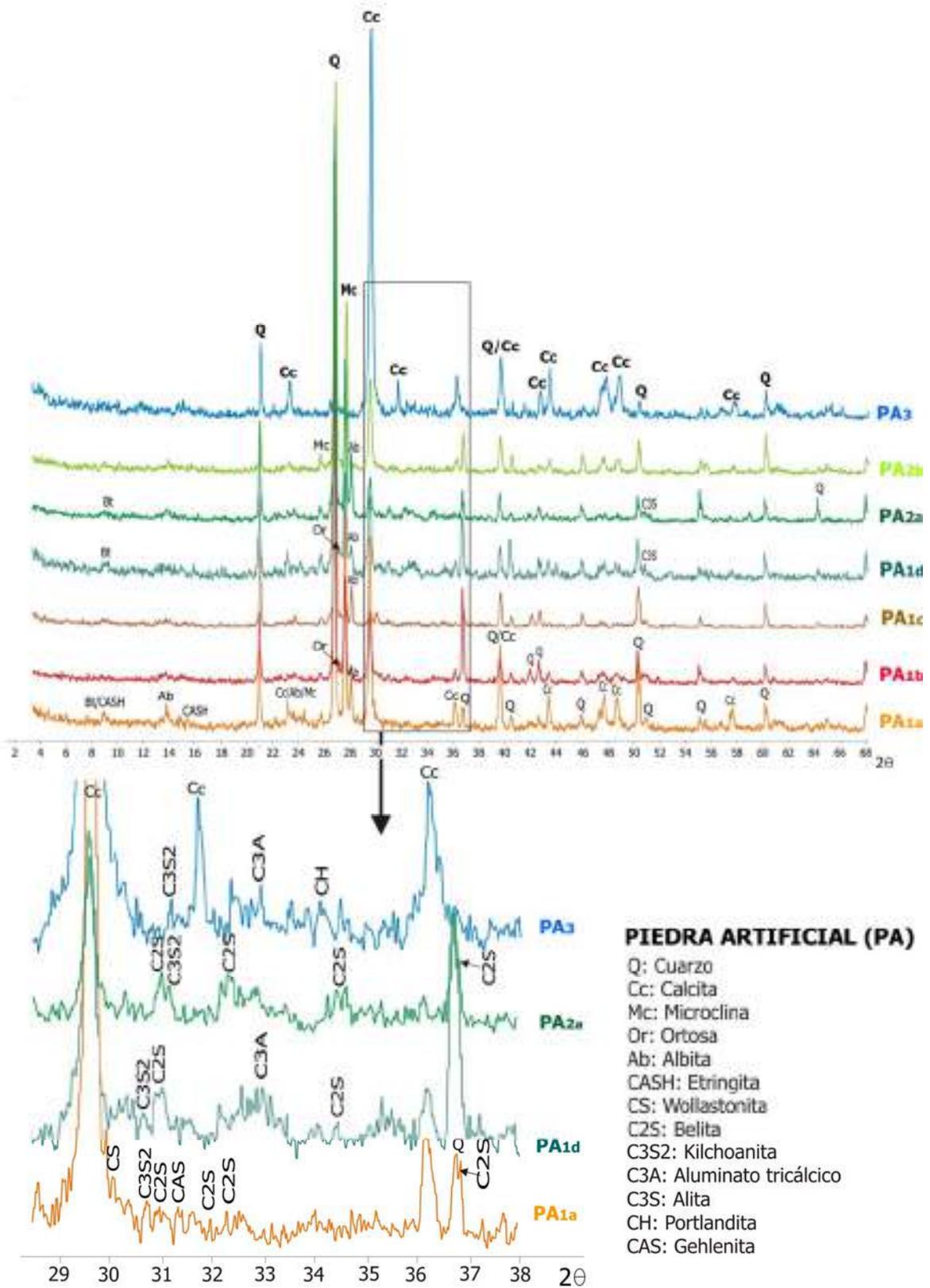
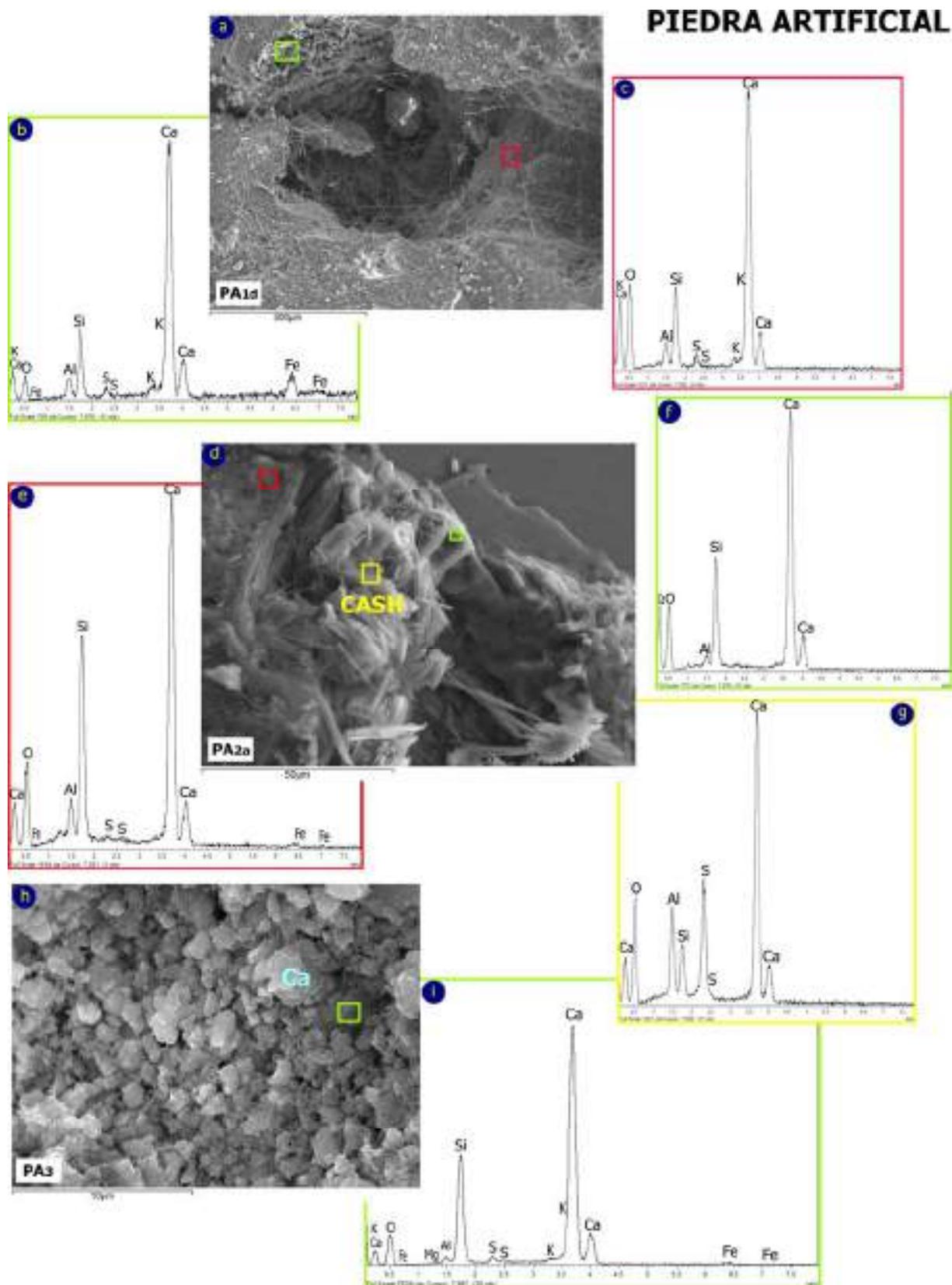


Fig.6.12. Difractogramas de las siete muestras caracterizadas correspondientes a piedra artificial, indicando en cuatro de las mismas las fases minerales identificadas en el intervalo $2\theta = 30-37^\circ$.



6.13. Imágenes de Microscopía Electrónica de Barrido en modo electrones secundarios (MEB-ES) y espectros obtenidos mediante microanálisis EDS de algunas de las muestras correspondientes a piedra artificial.

Se ha caracterizado con MEB-EDS una muestra de cada una de las tres tipologías de piedra artificial establecidas. Los análisis químicos cualitativos realizados han sido puntuales, en las zonas señaladas con recuadros.

Tabla 6.4. Caracterización realizada en las muestras correspondientes a piedra artificial.

| PA | COLOR | | DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA (MOP) | | | | | MINERALOGÍA IDENTIFICADA (DRX) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----------|---------|--------------------------------|--------|--------|------------------|-----------|--------------------------------|--------|----|----|----|----|-----------|------|----|-----|------|------|-----|-----|----|-----|---|--|--|--|
| | Tonalidad | CIELAB* | a:p | Áridos | Comps. | Tamaño (mm) | Forma | Otros | Áridos | | | | | Ligante** | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo | | | | | | | | Q | Or | Mc | Ab | Cc | Bt | Cc | CASH | CS | C2S | C3S2 | C4AF | C3A | C3S | CH | CAS | Y | | | |
| TIPO 1 PA1 | PA1a | Gris | L* = - | 4:1 | Q | 2 intervalos: | Subang. | Q > mono | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | | | | X | | | |
| | | | a* = - | 3:1 | Fk | 0,07-0,2 | Subredon. | Fk alterado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | b* = - | | Cc | 0,43-1 | | G.corrosión | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | PA1b | Gris | L* = - | 3:1 | Q | 2 intervalos: | Subang. | Q > mono | X | X | X | | | | X | | | | | | | | | | | | |
| | | | a* = - | | Fk | gradual 0,08-0,3 | Subredon. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | b* = - | | FRG | > 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | PA1c | Gris | L* = - | 4:1 | Q | 2 intervalos: | Subang. | Q > mono | X | | X | | | | X | | | | | | | | | | | | |
| | | | a* = - | | Fk | 0,07-0,2 | Subredon. | Fk alterado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | b* = - | | | 0,43-1 | | G.corrosión | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | PA1d | Gris | L* = 70,97 | 3:1 | Q | 2 intervalos: | Subang. | Q > mono | X | X | X | X | | X | X | | | X | X | | X | X | | | | | |
| | | | a* = 1,22 | | Fk | gradual 0,08-0,3 | Subredon. | Fk alterado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | b* = 5,03 | | | > 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TIPO 2 PA2 | PA2a | Gris | L* = 71,06 | 3:1 | Q | 2 tamaños: | Subang. | Q > mono | X | X | X | | X | X | | | X | X | | | | | | | | | |
| | | | a* = 0,36 | | Fk | 0,08-0,4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | b* = 4,4 | | Bt | 0,35-2,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | PA2b | Gris | L* = 58,30 | 3:1 | Q | 2 tamaños: | Subang. | Q > mono | X | | X | | | | X | | | | | | | | | | | | |
| | | oscuro | a* = -0,34 | | Fk | 0,08-0,4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | b* = 2,17 | | | 0,4-1,7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TIPO 3 PA3 | PA3 | Gris | L* = 79,37 | 1:2 | Q | 2 tamaños: | Angulosos | | X | | | X | X | | | | X | | | X | | X | | | | | |
| | | claro | a* = 0,06 | | FRC | 0,15-0,5 | Subang. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | b* = 4,54 | | | < 0,02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| CARACTERIZACIÓN LIGANTE POR MEB-EDS (modo ES) | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------|---|----|----|----|----|---|-------------|-------------------------|--|--|--|
| Muestra | K | Ca | Fe | Al | Si | S | Morfologías | Sulfatación | | | |
| PA1d | X | X | X | X | X | X | C2S? | Incipiente | | | |
| | | | | | | | CASH | incipiente | | | |
| PA2a | X | X | X | X | X | X | C2S? | Mayor grado sulfatación | | | |
| | | | | | | | CASH | | | | |
| PA3 | X | X | X | X | X | X | Grupos cal | Incipiente | | | |

*El tamaño de algunas muestras no ha permitido la determinación de los parámetros cromáticos según la escala CIELAB

**Se ha atendido al intervalo 2θ = 20-38° únicamente en las muestras PA1a, PA1d, PA2a y PA3

a:p: árido:pasta / mono: monocristalino

K: Potasio

Ca: Calcio

Fe: Hierro

Mg: Magnesio

Al: Aluminio

Si: Silicio

S: Azufre

Q: Cuarzo / Fk: Feldespato potásico / Cc: Calcita / FRG: Fragmento de roca granítica / Bt: Biotita / FRC: Fragmento de roca caliza / Or: Ortosa

Mc: Microclina / Ab: Albita

CASH: Etringita / CS: Wollastonita / C2S: Belita / C3S2: Kilchoanita / C4AF: Celita / C3A: Aluminato tricálcico / C3S: Alita / CH: Portlandita / CAS: Gehlenita / Y: Yeso

6.4.3.b Morteros de revestimiento (muestras MRC y MRG)

Descripción macroscópica (morteros de revestimiento, MRC y MRG)

Mortero de revestimiento imitación piedra caliza (MRC):

Mortero imitación caliza tipo 1 (MRC₁): las muestras tomadas pertenecientes a esta tipología de mortero identificada *in situ*, muestran similares caracteres macroscópicos entre sí. Este revestimiento se corresponde con un mortero constituido por abundantes áridos y un ligante de color marrón. Se identifican áridos de diversa composición y algunos muestran tamaños milimétricos (figuras 6.14.a-6.14.c).

Mortero imitación caliza tipo 2 (MRC₂): las muestras tomadas también presentan los mismos caracteres macroscópicos entre sí. Este mortero está constituido por abundantes áridos en un ligante de tonalidad marrón clara. Numerosos áridos muestran tamaños milimétricos y morfologías angulosas, y se observa una franja más oscura próxima a la superficie (figuras 6.14.d y 6.14.e).

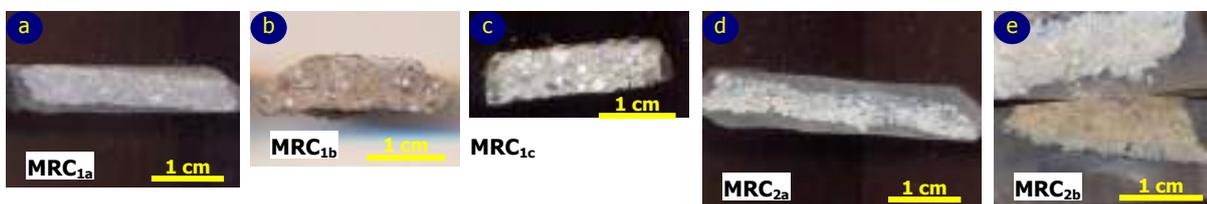


Fig.6.14. Aspecto macroscópico de las tipologías de morteros de revestimiento imitación piedra caliza establecidas en las fachadas, MRC₁ y MRC₂.

Mortero de revestimiento imitación granito (MRG):

Mortero imitación granito tipo 1 (MRG₁): las tres muestras tomadas pertenecientes a esta tipología de revestimiento establecida *in situ* presentan caracteres macroscópicos muy similares, a su vez muy parecidos con los observados en las muestras de la tipología MRC₂ (figuras 6.15.d y 6.15.e). Así, el mortero está constituido por abundantes áridos con tamaños milimétricos y morfologías muy angulosas, aglutinados en un ligante de tonalidad marrón claro que presenta en la superficie una franja de intensa tonalidad oscura (figura 6.15.c). En la muestra MRG_{1a}, el oscurecimiento del ligante afecta a la totalidad de la muestra (figura 6.15.a). En el mortero MRG_{1b} se aprecia la aplicación de una capa superficial densa y de tonalidad clara (figura 6.15.b). La capa de pintura superficial observada en la muestra MRG_{1c} está algo separada del mortero (figura 6.15.c). La muestra MRG_{1ainf} es completamente diferente, presenta una tonalidad grisácea, se identifican áridos de cuarzo, muchos con tamaños que superan el milímetro, y se observan poros con morfologías suredondeadas (figura 6.15.d).

Mortero imitación granito tipo 2 (MRG₂): las dos muestras tomadas son muy diferentes macroscópicamente, presentando ambas un aspecto similar a una piedra granítica. Los dos morteros contienen áridos angulosos milimétricos, mostrando el ligante de la muestra MRG_{2a} una tonalidad muy clara (figura 6.15.e) y el de la muestra MRG_{2b} una coloración grisácea (figura 6.15.f). En este segundo mortero se identifican dos zonas, una constituida por áridos en un ligante de tonalidad gris clara (zona interna) y otra por áridos de menor tamaño en un ligante de coloración más oscura (zona externa).



Fig.6.15. Aspecto macroscópico de las tipologías de mortero de revestimiento imitación piedra granítica establecidas *in situ* MRG₁ y MRG₂.

Caracterización petrográfica (morteros de revestimiento, MRC y MRG)

Mortero de revestimiento imitación piedra caliza (MRC):

Mortero imitación caliza tipo 1 (MRC₁): los áridos principalmente se corresponden con cuarzo monocristalino y de feldespatos potásico, presentando ambas morfologías angulosas y subangulosas. En MRC_{1a} se identifican también áridos de calcita y el ligante está intensamente fisurado (figuras 6.16.a y 6.16.b). El mortero MRC_{1b} muestra un importante contenido de áridos correspondientes a feldespatos potásico, el cual está muy alterado, y el ligante está igualmente muy fisurado (figura 6.16.c). En la muestra MRC_{1c} es mayor el contenido de áridos, el ligante no presenta fisuración alguna (figura 6.16.d). La relación árido:pasta se estima en 3:1 para MRC_{1a} y MRC_{1b}, y en 4:1 para MRC_{1c}. En las muestras MRC_{1b} y MRC_{1c} se identifican dos tamaños poblacionales, con tamaños medios de 1,5 y 0,6 mm respectivamente (figuras 6.16.c y 6.16.d). En MRC_{1a} el tamaño de los áridos es gradual (0,15 a 1 mm), presentando algún árido disperso mayor tamaño (figuras 6.16.a y 6.16.b).

Mortero imitación caliza tipo 2 (MRC₂): mortero cuyos áridos en su práctica totalidad corresponden a fragmentos de roca caliza (figuras 6.16.e-6.16.h), que presentan muy similares caracteres petrográficos a los de la piedra caliza estudiada (capítulo 4). La relación árido:pasta se establece en 4:1-3:1. Los áridos muestran morfologías subangulosas y comprenden un amplio rango de tamaños, desde 0,4 mm hasta 2 mm. El ligante presenta una composición rica en calcita (figura 6.16.e), una tonalidad ocre y cierta fisuración, asociada con la formación de poros (figura 6.16.h). En el seno del ligante se observan áridos de calcita, también de cuarzo (figura 6.16.f), y de tamaño generalmente inferior a los 0,2 mm. Las fisuras contienen grumos opacos en su interior (figuras 6.16.e, 6.16.g y 6.16.h), que en ocasiones rellenan las fisuras en su totalidad (figura 6.16.f). Las paredes internas de las fisuras y de los poros están parcialmente tapizadas por cristales de calcita (figura 6.16.h).

Mortero de revestimiento imitación granito (MRG):

Mortero imitación granito tipo 1 (MRG₁): las tres muestras son muy similares al mortero imitación caliza tipo 2 (muestras MRC₂). Los áridos se corresponden con fragmentos subangulosos de la caliza estudiada, y sus tamaños abarcan desde los 0,3 mm hasta casi los 2 mm. El ligante es rico en calcita, presenta cierta fisuración, en parte rellena por grumos opacos. En el seno de la misma se identifican áridos de cuarzo y la relación árido:pasta se estima en 3:1 (figuras 6.17.a-6.17.c). La capa superficial observada sobre MRG_{1b} (figura 6.15.b) presenta un aspecto muy similar al ligante descrito, mostrando una fisura en su base rellena por material opaco (figura 6.17.b). La pintura sobre MRG_{1c} presenta un tonalidad oscura y abundantes áridos de cuarzo (figura 6.17.c). MRG_{1a inf} está constituida por un árido de composición silíceo, principalmente cuarzo y fragmentos de roca granítica y metamórfica, con morfologías angulosas-subangulosas y cuyo tamaño abarca el intervalo 0,2-2,5 mm (figura 6.17.d). Se estima una relación árido:pasta de 2:1. El ligante contiene áridos dispersos de calcita.

Mortero imitación granito tipo 2 (MRG₂): MRG_{2a} está constituida por áridos correspondientes a fragmentos de roca caliza, de dolomía y de mármol, con formas angulosas y un tamaño medio de 1 mm (figura 6.17.e). El ligante, rico en calcita, presenta áridos de cuarzo de tamaño inferior a 0,1 mm y se estima una relación árido:pasta de 3:1. Las dos zonas diferenciadas *de visu* en MRG_{2b} están constituidas por áridos angulosos de composición muy diversa, identificándose cuarzo, feldespatos potásico, fragmentos de roca granítica y de caliza (también con similares caracteres petrográficos a los de la caliza empleada en el inmueble), en un ligante con abundantes áridos de cuarzo. En la zona interna, el tamaño medio de los áridos es de 1,5 mm, la relación árido:pasta es de 3:1 y en el ligante se identifica una proporción de áridos de calcita similar a la de áridos de cuarzo, ambos con un tamaño medio de 0,2 mm. En la externa, los áridos son más abundantes y presentan menores tamaños, 0,5 mm de media, se identifica abundante biotita y la relación árido:pasta es 4:1-3:1.

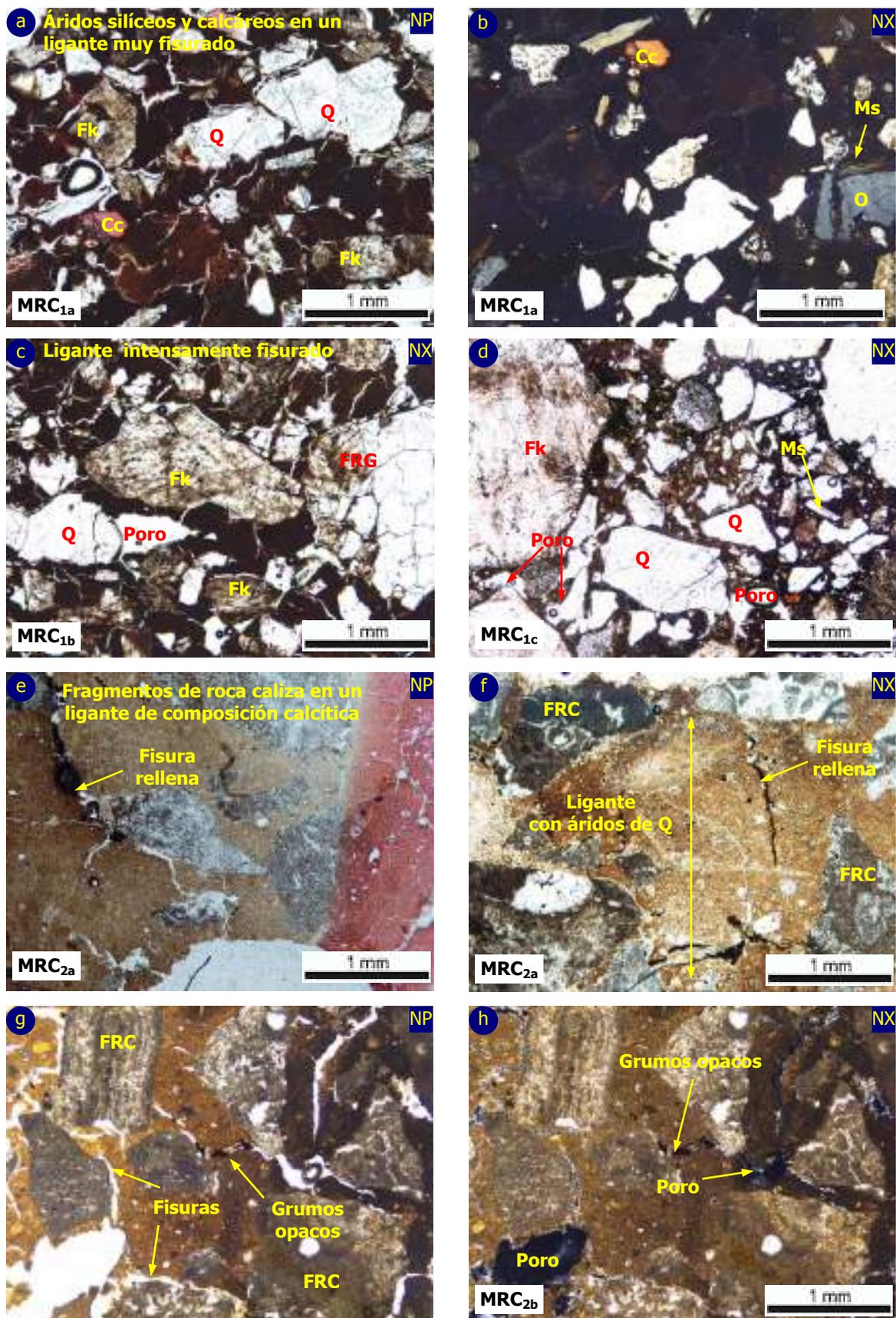


Fig.6.16. Imágenes tomadas con microscopio óptico de polarización de las tipologías de morteros de revestimiento imitación piedra caliza. Nícoles paralelos (NP) y nícoles cruzados (NX).

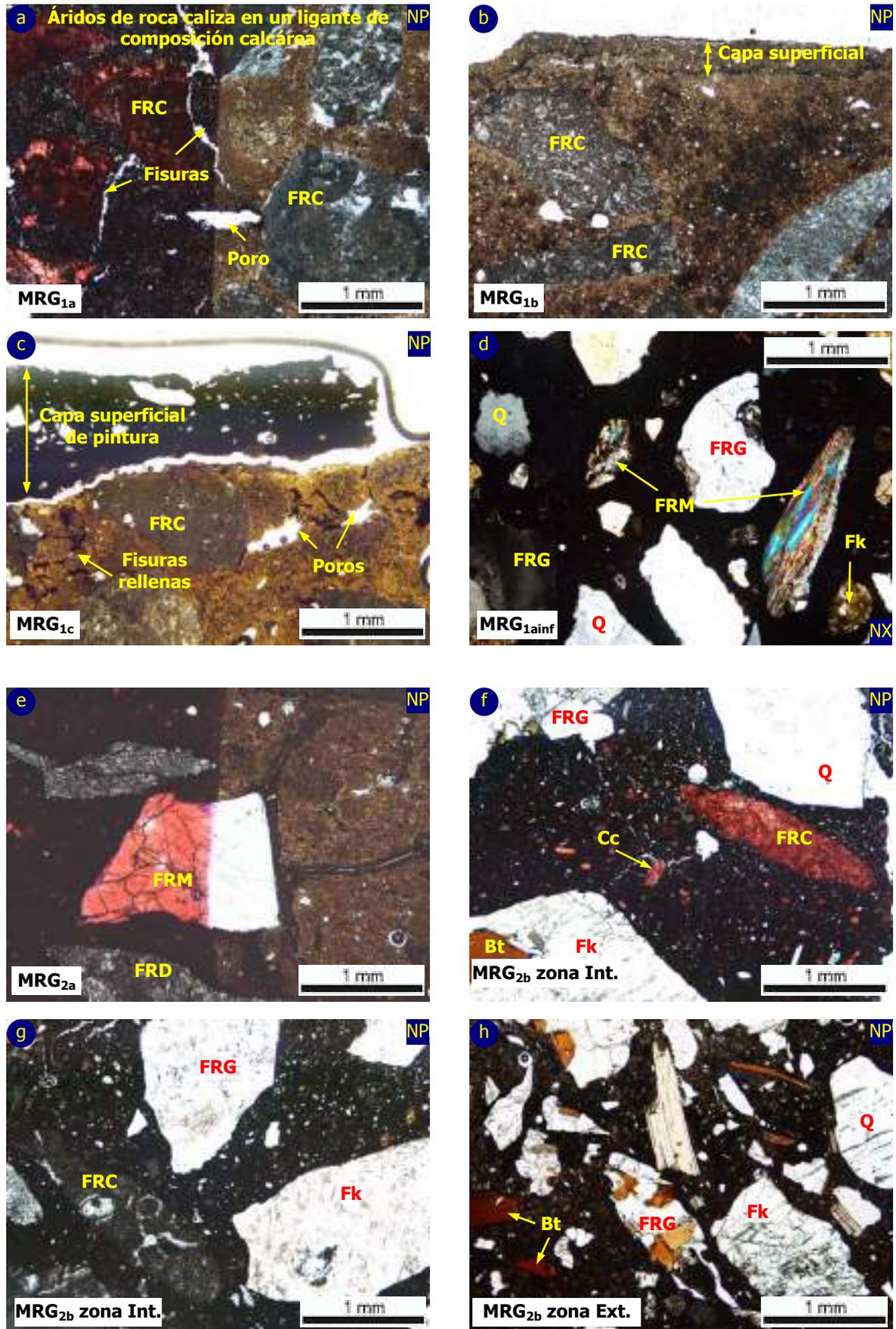


Fig.6.17. Tipologías de mortero de revestimiento imitación granito establecidas, MRG₁ y MRG₂, observadas bajo microscopio óptico de polarización. Nícoles paralelos (NP) y nícoles cruzados (NX).

Caracterización mineralógica (morteros de revestimiento, MRC y MRG)

Mortero de revestimiento imitación piedra caliza (MRC):

Para las muestras correspondientes a la tipología 1, se observa que los difractogramas de MRC_{1a} y MRC_{1b} son muy similares entre sí (figura 6.18). En ambos se identifica cuarzo, calcita, microclina, ortosa, albita, biotita y yeso. En el mortero MRC_{1b} también se ha identificado etringita. Atendiendo al intervalo $2\theta = 30-37^\circ$, las principales fases minerales identificadas en ambas muestras son belita (C2S) y gehlenita (CAS). En la muestra MRC_{1b} se identifica además wollastonita (CS), kilchoanita (C3S2) y aluminato tricálcico (C3A). En el difractograma de la muestra MRC_{1c}, se identifican los picos de cuarzo, microclina, albita y calcita.

Las dos muestras pertenecientes a la tipología 2 (MRC_{2a} y MRC_{2b}), sus difractogramas son prácticamente idénticos (figura 6.18), correspondiendo casi todos los picos obtenidos a calcita. Se incluye en la figura 6.16 el difractograma correspondiente a la capa superficial observada sobre la muestra PA_{1d} (figura 6.7.d), casi idéntico también a los de las muestras MRC_{2a} y MRC_{2b}. Estas dos muestras y la capa de pintura corresponden a morteros de cal con áridos de calcita.

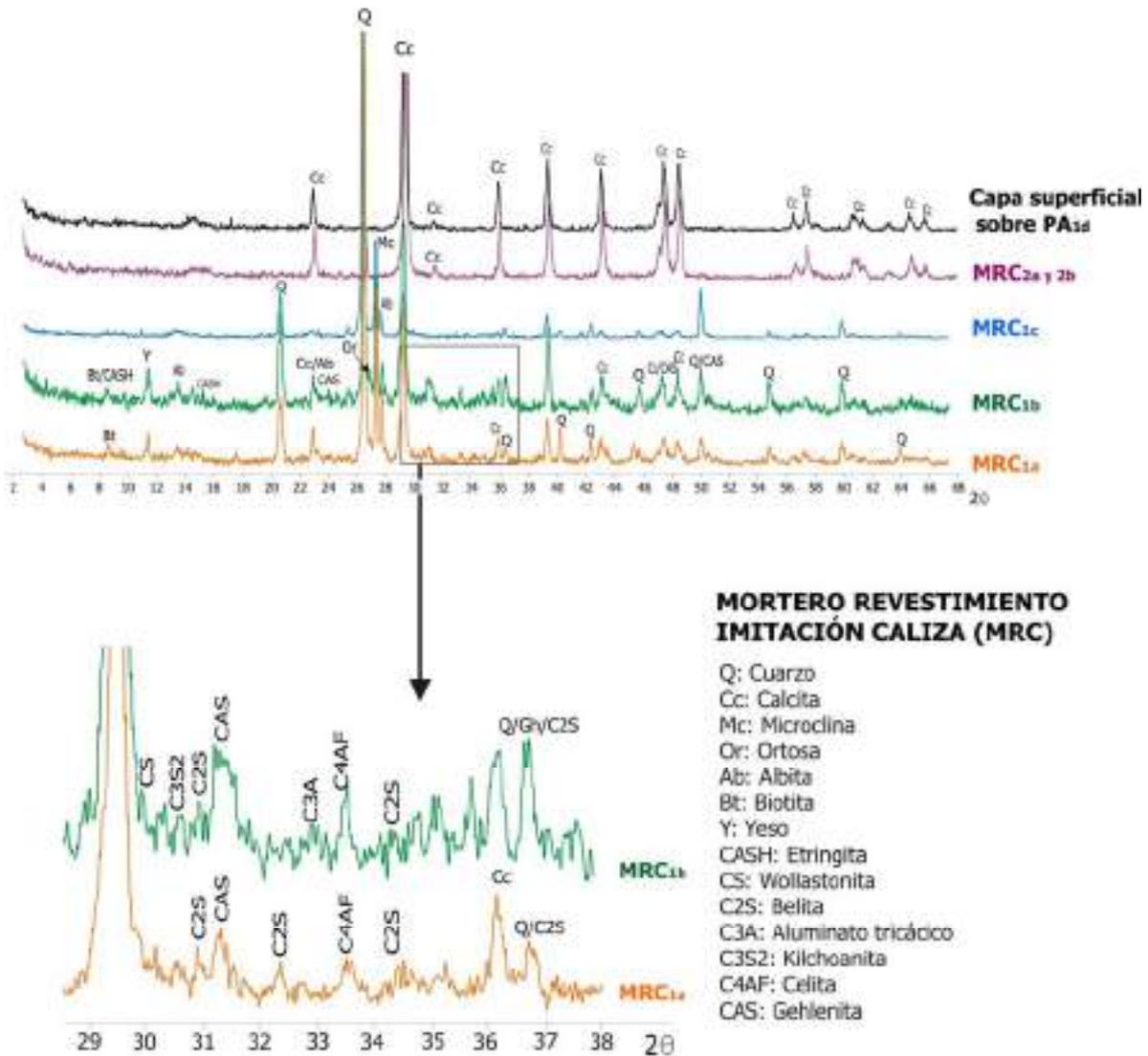


Fig.6.18. DRX de las muestras correspondientes a los morteros de revestimiento imitación caliza.

Mortero de revestimiento imitación granito (MRG):

La mineralogía de las muestras pertenecientes a la tipología MRG₁ se corresponde en su práctica totalidad con calcita. El difractograma de la muestra MRG_{1a}inf responde a un material completamente diferente, tal y como se ha observado en muestra de mano (figura 6.15.d) y bajo MOP (figura 6.17.d). Se identifican cuarzo, microclina y albita, y, en el intervalo $2\theta = 30-37^\circ$, las fases minerales gehlenita (CAS), belita (C2S), aluminato tricálcico (C3A) y portlandita (CH) (figura 6.19).

Las muestras de la tipología 2 son muy diferentes entre sí. Los picos identificados en la muestra MRG_{2a} se corresponden en su práctica totalidad con calcita, también se ha identificado dolomita (en MOP se han observado áridos correspondientes a fragmentos de roca dolomítica, figura 6.17.e). Para la muestra MRG_{2b}, se ha realizado la DRX en las dos zonas diferenciadas. En ambas zonas, los picos de cuarzo, microclina, albita, biotita y clorita se corresponden con la mineralogía del árido empleado, siendo significativa la presencia de biotita. La calcita identificada forma parte tanto del árido como del ligante. En el intervalo $2\theta = 30-37^\circ$, se identifican las fases alita (C3S) y kilchoanita (C3S2). En la zona interna también se han identificado belita (C2S) y celita (C4AF), y en la zona externa, wollastonita (CS), aluminato tricálcico (C3A) y portlandita (CH).

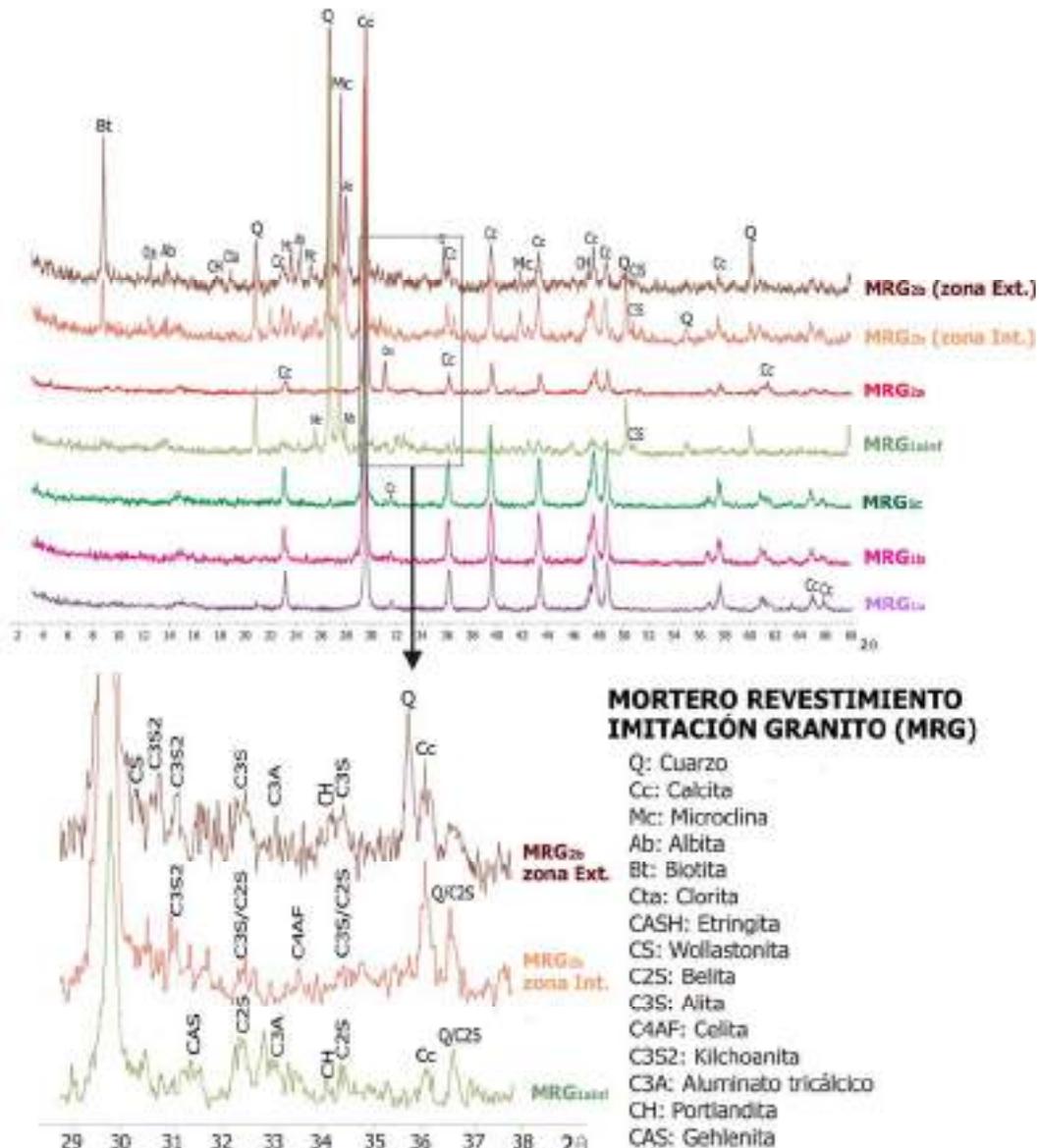


Fig.6.19. DRX de las muestras correspondientes al mortero de revestimiento imitación granito.

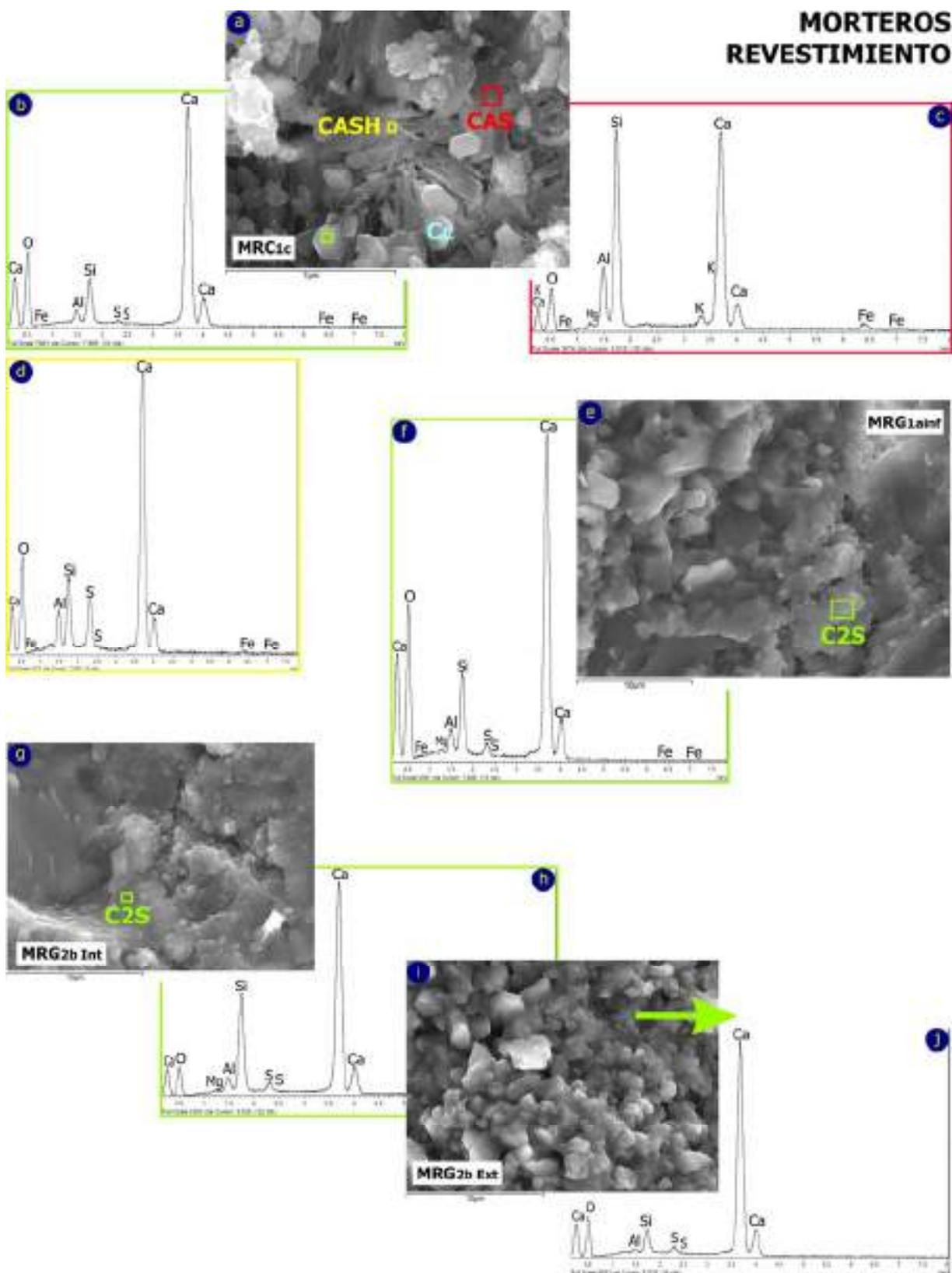
Caracterización del ligante por MEB-EDS (morteros de revestimiento, MRC y MRG)

El estudio del ligante de los morteros de revestimiento seleccionados (MRC_{1c}, MRG_{1aint} y MRG_{2br}, zona interna y externa) mediante MEB-ES y EDS es mostrado en la figura 6.20.

En la muestra MRC_{1c} (figura 6.20.a) se observan cristales de calcita, indicando el espectro obtenido que pueden haberse formado a partir de belita (figura 6.20.b). Se aprecian también cristales de etringita (CASH), detectándose un importante contenido de azufre en el análisis realizado (figura 6.20.d), y se identifica igualmente la presencia de gehlenita (CAS) (figura 6.20.c).

En la muestra MRG_{1ainf} y en la zona interna del mortero MRG_{2br}, las morfologías observadas (figuras 6.20.e y 6.20.g) y los análisis químicos realizados (figuras 6.20.f y 6.20.h), revelarían la presencia de la fase mineral belita (C2S) en el ligante de ambas muestras.

El ligante en la zona externa del mortero MRG_{2br} presenta abundantes morfologías grumosas (figura 6.20.i). En los tres espectros (figuras 6.20.f, 6.20.h y 6.20.j) se ha detectado azufre (S), si bien en poca proporción y no se ha observado mediante MEB-ES la formación del producto de alteración etringita en ninguna de estas tres muestras.



6.20. Imágenes de Microscopía Electrónica de Barrido en modo electrones secundarios (MEB-ES) y espectros obtenidos mediante microanálisis EDS de algunas de las muestras correspondientes a morteros de revestimiento.

Los análisis químicos cualitativos realizados han sido puntuales, en las zonas señaladas con recuadros, salvo el mostrado en la figura 6.20.j, que corresponde al análisis zonas de la imagen de la figura 6.20.i.

Tabla 6.5. Caracterización realizada en las muestras correspondientes a morteros de revestimiento.

| MR | MRC | COLOR | | DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA (MOP) | | | | | MINERALOGÍA IDENTIFICADA (DRX) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------|-----------|------------|--------------------------------|-------------|-----------------------|-----------|-------------------------|--------------------------------|----|----|----|----|----|------|----|-----|------|------|-----|-----|----|-----|---|---|--|--|
| | | Tonalidad | CIELAB* | Comps. | Tamaño (mm) | Forma | Otros | Q | Or | Mc | Ab | Cc | Bt | Cc | CASH | CS | C2S | C3S2 | C4AF | C3A | C3S | CH | CAS | Y | | | |
| TIPO 1 MRC1 | MRC1a | Marrón | L* = - | 3:1 | Q | Tamaño gradual 0,15-1 | Angulosos | Q > mono | X | X | X | X | X | X | | | X | | X | | | | | X | X | | |
| | | | a* = - | | Fk | 0,15-1 | Subang. | Intensa fisuración | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | b* = - | | Cc | árido disperso > | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | MRC1b | Marrón | L* = - | 3:1 | Q | 2 tamaños: | Angulosos | Q > mono | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | X | X | | |
| | | | a* = - | | Fk | 0,6 media | Subang. | Abundante Fk (alterado) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | b* = - | | | 2 media | | Intensa fisuración | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | MRC1c | Marrón | L* = - | 4:1 | Q | 2 tamaños: | Angulosos | Q > mono | X | X | X | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| | | | a* = - | | Fk | 0,6 media | Subang. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | b* = - | | | 2 media | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TIPO 2 MRC2 | MRC2a | Marrón | L* = - | 4:1/ | FRC | Tamaño gradual 0,4-2 | Subang. | Cc y Q < 0,2 mm | X | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | |
| | | claro | a* = - | 3:1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | b* = - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | MRC2b | Marrón | L* = 73,38 | 4:1/ | FRC | Tamaño gradual 0,4-2 | Subang. | Cc y Q < 0,2 mm | X | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | |
| | | claro | a* = 1,58 | 3:1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | b* = 6,98 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| MR | MRG | COLOR | | DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA (MOP) | | | | | MINERALOGÍA IDENTIFICADA (DRX) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------------|------------|------------|--------------------------------|------------------|------------------------|-----------|--------------------|--------------------------------|----|----|----|----|----|------|----|-----|------|------|-----|-----|----|-----|---|--|--|--|
| | | Tonalidad | CIELAB* | Comps. | Tamaño (mm) | Forma | Otros | Q | Or | Mc | Ab | Cc | Bt | Cc | CASH | CS | C2S | C3S2 | C4AF | C3A | C3S | CH | CAS | Y | | | |
| TIPO 1 MRG1 | MRG1a | Gris | L* = 68,81 | 3:1 | FRC | Tamaño gradual 0,3-2 | Subang. | Q < 0,1 mm | | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | |
| | | oscuro | a* = -0,16 | | | | | Fisuración ligante | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | b* = 1,14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | MRG1b | Marrón | L* = - | 3:1 | FRC | Tamaño gradual 0,3-2 | Subang. | Q < 0,1 mm | | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | |
| | | claro | a* = - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | b* = - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | MRG1c | Marrón | L* = 70,88 | 3:1 | FRC | Tamaño gradual 0,3-2 | Subang. | Cc y Q < 0,2 mm | | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | |
| | | claro | a* = 1,01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | b* = 6,04 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | MRG1ainf | Gris | L* = - | 2:1 | Q | Tamaño gradual 0,2-2,5 | Angulosos | Cc dispersa | X | X | X | | | X | | | X | | | | X | | X | X | | | |
| | | marrón | a* = - | | FRG | | Subang. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | b* = - | | FRM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TIPO 2 MRG2 | MRG2a | Casi | L* = 82,86 | 3:1 | FRC | Tamaño medio 1 | Angulosos | Q disperso | | | | X | X | | | | | | | | | | | | | | |
| | | blanco | a* = -0,17 | | FRD | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | b* = 2,71 | | FRM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | MRG2b | Zona Ext. | L* = 71,18 | 3:1 | Q, Fk | Tamaño medio 1,5 | Angulosos | Cc y Q < 0,2 mm | X | X | X | X | X | X | | | X | X | X | | | | X | | | | |
| | | Gris claro | a* = 0,30 | | FRG | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | b* = 4,03 | | FRC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MRG2b Int. | Zona Int. | L* = 66,49 | 4:1/ | Q, Fk, Bt, Cta | Tamaño medio 0,5 | Angulosos | | X | X | X | X | X | X | | | | | | X | | X | X | X | | | | |
| | Gris claro | a* = 0,21 | 3:1 | FRG | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Gris oscuro | b* = 2,78 | | FRC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Q: Cuarzo / Fk: Feldespato potásico / Cc: Calcita / FRG: Fragmento de roca granítica / Bt: Biotita / FRC: Fragmento de roca caliza / Or: Ortosa
 Mc: Microclina / Ab: Albita / CASH: Etringita / CS: Wollastonita / C2S: Belita
 C3S2: Kilchoanita / C4AF: Celita / C3A: Aluminato tricálcico / C3S: Alita
 CH: Portlandita / CAS: Gehlenita / Y: Yeso

*El tamaño de algunas muestras no ha permitido la determinación de los parámetros cromáticos según la escala CIELAB

**Se ha atendido al intervalo 2θ = 20-38º únicamente en las muestras MRG1ainf y MRG2b (zonas externa e interna)

Mediante DRX, en MRG2a también se ha identificado dolomita y en MRG2b clorita
 a:p: árido:pasta / mono: monocristalino / K: Potasio, Ca: Calcio, Fe: Hierro, Mg: Magnesio, Al: Aluminio, Si: Silicio, S: Azufre

| CARACTERIZACIÓN LIGANTE POR MEB-EDS (modo ES) | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------|---|----|----|----|----|---|-------------|------------------------------|
| Muestra | K | Ca | Fe | Al | Si | S | Morfologías | Sulfatación |
| MRG1c | X | X | X | X | X | X | CASH, CAS | Importante grado sulfatación |
| MRG1ainf | X | X | X | X | X | X | C2S | Incipiente |
| MRG2b Int. | X | X | X | X | X | X | C2S | Incipiente |
| MRG2b Ext. | X | X | X | X | X | X | Grupos | Incipiente |

6.4.3.c. Morteros de junta (muestras MJE y MJM)

Descripción macroscópica (morteros de junta, MJE y MJM)

En la figura 6.21 se puede observar el aspecto en muestra de mano de los morteros de fábrica caracterizados. En general, en todos se observa una importante cantidad de árido, identificándose principalmente cuarzo. El árido presenta tamaños milimétricos, siendo el correspondiente a las muestras MJM_F y MJM_B algo menor pero igualmente reconocible *de visu*. En el ligante se observa cierto grado de porosidad. Las muestras tomadas de las fachadas MJE₁ (nótese la hendidura correspondiente al encintado rehundido, figura 6.21.a) y MJE₃, y aquellas tomadas del muro perimetral MJM₃ y MJM₄, presentan similar aspecto. En los morteros MJE_{1int} y MJM_{1intr} el ligante muestra una tonalidad algo más amarillenta y en el mortero MJE_{1int} se observan cristales de yeso, que superan el medio centímetro de tamaño (figura 6.21.d). Las muestras MJM₁ y MJM₂ son las únicas en las que el ligante empleado presenta una coloración gris (figuras 6.21.e y 6.21.f). Finalmente, en el mortero MJM₄ se observa una franja algo más oscura hacia la superficie de la muestra (figura 6.21.i).

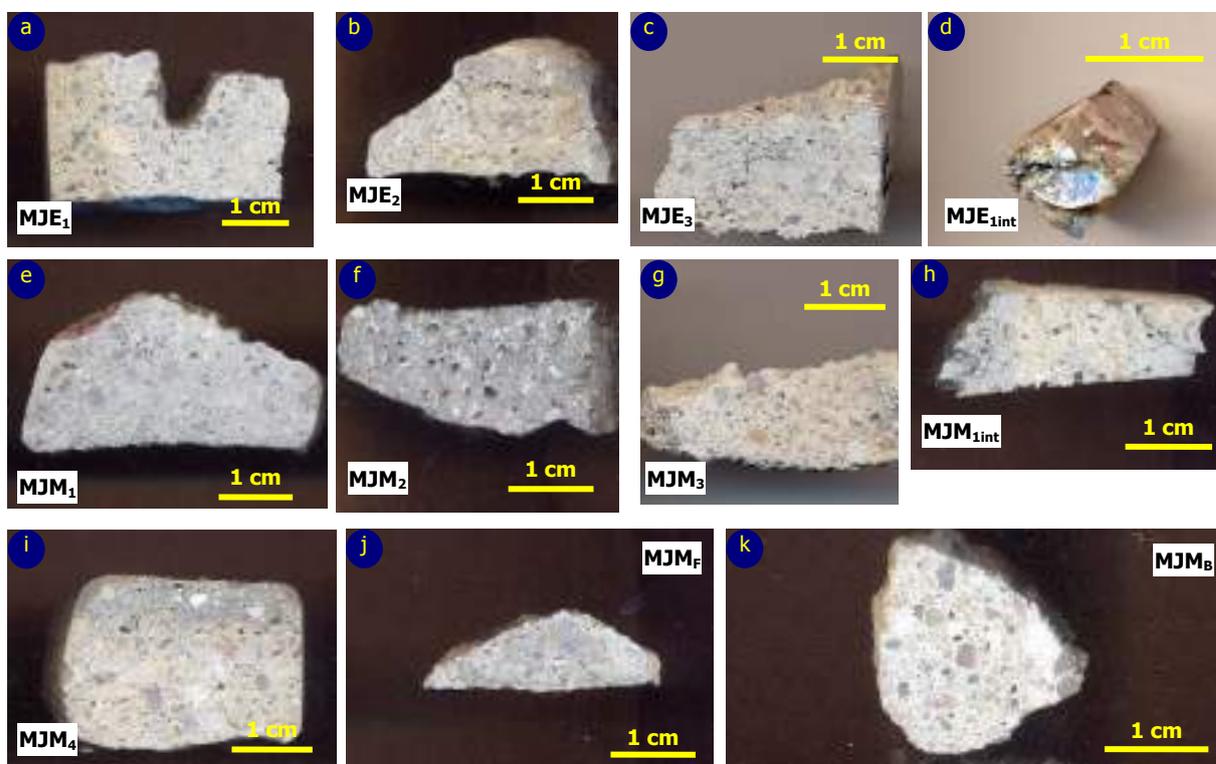


Fig.6.21. Aspecto macroscópico de las tipologías de mortero de junta identificadas en los paramentos.

Caracterización petrográfica (morteros de junta, MJE y MJM)

Los morteros localizados en el interior de las juntas, tanto en el edificio como en el muro de cerramiento (muestras MJE_{1int} y MJM_{1intr}), están constituidas por un árido correspondiente a cristales de yeso y a fragmentos cerámicos, incluidos en un ligante microcristalino de yeso (figura 6.22). El mortero MJE_{1int} contiene cristales de yeso de gran tamaño (figura 6.22.a), ya observados en muestra de mano, con morfologías angulosas. En los fragmentos cerámicos, con morfologías angulosas y subangulosas y núcleos oscuros, se identifican dos intervalos de tamaños, uno que abarca los 0,08-0,04 mm y otro 0,7-1,85 mm. Se observan algunos áridos de cuarzo y la matriz fibrosa de yeso que constituye el ligante presenta escasa porosidad. Se establece una relación árido:pasta de 3:1.

En el mortero de yeso tomado del muro (MJM_{1int}) también se observan áridos correspondientes a fragmentos cerámicos, pero con mayor homogeneidad de tamaño, abarcando el intervalo comprendido entre 0,1-0,5 mm, morfología redondeadas y carentes de zonas internas con coloración más oscura. El ligante se corresponde con una masa microcristalina en la que pueden identificarse pequeños cristales de yeso, fundamentalmente tapizando las paredes internas de la abundante porosidad que presenta (figuras 6.22.c y 6.22.d). Se estima una relación árido:pasta de 2:1.

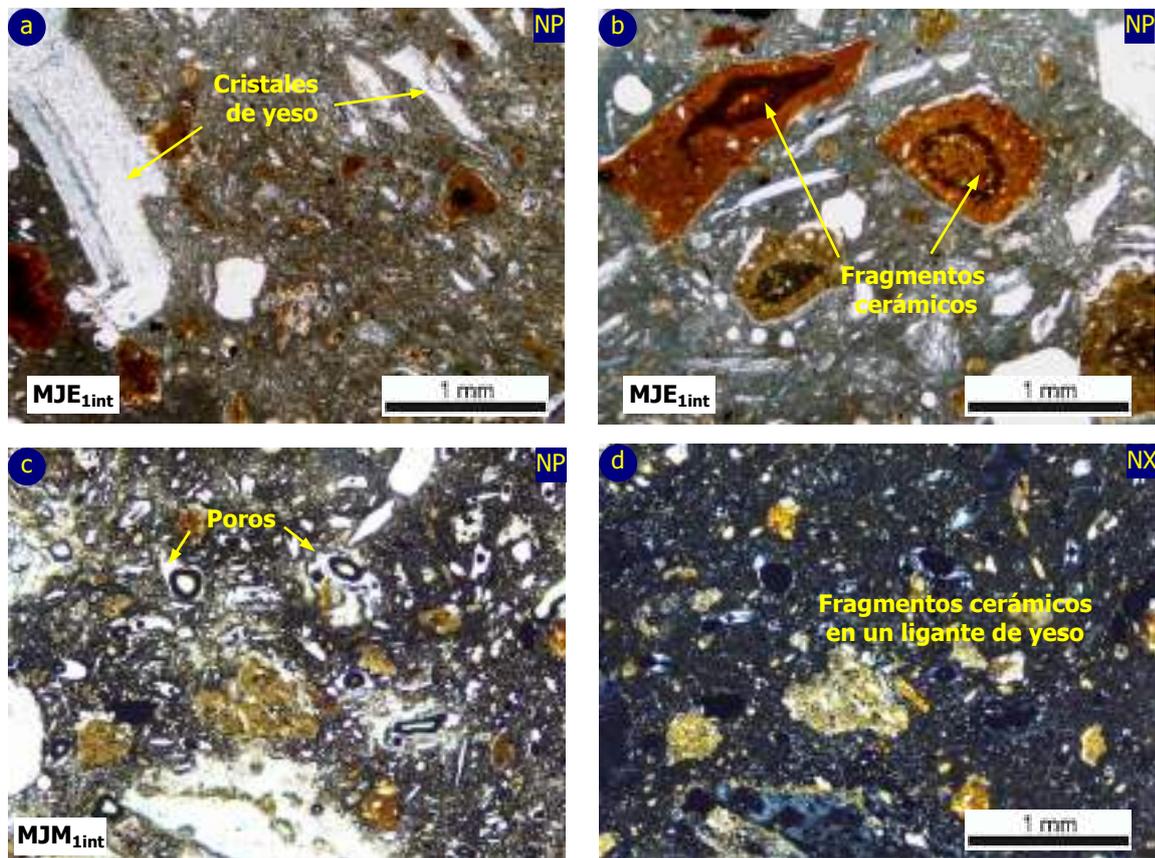


Fig.6.22. Morteros de fábrica tomados del interior de las juntas, tanto de las fachadas como de los paños del muro, observados con microscopio petrográfico de polarización. Nícoles paralelos (NP) y nícoles cruzados

En cuanto a los otros morteros tomados, están constituidos por un árido de composición fundamentalmente silíceo, identificándose principalmente áridos de cuarzo y, en menor medida, de feldespato potásico, biotita (figuras 6.23.a y 6.23.c) y fragmentos de roca granítica (figura 6.23.f). Los cristales de cuarzo son mayoritariamente monocristalinos y los de feldespato potásico presentan un importante grado de alteración. Tienen morfologías angulosas y subangulosas y se identifican dos tamaños, áridos incluidos entre los 0,05 y 0,35 mm y áridos cuyo tamaño medio es de 0,65 mm y que llegan a alcanzar tamaños milimétricos. En la muestra MJM_F el tamaño del árido es más homogéneo, presentando un tamaño medio de 0,65 mm (figura 6.23.g).

En general, el ligante muestra cierto grado de porosidad, correspondiente principalmente a poros de morfología vacuolar, y se establece una relación árido:pasta de 4:1-3:1. En las muestras MJE_2 , MJE_3 y MJM_3 , el ligante presenta una composición calcítica, identificándose además áridos de composición calcítica en su interior (figuras 6.23.a, 6.23.b y 6.23.e).

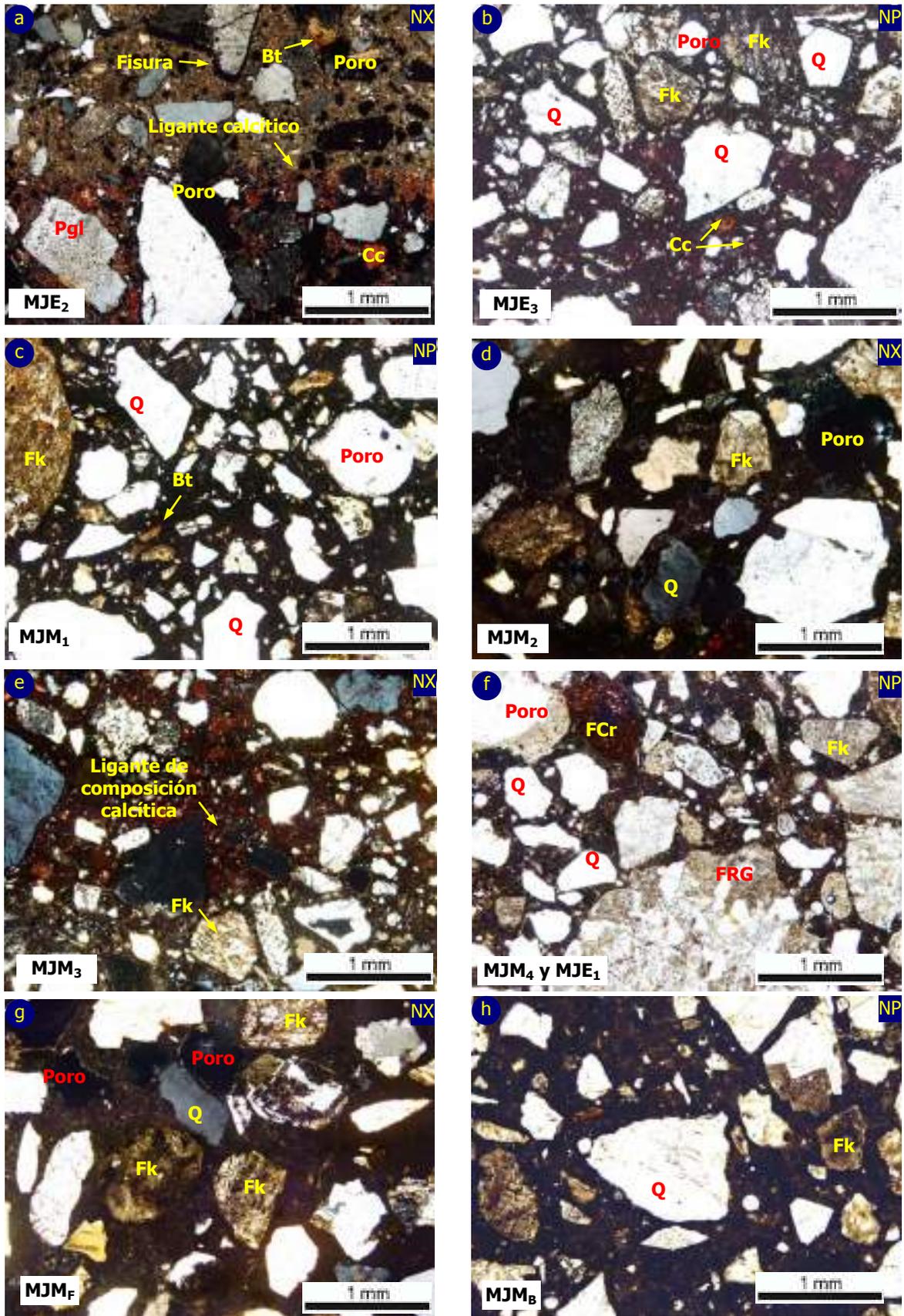


Fig.6.23. Morteros de junta caracterizados observados con microscopio petrográfico de polarización. Nícoles paralelos (NP) y nícoles cruzados (NX).

Caracterización mineralógica (morteros de junta, MJE y MJM)

Los difractogramas mostrados en la figura 6.24 confirman que las muestras MJE_{1int} y MJM_{1int} son morteros en los que se ha empleado yeso como ligante, correspondiendo los picos identificados para MJE_{1int} también a la mineralogía del árido empleado, observado mediante MOP (figura 6.22.a). En el mortero tomado del interior de la junta en las fachadas (MJE_{1int}), se han identificado también las fases minerales basanita y anhidrita. En la muestra MRM_{1int}, también se ha identificado, ligeramente, cuarzo y albita.

Respecto a los otros morteros del muro cuyos difractogramas se observan en la figura 6.25, los picos de cuarzo, feldespato potásico (principalmente microclina), albita y biotita se corresponden con la mineralogía del árido empleado. Los picos de calcita corresponden principalmente a la carbonatación del ligante, y, en los morteros MJE₂, MJE₃ y MJM₃, también a la mineralogía del árido de composición calcítica, identificado con MOP (figuras 6.21.a, 6.21.b y 6.21.e). En las muestras MJM₂ y MJM_B se ha identificado el pico principal de la alita (C3S). En los morteros MJE₁, MJM₁, MJM₄ y MJM_B se ha identificado etringita (CASH), y en la muestra MJE₂ yeso.

Se ha atendido al intervalo $2\theta = 30-37^\circ$ en las muestras MJE₂ y MJM_B. En ambas se han identificado las fases gehelenita (CAS), kilchoanita (C3S2) y belita (C2S), y en la MJE₂ también celita (C4AF).

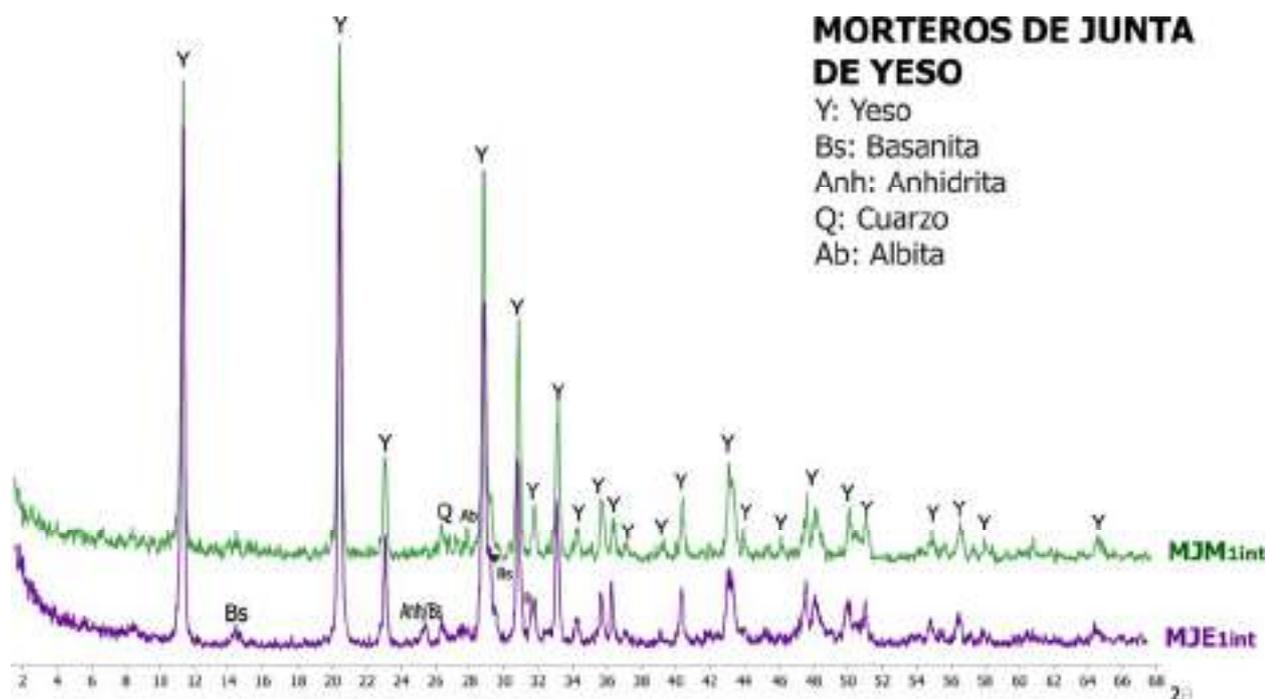


Fig.6.24. Difractogramas de Rayos X correspondientes a los dos morteros de yeso caracterizados.

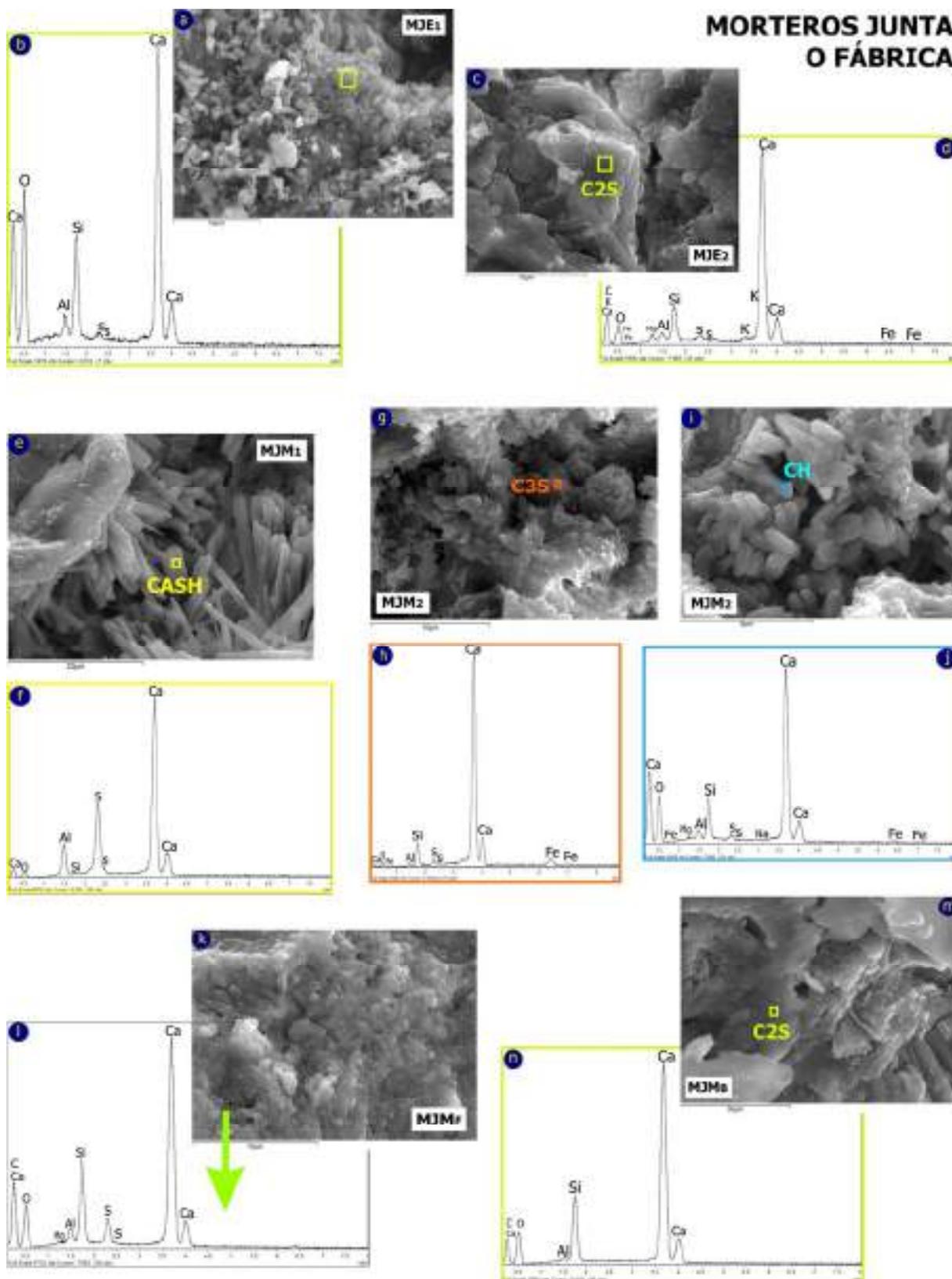
Caracterización del ligante por MEB-EDS (morteros de junta, MJE y MJM)

Los resultados obtenidos a partir del estudio con MEB-EDS, en modo electrones secundarios, del ligante en los morteros de junta seleccionados, son mostrados en la figura 6.26.

El ligante de la muestra MJE₁ se han identificado los elementos calcio (Ca), aluminio (Al), silicio (Si) y azufre (S) (figura 6.26.b). En la muestra MJE₂, el ligante está principalmente constituido por belita (C2S) (figura 6.26.c). Se han detectado los elementos químicos potasio (K), calcio (Ca), hierro (Fe), magnesio (Mg), aluminio (Al), silicio (Si) y azufre (S) (figura 6.26.d).

El ligante del mortero MJM₁ presenta un elevadísimo grado de sulfatación, identificándose la presencia de abundantes morfologías correspondientes a etringita (CASH) (figura 6.26.e) y elevándose considerablemente el pico del azufre (S) en el espectro EDX obtenido (figura 6.26.f). En el ligante del mortero MJM₂ se ha observado la presencia de alita (C3S) (figuras 6.26.g y 6.26.h) y de portlandita (CH) (figuras 6.26.i y 6.26.j).

El ligante del mortero MJM_F presenta cierto grado de sulfatación y parece estar fundamentalmente constituido por belita (C2S) (figuras 6.26.k y 6.26.l). En la muestra MJM_B, el ligante está igualmente constituido principalmente por belita (C2S) (figuras 6.26.m y 6.26.n).



6.26. Imágenes de Microscopía Electrónica de Barrido en modo electrones secundarios (MEB-ES) y espectros obtenidos mediante microanálisis EDX de algunas de las muestras correspondientes a morteros de junta.

Los análisis químicos cualitativos realizados han sido puntuales, en las zonas señaladas con recuadros, salvo para la muestra MJM_F, que el análisis mostrado se corresponde con la imagen correspondiente.

Tabla 6.6. Caracterización realizada en las muestras correspondientes a morteros de junta o fábrica.

| MJ | COLOR | | DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA (MOP) | | | | MINERALOGÍA IDENTIFICADA (DRX) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-----------|------------|--------------------------------|-------------|-------------------------|-------------|--------------------------------|----|----|----|----|-----------|----|------|----|-----|------|------|-----|-----|----|-----|---|---|
| | MJE y MJM | | a:p | Áridos | | | Áridos | | | | | Ligante** | | | | | | | | | | | | |
| Tipo | Tonalidad | CIELAB* | Comps. | Tamaño (mm) | Forma | Otros | Q | Or | Mc | Ab | Cc | Bt | Cc | CASH | CS | C2S | C3S2 | C4AF | C3A | C3S | CH | CAS | Y | |
| MJE1 | Amarillen | L* = 76,58 | 4:1/ | Q | 2 intervalos: | Angulosos | Q > mono | X | X | X | X | | X | X | | | | | | | | | | |
| | | a* = 1,40 | 3:1 | Fk, Bt | 0,05-0,35 | Subang. | Fk alterado | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | b* = 7,66 | | FRG | Tamaño medio 0,65 (> 1) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MJE2 | Amarillen | L* = 75,76 | 4:1/ | Q | 2 intervalos: | Angulosos | Q > mono | X | | X | X | X | X | | | X | X | X | | | | X | X | |
| | | a* = 1,39 | 3:1 | Fk, Bt | 0,05-0,35 | Subang. | Fk alterado | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | b* = 9,26 | | FRG | Tamaño medio 0,65 (> 1) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MJE3 | Amarillen | L* = 75,59 | 4:1/ | Q | 2 intervalos: | Angulosos | Q > mono | X | | X | | X | X | | | | | | | | | | | |
| | | a* = 2,63 | 3:1 | Fk, Bt | 0,05-0,35 | Subang. | Fk alterado | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | b* = 10,99 | | FRG | Tamaño medio 0,65 (> 1) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MJEint | Amarillen | L* = - | 3:1 | Y | FCr: 2 intervalos | Angulosos | Q disperso | X | | | | | | | | | | | | | | | | X |
| | | a* = - | | FCr | 0,08-0,04 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | b* = - | | | 0,7-1,85 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MJM1 | Gris | L* = 72,87 | 4:1/ | Q | 2 intervalos: | Angulosos | Q > mono | X | | X | X | X | | X | | | | | | | | | X | |
| | | a* = 0,58 | 3:1 | Fk, Bt | 0,05-0,35 | Subang. | Fk alterado | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | b* = 3,94 | | FRG | Tamaño medio 0,65 (> 1) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MJM2 | Gris | L* = 65,15 | 4:1/ | Q | 2 intervalos: | Angulosos | Q > mono | X | X | X | X | | X | | | | | | | | | | X | |
| | oscuro | a* = 0,84 | 3:1 | Fk, Bt | 0,05-0,35 | Subang. | Fk alterado | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | b* = 3,44 | | FRG | Tamaño medio 0,65 (> 1) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MJM3 | Amarillen | L* = 81,14 | 4:1/ | Q | 2 intervalos: | Angulosos | Q > mono | X | | X | | X | X | | | | | | | | | | | |
| | | a* = 1,74 | 3:1 | Fk, Bt | 0,05-0,35 | Subang. | Fk alterado | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | b* = 8,19 | | FRG | Tamaño medio 0,65 (> 1) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MJM4 | Amarillen | L* = 77,99 | 4:1/ | Q | 2 intervalos: | Angulosos | Q > mono | X | X | X | X | | X | X | | | | | | | | | | |
| | | a* = 2,50 | 3:1 | Fk, Bt | 0,05-0,35 | Subang. | Fk alterado | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | b* = 8,55 | | FRG | Tamaño medio 0,65 (> 1) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MJMint | Amarillen | L* = 79,85 | 2:1 | Y | FCr: 0,1-0,5 | Redondeados | | X | | X | | | | | | | | | | | | | | X |
| | | a* = 1,18 | | FCr | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | b* = 9,66 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MJMF | Gris | L* = - | 4:1/ | Q | Tamaño medio 0,65 | Angulosos | Q > mono | X | | X | X | | X | | | | | | | | | | | |
| | | a* = - | 3:1 | Fk, Bt | | Subang. | Fk alterado | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | b* = - | | FRG | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MJMB | Casi | L* = 82,20 | 4:1/ | Q | 2 intervalos: | Angulosos | Q > mono | X | | X | X | X | | X | | X | X | | | | X | X | | |
| | blanco | a* = 1,34 | 3:1 | Fk, Bt | 0,05-0,35 | Subang. | Fk alterado | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | b* = 6,27 | | FRG | Tamaño medio 0,65 (> 1) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| CARACTERIZACIÓN LIGANTE POR MEB-EDS (modo ES) | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------|---|----|----|----|----|---|-------------|-------------------------------|
| Muestra | K | Ca | Fe | Al | Si | S | Morfologías | Sulfatación |
| MJE1 | X | | | X | X | X | | Incipiente |
| MJE2 | X | X | X | X | X | X | C2S | Incipiente |
| MJM1 | X | | | X | X | X | CASH | Muy elevado grado sulfatación |
| MJM2 | X | X | | X | X | X | C3S, CH | Incipiente |
| MJMF | X | | | X | X | X | | Cierto grado sulfatación |
| MJMB | X | | | X | X | | C2S | |

*El tamaño de algunas muestras no ha permitido la determinación de los parámetros cromáticos según la escala CIELAB

**Se ha atendido al intervalo 2θ = 20-38° únicamente en las muestras MJE₂ y MJM₂

En MJE_{int} también se ha identificado mediante DRX basanita

En MJM₂ también se ha detectado con MEB-EDS el sodio (Na)

a:p: árido:pasta / mono: monocristalino / K: Potasio, Ca: Calcio, Fe: Hierro, Mg: Magnesio, Al: Aluminio, Si: Silicio, S: Azufre

6.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La observación detallada de los paramentos antes del inicio de la última intervención efectuada en el Antiguo Hospital (2006-2008) ha permitido identificar diversas tipologías de piedra artificial y morteros (de revestimiento y de fábrica o junta), en los cuales a su vez se han establecido diversos grupos. El análisis conjunto de la documentación consultada y de la información obtenida a partir de observación *de visu* y mediante las técnicas de caracterización MOP, DRX y MEB-ES con microanálisis EDS de las muestras tomadas, ha posibilitado establecer una correspondencia bastante aproximada entre sus caracteres texturales y composicionales y los tipos identificados *in situ* en el año 2006. Con la documentación consultada y la información obtenida a partir de la caracterización realizada, ha podido establecerse en gran medida cuándo las diversas tipologías y/o grupos fueron puestos en obra (tabla 6.7).

Puesto que desde la finalización de la construcción del Antiguo Hospital en 1916 hasta su rehabilitación integral entre 1984 y 1986, las fachadas no fueron objeto de intervención alguna, salvo alguna que pudiera estar relacionada con las intervenciones de emergencia realizadas puntualmente en los años 50 y 60 (epígrafes 2.2.3 y 2.2.5), se establece que, con casi total seguridad, la piedra artificial y/o morteros de revestimiento observados en las figuras 6.8 y 6.9 se corresponden con material original. La comparativa entre las fotografías mostradas en dichas figuras, realizadas en su mayoría por Fernando de Castro López-Villarino hacia 1983, poco antes del inicio de la rehabilitación integral del inmueble, y aquellas de las figuras 6.1, 6.2 y 6.3, realizadas en el año 2006 antes del comienzo de la última intervención, ha permitido conocer las modificaciones de las que los elementos configurados con piedra artificial y/o revestidos con morteros fueron objeto en la rehabilitación del inmueble de los ochenta, puesto que entre ambas intervenciones no se efectuaron operaciones que supusieran su modificación sustancial (epígrafe 2.2.6).

Las muestras estudiadas se corresponden con materiales constituidos por áridos de composición silíceo y/o calcítica en los que el yeso, la cal y/o el cemento han sido empleados como ligante (tabla 6.7). En aquellas muestras con áridos de composición exclusivamente silíceo y ligante elaborado con cemento, el cuarzo y feldespatos identificados mediante DRX se corresponden con la mineralogía del árido, y la calcita responde principalmente a la carbonatación del ligante.

Puesto que las temperaturas de formación y estabilidad de las fases minerales belita (900-1.200°C) y alita (>1.300°C) definen los cementos naturales y artificiales respectivamente (Lea 1976), y la presencia de gehlenita (<1.200°C) es característica en los cementos naturales (Callebaut et al. 2001), en la práctica totalidad de las muestras elaboradas con cemento, se corresponde con un cemento natural (tabla 6.7), ampliamente utilizado en España durante las dos primeras décadas del siglo XX, como señalan Varas et al. (2007b).

La presencia de la fase mineral portlandita (CH) revela que el cemento todavía se encuentra en proceso de carbonatación, quedando portlandita para reaccionar con el CO₂ atmosférico y formar carbonato cálcico, siendo ésta más abundante cuanto menos contacto haya tenido el mortero de cemento con el CO₂ (Varas et al. 2005). Este menor contacto puede responder bien a un menor tiempo de puesta en obra, bien a una mayor profundidad del mortero. Puesto que todas las muestras estudiadas se han tomado de la superficie de los elementos constructivos muestreados (salvo aquellas que se identificaron durante el muestreo, muestras MRG_{1c} y MRG_{1ainf} en figura 6.5), la identificación de portlandita en la muestra PA₃ y en la zona externa de MRG_{2b} podría indicar se corresponden con materiales más recientes (tabla 6.7).

6.5.1. **Piedra artificial (muestras PA)**

Si bien la piedra artificial resultaba un material más económico que la piedra natural al fabricarse en serie, la consulta de la memoria del proyecto (Palacios 1909) deja claro que el artífice concibió desde el principio la utilización de piedra artificial en la construcción. En esta Tesis se apuesta que Palacios empleó este material principalmente como impronta de modernidad, no respondiendo su utilización propiamente a la escasez de piedra caliza al término de la obra. Ahora bien, dada la tonalidad grisácea que presenta la piedra artificial empleada y la clara predilección del arquitecto por la piedra granítica, puede que, además, Palacios pretendiera se pareciera al granito utilizado.

Precisamente por esta tonalidad oscura, los elementos constructivos realizados con piedra artificial suponen un claro elemento diferenciador en las fachadas. No obstante, el artífice quiso unificarlos con la piedra caliza imprimiendo a la piedra artificial el mismo acabado superficial que el otorgado a las piezas pétreas (almohadillado). Además de los aspectos indicados, el hecho de que en las terrazas de los torreones exteriores el pasamanos de la balaustrada esté configurado con piedra artificial (figura 6.1.i) y en los interiores con piedra natural (figuras 6.1.b y 6.8.c), confirmaría, más si cabe, la clara intención de Palacios por el empleo de piedra artificial, pues las terrazas exteriores resultaban más vistas que las interiores.

El recrecido observado en la parte posterior de los pináculos que rematan los cuerpos semicirculares de la iglesia (figura 6.i.j), sí que podría responder a la escasez de piedra caliza a la finalización de las obras. Sin embargo, no se entiende muy bien su utilización, puesto que es muy poca la cantidad de piedra de más que se necesitaba, resultando más laborioso amoldar el recrecido a la irregularidad de la piedra, dimensionarlo según la forma de la pieza y unir ambos materiales. No puede afirmarse que todos los elementos constructivos realizados en piedra artificial se correspondan con un material macizo, pues el ladrillo observado en la muestra PA_{1a} (figura 6.10.a) podría indicar una posible fábrica interna de ladrillo en los balaustres. De las tres tipologías de piedra artificial establecidas en las fachadas, la documentación gráfica ha permitido comprobar que las tipologías 1 y 2 ya estaban antes de la intervención de los años ochenta, mientras que entonces la tipología 3 no se observaba.

Con casi total seguridad, las tipologías 1 y 2 se corresponden con material original, mientras que el tipo 3 fue puesto en obra en los años ochenta, apreciándose tres aspectos que confirmarían esto último. Por un lado, la superficie curvada sobre la que asientan los balaustres de menor tamaño observada en 2006, realizada con piedra artificial tipo 3 (figuras 3.7.a y 6.1.i), sustituye a las tejas inclinadas del sistema catalán de evacuación del agua de lluvia en la pavimentación de las terrazas de las naves (1 en figura 6.8.c). Por otro, la identificación en el pasamanos del cuerpo de entrada de albardillas configuradas y/o revestidas con la piedra artificial tipo 3 (figuras 6.1.e y 6.8.g) confirmaría que fue puesta en obra en la intervención de los años ochenta, pues antes de dicha intervención se apreciaba en estas mismas zonas de la balaustrada el desprendimiento de albardillas (figura 6.8.b). Por último, el sellado observado en la cara superior y posterior de los balaustres pétreos, correspondiente al tipo 3, en las terrazas rectangulares de los torreones exteriores (figura 6.1.i), no estaba hacia 1983 (figura 6.8.f). Las muestras pertenecientes a los tipos 1 y 2 presentan similitudes texturales y composicionales, aunque entre las mismas se han observado ciertas diferencias. La muestra equivalente a la tipología 3 es claramente distinta (tabla 6.8).

6.5.1.a. Piedra artificial tipos 1 y 2 (muestras PA₁ y PA₂)

El árido empleado en estas muestras es principalmente de composición silíceo (figuras 6.11.a-6.11.f), correspondiendo los picos de cuarzo y feldespatos identificados mediante DRX a la mineralogía del árido (figura 6.12). Los picos de calcita identificados mediante DRX y los elevados niveles de calcio (Ca) detectados mediante microanálisis EDS (figuras 6.13.b, 6.13.c, 6.13.e-6.13.g), responden principalmente al proceso de carbonatación del cemento. En la muestra PA_{1a}, donde se han identificado mediante MOP áridos de composición calcítica (figura 6.11.a), los picos de calcita identificados con DRX también corresponden a la mineralogía del árido.

Los escasos bordes de corrosión observados en el árido mediante MOP (figuras 6.11.a y 6.11.d) pueden responder a la superficialidad de las muestras tomadas, esto es, al estar en contacto con el CO₂ atmosférico, el cemento ha carbonatado rápidamente en esta zona, no teniendo tiempo de atacar al árido silíceo pues su alcalinidad ha disminuido en un corto periodo de tiempo. La escasa fisuración observada puede deberse principalmente al correcto lavado del árido así como al fraguado lento del cemento (Varas et al. 2005), de ahí en parte el buen estado de conservación que presentan en general los elementos constructivos muestreados.

Los resultados obtenidos mediante DRX y MEB-EDS, indicarían que el ligante de las muestras caracterizadas se trata de cemento natural, presentando un mayor o menor grado de sulfatación. Por un lado, en las muestras PA_{1a}, PA_{1d} y PA_{2a} se ha identificado con DRX la fase mineral belita (C2S) y/o etringita (CASH), y en la muestra PA_{1a} también gehlenita (CAS). Las morfologías observadas mediante MEB-ES en el ligante de las muestras PA_{1a} y PA_{1d}, así como los espectros EDS obtenidos (figura 6.13), podrían confirmar la presencia de belita (C2S) y gehlenita (CAS) en los mismos. Por otro lado, el azufre (S) detectado en los análisis de la muestra PA_{1a} (figuras 6.13.b y 6.13.c), revelaría cierto grado de sulfatación del ligante. Para la muestra PA_{2a}, los cristales de etringita (CASH) observados mediante MEB-ES (figura 6.13.d) y la importante presencia de azufre (S) detectada en el análisis puntual realizado (figura 6.13.g), confirmarían una mayor sulfatación del ligante.

De existir alita (C3S) en el ligante de las muestras PA_{1d} y PA_{2a}, fase mineral identificada con DRX (figura 6.9) pero no observada con MEB-ES en la zona de muestra analizada, la presencia conjunta de las fases minerales alita y belita podría responder al empleo de un cemento natural y que durante su clinkerización se generaran "puntos calientes", permitiendo las mayores temperaturas alcanzadas en estos puntos la formación incipiente de alita (Varas et al. 2005).

Las diferentes características texturales y composicionales que presentan las seis muestras pertenecientes a las tipologías 1 y 2 (tabla 6.8), podrían responder al empleo de diferentes materias primas para elaborar la piedra artificial que conforma los elementos muestreados. De ser así, posiblemente, los elementos constructivos configurados con piedra artificial fueran fabricados en diferentes talleres y/o con materias primas diferentes. Si bien a partir de la observación detallada de las fachadas se considera que las muestras pertenecientes a sendas tipologías corresponden a material original, no se descarta sin embargo que antes de la intervención de los años ochenta se actuara sobre los elementos que configuran, reponiendo y/o sustituyendo la piedra artificial original. En este caso, el estudio efectuado aportaría la realización de ciertas intervenciones en los materiales pétreos del Antiguo Hospital que no han quedado reflejadas en la documentación consultada.

6.5.1.b. Piedra artificial tipo 3 (muestra PA₃)

Material constituido por áridos de composición silíceo y calcíca (figura 6.11.g) y un ligante rico en calcita (figuras 6.12 y 6.13.h). La tonalidad que muestra el ligante tras la tinción de la lámina y la presencia de portlandita (CH), identificada mediante DRX (figura 6.12), señalaría que el ligante no ha carbonatado completamente. Puesto que todas las muestras correspondientes a piedra artificial se tomaron de la superficie de los elementos constructivos, la presencia de portlandita (CH) en la muestra PA₃ indicaría que se trata de un cemento más reciente que el empleado en las muestras de los tipos PA₁ y PA₂, aspecto que confirmaría la puesta en obra de la tipología PA₃ en los años ochenta. Teniendo en cuenta también las morfologías grumosas observadas mediante MEB-ES (figura 6.13.h) y el espectro EDS obtenido (figura 6.13.i), el material correspondiente a la muestra PA₃ podría tratarse de un mortero mixto de cal y cemento con diversos aditivos para otorgar la tonalidad grisácea que presenta (figura 6.10.g). Los datos obtenidos no permiten establecer si se corresponde con un cemento natural o artificial. Sin embargo, si fue puesto en obra en los años ochenta, posiblemente se trate de cemento artificial.

6.5.2. Morteros de revestimiento (muestras MRC y MRG)

El empleo de morteros de revestimiento responde bien a una clara intencionalidad por parte del arquitecto, concibiendo su utilización desde el principio de la obra revistiendo fábricas de ladrillo como hiciera en otras construcciones, como impronta de modernidad y/o como medida cautelar para ajustar la economía, bien a dificultades económicas que debieron surgir a la finalización de las obras.

6.5.2.a. Morteros de revestimiento imitación caliza (muestras MRC₁ y MRC₂)

Puesto que Palacios (1909) no hace referencia alguna al empleo de morteros de revestimiento y el hecho de que este material se localizara fundamentalmente en las zonas más elevadas de la construcción, realizadas a la finalización de las obras, cuando debieron surgir los problemas económicos y de falta de tiempo, posiblemente su utilización sí que pudiera deberse a ajustes presupuestarios al término de la obra. No se descarta sin embargo que el arquitecto contemplara desde el principio su posible utilización, como una medida cautelar para ajustar *a priori* los presupuestos, pensando las dificultades económicas que surgirían al final de las obras.

La hoja interna de la portada de la iglesia, en donde verdaderamente este revestimiento pasa desapercibido y se confunde con la piedra caliza (figura 6.1.l), supone cierta excepción, pues se considera una zona poco apropiada para escatimar en gastos, reflejando tal vez el empleo de este mortero cierta intencionalidad. De hecho, una de las características de la arquitectura metropolitana de Palacios es precisamente el empleo de morteros de revestimiento que imitan la piedra empleada en sus construcciones (figuras 3.15 y 3.18). Fuera por el o los motivos que fueren, se apostó por emplear un mortero que imitara a la piedra caliza, proporcionándole una tonalidad y acabado superficial similares. Por otro lado, los estrechos parapetos de las naves en donde se ha observado este tipo de mortero (figura 6.2.c), pudieron seleccionarse para ensayar *in situ* diferentes acabados superficiales o comprobar cómo este mortero resultaba antes de ser puesto definitivamente en obra. Se considera que la existencia del mortero original en estas dos zonas tan puntuales, refleja el deseo por su conservación durante las dos principales intervenciones acometidas (años 1984-1986 y 2006-2008).

La tipología MRC₁ (muestras MRC_{1a}, MRC_{1b} y MRC_{1c}) se corresponde con material original y el tipo MRC₂ (muestras MRC_{2a} y MRC_{2b}) fue puesto en obra en los años ochenta. Las zonas que en el año 2006 se ha observado están revestidas con la tipología 2, originariamente lo estuvieron por un mortero muy similar a la tipología 1. El mortero original mostraba antes de la rehabilitación de los 80 un avanzado estado de deterioro (figuras 6.8.a, 6.8.c, 6.8.d, 6.8.e y 6.9.c), de ahí que fuera sustituido entonces completamente por el tipo 2.

Para la aplicación de la tipología 2 en los años ochenta, también se empleó un mortero con tonalidad similar a la piedra caliza y el acabado superficial otorgado recuerda a las tiradas lisas de las piezas pétreas (figura 6.2.e). Además, este acabado posibilitaba que el mortero presentara una tonalidad diferente según el acabado superficial, resaltando las líneas de fachada. De hecho, durante la entrevista mantenida con Andrés Perea, indicó que este nuevo mortero fue aplicado por descendientes de aquellos que aplicaron el mortero original.

Las tres muestras pertenecientes a la tipología original (MRC_1) son morteros de cemento con áridos principalmente de composición silícea (figuras 6.16.a-6.16.d y dos difractogramas inferiores en figura 6.18). Habría sido de esperar que en algunas de las muestras caracterizadas del tipo MRC_1 , se hubieran empleado como áridos fragmentos de roca correspondientes con la piedra caliza empleada en la construcción del inmueble. Las muestras MRC_{1a} y MRC_{1b} presentan similares caracteres texturales y mineralógicos, indicando la identificación mediante DRX en ambas de las fases minerales belita (C2S) y gehlenita (CAS) que el ligante empleado para su elaboración era un cemento natural (figura 6.18). La presencia de yeso en sendas muestras, y de etringita (CASH) en MRC_{1b} , revela cierto grado de sulfatación del cemento.

En la muestra MRC_{1c} , la DRX (figura 6.18) no permite establecer la naturaleza del ligante. Considerando la información aportada mediante MEB-ES y EDS (6.20.a-6.20.b y 6.20.c) y teniendo en cuenta se corresponde con material original, es muy posible que se trate de cemento natural. La formación de cristales de calcita (Cc) y de etringita (CASH), se corresponderían principalmente con los procesos de carbonatación y sulfatación que experimenta el ligante, respectivamente.

Las muestras MRC_{2a} y MRC_{2b} corresponden a un mismo mortero de cal con áridos de composición calcítica (figuras 6.16.e-6.16.h y 6.18), formando la calcita identificada mediante DRX tanto parte del árido como del ligante y de la carbonatación del mismo. El que la mayoría de estos áridos sean fragmentos de roca caliza con caracteres petrográficos muy similares a la piedra caliza de los paramentos, indica que seguramente para la elaboración del tipo MRC_2 se emplearon piezas pétreas de los elementos desmontados durante la intervención de los años ochenta (figuras 2.7.a, 2.7.g y 2.7.i). El material opaco que rellena total o parcialmente las fisuras observadas mediante MOP (figuras 6.14.e-6.14.g), se corresponde posiblemente con materia particulada procedente de la contaminación atmosférica existente en el ambiente urbano en donde se localiza el inmueble (tercera parte de la Tesis). Tal vez, considerando el aspecto que mostraban ambas muestras en los paramentos (figuras 6.2.e y 6.5), la franja oscura observada en muestra de mano en MRC_{2a} y MRC_{2b} (figuras 6.14.d y 6.14.e) esté relacionada con su ensuciamiento superficial.

La DRX ha permitido comprobar que la capa superficial observada sobre la muestra PA_{1d} (figura 6.10.d) se presenta la misma composición mineralógica que el mortero del tipo MRC_2 (comparar los dos difractogramas superiores de la figura 6.18). A la vista del aspecto macroscópico que presenta esta capa superficial, posiblemente se trate del material empleado para la elaboración del mortero tipo MRC_2 , que debió aplicarse sobre la piedra artificial, a modo de revoco, en la intervención de los años ochenta, pero con una tonalidad grisácea, parecida a la piedra artificial original que revestía (muestra PA_{1d}).

6.5.2.b. Morteros de revestimiento imitación granito (muestras MRG₁ y MRG₂)

Este mortero, que también por su tonalidad y la predilección de Palacios por la piedra granítica (mismos motivos que para la piedra artificial tipos 1 y 2), se ha pensado en principio tal vez pretendiera imitar al granito empleado en la construcción. Sin embargo, se apuesta porque en realidad Palacios lo consideró también como piedra artificial, respondiendo su tonalidad sencillamente a las materias primas utilizadas para su elaboración, resultando más apropiado referirse al mismo simplemente como mortero de tonalidad grisácea. Ciertamente, como se ha indicado, si la piedra artificial posiblemente intentara con su tonalidad parecerse al granito empleado en la construcción, sucedería lo mismo con dicho mortero. La localización de este tipo de mortero en zonas bajas y muy visibles de las fachadas, por ejemplo, cubriendo antepechos y/o alféizares en el nivel inferior de la iglesia, revelaría una clara intencionalidad en su utilización y no tanto una carestía económica a la finalización de las obras. Por tanto, al igual que la piedra artificial, su utilización fue concebida desde el principio, suponiendo también una impronta más de modernidad para la construcción. Si Palacios efectivamente lo consideró como piedra artificial, los términos *impostas* y/o *otros* indicados en la memoria del proyecto, pudieran referirse precisamente a los alféizares y antepechos (nota 13 del capítulo 6). Este material era muy similar al empleado para elaborar la piedra artificial, si bien los elementos constructivos configurados con la misma se fabricaban en taller y el mortero de revestimiento era aplicado *in situ*, sobre el material (ladrillo principalmente) a cubrir.

Las muestras MRG_{1a}, MRG_{1b} y MRG_{1c}, pertenecientes a la tipología MRG₁ establecida, corresponden a un mortero de cal con áridos de composición calcítica (figuras 6.17 y 6.19). La muestra MRG_{1ainf} presenta caracteres texturales y composicionales similares a la muestra PA_{1d}, material original (comparar figuras 6.11.d con 6.17.d y difractogramas de PA_{1d} en figura 6.12 con el de MRG_{1ainf} en figura 6.19). Así, se trata de un mortero constituido por áridos de composición principalmente silíceo en un ligante de cemento; la identificación mediante DRX de las fases minerales belita (C2S) y gehlenita (CAS) (difractograma de MRG_{1ainf} en figura 6.19) y la confirmación con MEB-EDS de la presencia de belita (C2S) en el ligante (figuras 6.20.e y 6.20.f), señalarían se corresponde con cemento natural. Si, como los resultados obtenidos indican, las muestras MRG_{1ainf} y PA_{1d} corresponden al mismo material, el mortero MRG_{1ainf} se trataría de material original. Además, en ambas muestras, mediante DRX se ha identificado la posible formación incipiente de alita (difractogramas de PA_{1d} en figura 6.12 y de MRG_{1ainf} en figura 6.19), aunque en ninguna de ellas esta fase mineral ha sido identificada mediante MEB-EDS. La presencia de portlandita (CH) en MRG_{1ainf}, identificada únicamente mediante DRX (figura 6.19), podría deberse a que, al tratarse de un mortero que ha estado cubierto (por el mortero MRG_{1a}), el ligante ha estado menos expuesto al CO₂ atmosférico y no ha carbonatado completamente.

Los resultados obtenidos indicarían que sobre el material original correspondiente a la muestra MRG_{1ainf}, fue aplicado en los años ochenta el correspondiente a la muestra MRG_{1a} (figura 6.5), equivalente a las muestras MRG_{1b} y MRG_{1c}. Además de presentar las muestras MRG_{1a}, MRG_{1b} y MRG_{1c} el mismo aspecto macroscópico, mismos caracteres petrográficos y mineralógicos, coinciden con los observados en el mortero de revestimiento imitación caliza aplicado por entonces, tipología MRC₂ (comparar aspecto macroscópico de las muestras MRC₂ con MRG_{1a}, MRG_{1b} y MRG_{1c} en las figuras 6.14-6.15, sus caracteres petrográficos en 6.16-6.17 y sus difractogramas en 6.18 y 6.19). La intensa tonalidad oscura observada en la totalidad (figura 6.15.a) o en la superficie de las muestras (figura 6.15.c), se corresponde posiblemente con la pigmentación añadida para simular la tonalidad grisácea del material original a cubrir, equivalente a la muestra MRG_{1ainf} (figura 6.5).

Por tanto, el material original que cubría la fábrica de ladrillo de los antepechos y alféizares (correspondiente a la muestra MRG_{1ainf}) fue revestido también durante la intervención de los ochenta, con el mismo mortero que el empleado para reemplazar a la tipología original MRC₁, pero otorgándole una tonalidad grisácea, algo más clara que la del material original infrayacente (correspondiente, como se ha indicado, a la muestra MRG_{1ainf}).

Del mismo modo que a los elementos configurados con piedra artificial se les imprimió un acabado superficial, la rugosidad observada en la superficie de algunos antepechos (figura 6.2.g) hace pensar que así lo estuvieron todos originariamente y que entre 1984-1986 se aplicó en muchos de ellos un nuevo revestimiento, también a modo de revoco, sobre el original, con una superficie lisa y similar tonalidad (figura 6.2.h). Esta observación coincidiría con lo anteriormente indicado, correspondiéndose la muestra MRG_{1a} (también las muestras MRG_{1b} y MRG_{1c}) con este nuevo revoco, aplicado sobre el material original que revestía antepechos y alféizares y presentando una superficie lisa (figura 6.2.h). Por tanto, en la tipología MRG₁ identificada en las fachadas, en las zonas donde el mortero presenta una superficie rugosa (sólo en antepechos, en estas zonas no se ha tomado muestra) se trata de material original y, las superficies lisas (en antepechos y alféizares, se han tomado las muestras MRG_{1a}, MRG_{1b} y MRG_{1c}) se corresponden con mortero aplicado sobre el original durante 1984-1986. Esta superficie rugosa observada, junto con el hecho de que la muestra MRG_{1ainf} se elaborara con un material similar al empleado en algunas de las piezas configuradas con piedra artificial, podría revelar que originariamente Palacios quiso tratar el revestimiento de los antepechos como si de piedra artificial se tratara.

Se desconoce si la aplicación de la capa de pintura sobre la muestra MRG_{1c} (figura 6.15.c) se realizó durante la intervención de los años ochenta. Ciertamente, esta pintura presenta una tonalidad y acabado superficial muy similar a la tonalidad y acabado superficiales que presenta la tipología MRC₂, aplicada entonces. Tal vez, con intención de igualar la coloración de este mortero tipo MRC₂, la capa de pintura se aplicó posteriormente, pues no tiene mucho sentido que en la misma intervención el nuevo mortero recién puesto en obra fuera pintado.

El mortero que configura el pedestal de las chimeneas de ventilación, correspondiente a la muestra MRG_{2a}, fue puesto en obra durante la rehabilitación de los ochenta (comparar figuras 6.2.i y 6.9.c), sustituyendo a las baldosas cerámicas originales (1 en figura 6.9.c). Aunque *in situ* muestra un aspecto similar a MRG_{2b}, simulando ambos verdaderamente el granito utilizado en la construcción (figura 6.2.i), presentan caracteres petrográficos y mineralógicos bien diferentes. La muestra MRG_{2a} se trata de un mortero de cal con áridos principalmente de composición calcítica (figuras 6.17.e y 6.19), formando parte la calcita identificada mediante DRX tanto de la mineralogía del árido como del ligante, y las dos zonas observadas en la muestra MRG_{2b} corresponden a morteros de cemento con árido de composición fundamentalmente silícea.

El mortero que reviste la zona superior del cuerpo de las chimeneas de ventilación seguramente se trate de material original (2 en la figura 6.9.c), que fuera conservado en la intervención de los 80 y sobre el que se aplicara un nuevo mortero de tonalidad similar (comparar figuras 6.2.i y 6.9.c). Este nuevo mortero fue igualmente colocado en la zona inferior del cuerpo de las chimeneas, eliminándose el aplacado cerámico (1 en la figura 6.9.c). Así, las dos zonas claramente diferenciadas en la muestra MRG_{2b} podrían corresponderse con el mortero original (zona interna, más clara) y con el puesto en obra entre 1984-1986 (zona externa, más oscura). Como se ha indicado, ambas zonas responden a un mortero de cemento constituido por áridos que presentan importante variabilidad mineralógica, de composición silícea y calcítica (figuras 6.17.f, 6.17.g y 6.17.h). La calcita identificada mediante DRX también responde en gran parte al proceso de carbonatación del ligante (figura 6.18). Si la zona interna efectivamente se correspondiera con material original, los fragmentos de roca caliza observados indicarían que originariamente también se empleó la piedra caliza utilizada en la construcción, tal y como se ha comentado para las muestras pertenecientes a las tipologías MRC₂ y MRG₁ (salvo la muestra MRG_{1ainf}).

En la zona interna, la presencia de belita (C2S), identificada mediante DRX y MEB-EDX (figuras 6.19, 6.20.g y 6.20.h), señalaría que para su elaboración se empleó cemento natural, aspecto que confirmaría que esta zona interna podría efectivamente corresponderse con material original. La alita identificada con DRX (figura 6.19) podría deberse a la existencia de "puntos calientes" durante la clinkerización.

Puesto que la zona externa del mortero MRG_{2b} corresponde, con casi total seguridad, a material puesto en obra en los años ochenta, sería de esperar que entonces se empleara cemento artificial. Sin embargo, la fase mineral alita (C3S) identificada con DRX no ha sido observada mediante MEB-ES. Por otro lado, la existencia de portlandita (CH) en la zona externa, únicamente identificada mediante DRX (figura 6.19), señalaría que efectivamente se corresponde con un mortero más reciente que el de la zona interna, en donde este producto de hidratación no ha sido identificado.

Con la información obtenida a partir de la caracterización realizada, se establece que los morteros de revestimiento imitación granito (o simplemente con tonalidad grisácea), empleados durante la intervención acometida entre 1984 y 1986 se corresponden con, al menos, con tres tipos de morteros diferentes. Así, en las muestras caracterizadas, por un lado se ha diferenciado el mortero MRG₁ (de cal con árido calcítico) de superficie lisa que reviste los alféizares (muestra MRG_{1a}), los antepechos (muestra MRG_{1b}), la chimenea próxima a la iglesia (muestra MRG_{1c}) y el pasamanos de la balaustrada anexa al cuerpo de instalaciones (capa sobre muestra PA_{1d}). Por otro, el revestimiento aplicado en el pedestal de las chimeneas de ventilación (muestra MRG_{2a}, de cal con árido de composición carbonática). En tercer lugar, el mortero que recubre el cuerpo de las mismas (zona exterior de la muestra MRG_{2b}), posiblemente correspondiente a un mortero elaborado con cemento artificial, con árido principalmente silíceo.

6.5.3. Morteros de junta o fábrica (muestras MJE y MJM)

Además de tratarse de un material esencial en toda construcción, aunque no quedara reflejada su utilización en la memoria del proyecto, Palacios concibió el empleo de morteros de junta como recurso plástico fundamental de los paramentos, enriqueciendo su textura, otorgando cierta irregularidad a los mismos e incrementando el carácter regionalista de la construcción. Su particular forma de aplicación, con un encintado rehundido, también posibilitaba el mejor entendimiento del despiece de los paramentos e incrementaba la expresividad de la molduración pétreo. Su grosor, permitía además que ciertos fallos constructivos quedaran ocultos.

En las fachadas, la documentación gráfica consultada (figuras 2.3 y 2.4) permite constatar que el rejuntado de los paramentos presentaba originariamente similar aspecto al que mostraba antes de la última intervención acometida (2006-2008). Ahora bien, aunque la forma de aplicación de los morteros observada antes de dicha intervención (figuras 6.3.a y 6.3.b) efectivamente respondía a una intencionalidad por parte de Palacios, a partir de la observación de los paramentos en el año 2006, queda clara la puesta en obra de diferentes morteros de junta a lo largo de la historia del Antigo Hospital. La aplicación de estos diversos morteros de junta ha pretendido simular la aplicación original, y algunos de los morteros de fábrica observados entonces seguramente correspondían a material original.

En el muro perimetral, apenas se ha encontrado documentación que aporte información sobre el momento en el que el grueso mortero de junta que existía hasta la intervención 2006-2008 fue aplicado. En las imágenes mostradas en las figuras 2.3.b, 2.4.b y 2.4.c parece observarse que originariamente este rejuntado era más similar al que presentaban las fachadas. Aunque en los documentos consultados del Archivo Militar de Ávila no queda reflejada la aplicación de nuevos morteros de fábrica durante el funcionamiento del edificio como Hospital Militar, es altamente probable que entre los años 50-60 fuera aplicado el mortero de junta que presentaba el plano principal del nivel medio de los paños en la cara externa del muro. La aplicación de este mortero, marcando el perfecto despiece ortogonal de la fábrica, no es atribuible en ningún caso a Palacios, debía responder a una moda del momento y se ha mantenido hasta la intervención del 2006-2008 (figura 6.3.f).

Algunos de los morteros de junta observados en el año 2006, tanto en fachadas como en muro, sí que debieron aplicarse durante la intervención efectuada entre 1984-1986, pues Perea (1990) señala que se procedió con la reintegración de las juntas en las zonas en donde se estimó necesario. Independientemente de cuándo fueron puestos en obra, el encintado rehundido que en mayor o menor medida presentan todos los morteros observados, deja constancia del intento por simular con su aplicación el mortero de fábrica original.

Señala también Cabrera (2004) que el mortero de fábrica original debía presentar además el doble rehundido observado en el rejuntado del muro que soporta los jardines de la biblioteca. Puede que efectivamente el mortero existente en esta zona se corresponda con material original. Sin embargo, dado la mampostería concertada de este muro y la menor anchura que aquí presentan las juntas (figura 6.3.i), en comparación con la observada en las juntas llagueadas de las fachadas (figura 3.16.e) y de la cara externa del muro perimetral (figura 3.16.f), no parece viable que este tipo de mortero se aplicara originariamente en la totalidad de los paramentos. Así, quedó su aplicación reservada para los muros con mampostería referida en la Tesis como concertada, manteniéndose hasta la actualidad sólo en uno de los muros que soportan el jardín de la biblioteca. Gracias a su conservación, tanto en la intervención de los ochenta como en la efectuada durante los años 2006-2008, puede comprobarse a día de hoy el importante valor que este tipo de mortero añade a los paramentos, no sólo estético sino también de manufactura artesanal que debía suponer su puesta en obra.

La caracterización realizada ha permitido establecer que los morteros del interior de junta (muestras MJE_{1int} y MJM_{1int}), originales, son de yeso. Los fragmentos cerámicos empleados como áridos en el mortero MJE_{1int} (figuras 6.22.a y 6.22.b) proceden del machaqueo de ladrillos de fábrica del muro. Las diferencias texturales que presentan ambos morteros (figura 6.22) podrían indicar que se elaboraron con materias primas diferentes. Por otro lado, que las fases semihidratada (basanita) y anhidra (anhidrita) hayan sido identificadas sólo en el mortero MJE_{1int} (figura 6.24), señalaría que el yeso empleado en ambos morteros se encuentra en diferente estado de hidratación.

Además de estos morteros de yeso, el mortero correspondiente a la muestra MJM_B se corresponde también con material original. La identificación mediante DRX de las fases minerales belita (C2S) y gehlenita (CAS), confirmándose mediante MEB-EDS la presencia de belita (C2S) en el ligante (figura 6.26.m), indicaría se corresponde con un cemento natural. No se descarta sin embargo que pudiera generarse durante la clinkerización del cemento la fase mineral alita (C3S), fase mineral identificada únicamente con DRX pero cuyo pico principal puede corresponderse con uno de los picos de la microclina (figura 6.25).

El mortero MJE_2 también podría corresponderse con material original y el aspecto macroscópico observado en muestra de mano (figura 6.21.b) denota un material ciertamente algo artesanal. Incluso, el yeso identificado mediante DRX (figura 6.25) podría responder al empleo parcial del ligante utilizado en los morteros de junta interiores (de yeso). Además, las fases belita (C2S) y gehlenita (CAS) identificadas mediante DRX (figura 6.25) y/o MEB-EDS (figuras 6.26.c y 6.26.d) señalan la elaboración del mortero MJE_2 con cemento natural.

Las muestras MJE_3 y MJM_3 corresponden al mismo material; al localizarse en los planos de avance tanto en fachadas y muro (figuras 6.3.d y 6.3.e), así como presentar la misma forma de aplicación, probablemente se trate de material original. Al menos, puede afirmarse que los dos morteros fueron puestos en obra en el mismo momento. El estudio petrográfico y los difractogramas realizados en ambas muestras ha permitido determinar que se trata de un mortero constituido por áridos de composición silíceo y calcáreo (figuras 6.23.b y 6.23.e). De ser efectivamente material original, el ligante estará elaborado con cemento natural.

Las muestras MJE_1 y MJM_4 presentan igualmente caracteres texturales y composicionales similares, si bien en la segunda se identifican áridos de mayor tamaño. A partir de la observación del mortero tipo MJE_1 en las fachadas (figuras 6.3.b y 6.3.c), se considera que no corresponde a material original. Puede afirmarse que ambos morteros fueron puestos en obra en el mismo momento, probablemente en la intervención de los años ochenta. Así, la hendidura que presenta la muestra MJE_1 (figura 6.3.a) intentaría imitar el encintado rehundido original. Los resultados obtenidos a partir de la caracterización realizada revelan que podrían corresponderse con morteros mixtos, a base de cal y cemento (seguramente artificial), constituidos por áridos de composición silíceo. La capa, posiblemente de cemento, observada en la muestra MJM_4 (figura 6.21.i), debió aplicarse con posterioridad, en el rejuntado del trasdós en los 80 (figura 6.9.h), provocando el oscurecimiento superficial del mortero.

Respecto a las muestras MJM_1 y MJM_2 , son morteros de cemento con áridos de composición silíceo principalmente. El primero, existente en todos los paños del muro, fue aplicado con casi total seguridad entre los años 40-50 y, el segundo, posteriormente a la puesta en obra del primero. Ambos morteros presentan diferente forma aplicación (figuras 6.3.e y 6.3.f), diferente aspecto en muestra de mano (figuras 6.21.e y 6.21.f) y diferentes caracteres petrográficos (figuras 6.23.d y 6.23.e). Debido a la localización del mortero MJM_2 , en paños donde en el año 2006 se observaba que el muro rezumaba humedad, con el consiguiente deterioro de este mortero (figura 6.3.f), se aplicó seguramente sustituyendo al mortero MJM_1 , que debía presentar en estas zonas un avanzado estado de deterioro.

El elevadísimo grado de sulfatación que presenta el ligante de la muestra MJM₁, identificándose la fase mineral etringita (CASH) mediante DRX (figura 6.25) y observándose cristales de esta fase mineral en el ligante (figura 6.26.e), indicaría la casi total sulfatación del ligante, habiéndose transformado su mineralogía constituyente. Así, no se descartaría que, previamente a la sulfatación del ligante, éste estuviera constituido en mayor medida por alita, lo que indicaría que para la elaboración del mortero MJM₁ se empleó cemento artificial. La fase mineral alita (C3S) únicamente ha sido identificada en MJM₂, mediante DRX (figura 6.25) y MEB-ES (figuras 6.26.g y 6.26.h), revelando que se ha empleado cemento artificial para su elaboración. En el ligante de esta muestra, la presencia de portlandita, identificada con MEB-EDS (figuras 6.26.i y 6.26.j), indicaría se trata de un cemento más reciente que el empleado en el mortero MJM₁, en donde este producto de hidratación no ha sido identificado ni observado.

Respecto al mortero MJM_F, la posible presencia de belita (C2S) identificada mediante MEB-EDS (figuras 6.26.k y 6.26.l), indicaría fue elaborado con cemento natural. Al rejuntar la mampostería concertada de la cubeta de la fuente central (figura 6.3.j) pero no mostrar el doble rejuntado rehundido que se piensa debía presentar el mortero aplicado originariamente en este tipo de mampostería, al mortero MJM_F no debe corresponderse con material original.

Por tanto, se ha establecido cuándo los principales tipos de morteros de junta observados en los paramentos antes de su retirada en la última intervención efectuada, pudieron ser puestos en obra. Así, las tipologías correspondientes con los morteros MJE_{1int}, MJM_{1int} y MJM_B son originales. Los morteros MJE₂, MJE₃ y MJM₃ se corresponden con casi total seguridad a material original. La tipología de mortero equivalente a la muestra MJM₁ debió colocarse entre los años 40-50, y el tipo MJM₂ fue aplicado unos años después, en zonas donde se estimó necesario. Si las tipologías de mortero equivalentes a las muestras MJE₃ y MJM₃, aplicadas en los planos de avance de fachadas y muro respectivamente, corresponden a material original, el mortero de junta original en el plano principal del muro tal vez fuera el mismo que la tipología MJE₂, aplicado en las juntas del plano principal de fachada y posiblemente original. Finalmente, si el tipo de mortero correspondiente a las muestras MJE₁ y MJE₄ se aplicó en la intervención de los años ochenta, el rejuntado con morteros indicado por Perea (1990) supuso una importante actuación, pues los morteros correspondientes con sendas tipologías, MJE₁ en fachadas y MJE₄ en el trasdós del muro, eran muy abundantes hasta su eliminación entre 2006-2008.

Tabla 6.7. Principales resultados obtenidos tras la caracterización realizada.

| PIEDRA ARTIFICIAL | | Elemento constructivo | Colocación en obra | Ligante empleado | Presencia portlandita (CH) |
|-------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------|
| TIPO 1 PA1 | PA1a | Balaustre cuerpo central iglesia | Original | Cemento natural | No |
| | PA1b | Pasamanos cuerpo entrada | Original | | No |
| | PA1c | Recrecido posterior piezas remate cuerpo Este semicircular iglesia | Original | | No |
| | PA1d | Pasamanos balaustrada aneja entrada cuerpo instalaciones | Original | Cemento natural | No |
| TIPO 2 PA2 | PA2a | Pináculos remate torres centrales iglesia | Original | Cemento natural | No |
| | PA2b | Piezas semicirculares remate torres centrales iglesia | Original | | No |
| TIPO 3 PA3 | PA3 | Recrecido posterior balaustre pétreo anillo circulatorio central | 1984-1986 | Cal y cemento posiblemente artificial | Si |
| MORTEROS REVESTIMIENTO | | Elemento constructivo | Colocación en obra | Ligante empleado | Presencia portlandita (CH) |
| Imitación caliza | | | | | |
| TIPO 1 MRC1 | MRC1a | Escalera absidal patio central | Original | Cemento natural | No |
| | MRC1b | Nivel inferior nave NO | Original | Cemento natural | No |
| | MRC1c | Carguero naves | Original | Cemento posiblemente natural | No |
| TIPO 2 MRC2 | MRC2a | Cuerpo torreado central iglesia | 1984-1986 | Cal | No |
| | MRC2b | Entrada cuerpos instalaciones | 1984-1986 | Cal | No |
| Imitación granito | | | | | |
| TIPO 1 MRG1 | MRG1a | Alfízares cuerpos semicirculares iglesia | 1984-1986 | Cal | No |
| | MRG1b | Antepechos unión iglesia-edificio principal | 1984-1986 | Cal | No |
| | MRG1c | Chimenea iglesia (bajo capa pintura) | 1984-1986 | Cal | No |
| | MRG1a inf | Alfízares cuerpos semicirculares iglesia | Original | Cemento natural | Si |
| TIPO 2 MRG2 | MRG2a | Chimenea ventilación naves (pedestal) | 1984-1986 | Cal | No |
| | MRG2b | Chimenea ventilación naves (zona superior cuerpo) | Zona interna Original Zona externa 1984-1986 | Cemento natural Cemento posiblemente artificial | No Si |
| MORTEROS DE JUNTA | | Elemento constructivo | Colocación en obra | Ligante empleado | Presencia portlandita (CH) |
| MJE1 | | Plano principal fachadas | Posiblemente 1984-1986 | Posiblemente mixto de cal y cmto.artificial | No |
| MJE2 | | Plano principal fachadas | Posiblemente original | Cemento natural | No |
| MJE3 | | Plano avance fachadas | Posiblemente original | Cemento posiblemente natural | No |
| MJEint | | Junta interior fachadas | Original | Yeso | No |
| MJM1 | | Plano principal cara externa muro | Años 40-50 | Cemento posiblemente artificial | No |
| MJM2 | | Plano principal cara externa muro | Años 40-50 | Cemento artificial | No |
| MJM3 | | Plano avance cara externa muro | Posiblemente original | Cemento posiblemente natural | No |
| MJM4 | | Junta trasdós muro | Posiblemente 1984-1986 | Posiblemente mixto de cal y cmto.artificial | No |
| MJMint | | Junta interior muro | Original | Yeso | No |
| MJMF | | Cubeta fuente central | Posiblemente no original | Cemento posiblemente natural | No |
| MJMB | | Muro jardín biblioteca | Original | Cemento natural | No |

6.6. CONCLUSIONES

- Son muy abundantes y variadas las tipologías de materiales pétreos artificiales empleadas en los paramentos del Antiguo Hospital, correspondientes con piedra artificial, morteros de revestimiento y morteros de junta o fábrica. Por el tipo de material, su localización y/o por la función que desempeñan, a lo largo de la historia del inmueble han requerido de más actuaciones de conservación y/o restauración que la caliza o los materiales cerámicos, siendo el reflejo de las diferentes intervenciones acometidas. De este modo, algunas tipologías son originales, otras fueron puestas en obra en la rehabilitación de los años 80 y otras en intervenciones anteriores o posteriores.
- Las muestras estudiadas se corresponden con materiales constituidos por áridos de composición silíceo y/o calcítica en los que el yeso, la cal y/o el cemento han sido empleados como ligante. En los morteros de cemento, la identificación de las fases minerales belita, alita y/o gehlenita ha permitido establecer si se trata de cemento natural o artificial, y la presencia de portlandita podría revelar si un mortero lleva más o menos tiempo puesto en obra que otro, suponiendo un indicador de tiempo relativo.
- Palacios concibió la utilización de piedra artificial desde el principio de la obra, empleándola principalmente como impronta de modernidad y, tal vez, pretendiendo con su empleo imitar al granito utilizado. Las tipologías 1 y 2 (mortero de cemento natural) se corresponden con material original, mientras que el tipo 3 (mortero de cal y cemento, posiblemente artificial) fue puesto en obra en los años ochenta.
- El empleo de morteros de revestimiento responde bien a una clara intencionalidad por parte del arquitecto, concebidos desde el principio de la obra también como impronta de modernidad y/o como medida cautelar para ajustar *a priori* la economía, bien a dificultades económicas que debieron surgir a la finalización de las obras. Entre los morteros con cuya utilización pretendía imitarse a la caliza, el tipo 1 (mortero de cemento natural) es original y el tipo 2 (mortero de cal) fue aplicado en la intervención de los 80, empleando áridos de machaqueo procedentes de la piedra caliza empleada en la construcción y pretendiendo en gran parte imitar a la tipología original. Respecto a los revestimientos imitación granito, la tipología 1 responde principalmente a un mortero de cal puesto en obra en los años 80 sobre el revestimiento original (mortero de cemento natural), resultando el mismo mortero que el mortero imitación caliza aplicado entonces, salvo con la pigmentación añadida para simular la tonalidad grisácea. La tipología 2 fue también puesta en obra en los años 80, correspondiente a morteros considerablemente diferentes, un de cal y otro elaborado a base de cementos posiblemente artificial.
- Palacios concibió el empleo de morteros de junta como recurso plástico fundamental de los paramentos, enriqueciendo su textura, otorgando cierta irregularidad a los mismos e incrementando el carácter regionalista de la construcción. En fachadas y muro se han identificado morteros originales de yeso, localizados en el interior de las juntas. El estudio refleja la puesta en obra de diferentes morteros de junta, con diferente aplicación, a lo largo de la historia del Antiguo Hospital.
- La importancia del estudio realizado radica en que se ha efectuado atendiendo conjuntamente a documentación gráfica y a la información proporcionada por las diversas técnicas de caracterización empleadas. En inmuebles patrimoniales, no siempre es posible disponer de documentación gráfica tan abundante y significativa como con la que se ha contado para la redacción de este capítulo.
- Además, puesto que los morteros de junta han sido retirados en la intervención de 2006-2008, la información incluida supone un valioso documento para la historia, pues queda recogido cómo eran estos morteros ya desaparecidos, participando en el mejor conocimiento y conservación del Antiguo Hospital.

DETERIORO FÍSICO-QUÍMICO Y/O ESTÉTICO EN LOS PARAMENTOS DEL ANTIGUO HOSPITAL

La meteorización de las rocas y el deterioro de los materiales de construcción son debidos a procesos que, fundamentalmente, tienen lugar por su interacción con los agentes atmosféricos, degradándose progresivamente en muchos casos y, en otros, de forma más intensa y acelerada (Smith et al. 2008). En los procesos de deterioro pueden establecerse causas o factores intrínsecos y extrínsecos de alteración, siendo complicado tratarlos de forma aislada (Ashurst y Ashurst 1988). Un mismo agente de deterioro puede originar diferentes morfologías de deterioro, que suelen ser el resultado de varios factores de alteración actuando aisladamente o en sinergia, no revelando necesariamente los procesos que las originaron (Cooke y Warren 1973, Gomez-Heras 2006). Las causas intrínsecas están muy relacionadas con los caracteres petrológicos de los materiales y las extrínsecas abarcan aspectos más amplios y variados, desde los factores ambientales hasta el propio paso del tiempo, desempeñando un papel esencial, directa o indirectamente, el impacto humano. Así, en el deterioro del patrimonio construido deben considerarse por un lado los aspectos constructivos, en tanto que, por ejemplo, los materiales soportan esfuerzos y que su dimensionado favorece una mayor exposición a los agentes de alteración (Siegesmund y Snethlage 2011). Por otro, el aumento vertiginoso de la contaminación atmosférica, que desde hace décadas supone una seria amenaza para la conservación de las construcciones patrimoniales (Grossi y Brimblecombe 2002, Bonazza et al. 2007), especialmente en ambientes urbanos.

A lo largo de la historia, la velocidad a la que se han producido los mecanismos responsables del deterioro de los materiales ha sido muy lenta, permitiendo que construcciones de la antigüedad hayan podido llegar a nuestros días en un estado de conservación aceptable. Sin embargo, el fuerte desarrollo industrial acontecido a partir del siglo XIX ha disparado los niveles de contaminación atmosférica en áreas urbanas, acelerando el proceso natural de alteración de los materiales, principalmente los de composición carbonática (Amoroso y Fassina 1983, Winkler 1987, Sabbioni 1995, Grossi y Brimblecombe 2002, Sablier y Garrigues 2014). Los contaminantes que fundamentalmente afectan a los materiales pétreos son el dióxido de azufre (SO₂), los óxidos de carbono y de nitrógeno (CO_x y NO_x), el ozono (O₃) y la materia particulada (MP). Los ácidos nítrico, sulfúrico y carbónico son los tres contaminantes secundarios constituyentes de la lluvia ácida, que acelera los procesos de hidrólisis y disolución en la superficie de los materiales.

Muchos de los estudios acerca del deterioro por efecto de la contaminación ambiental se centran en materiales de composición carbonática, sobre todo calizas y mármoles, en gran parte por su extensa utilización en el patrimonio construido y en el arqueológico. Los documentos históricos previos a la revolución industrial referentes a la contaminación ambiental no suelen aportar análisis científicos (Ausset et al. 1998). El efecto adverso de los contaminantes en los materiales fue citado la primera vez por Voelcker en 1864; en 1925, Fox y Harrison indicaron el importante agente de alteración que suponían los óxidos de azufre y Laurie que la cristalización del yeso era uno de los agentes más destructivos de las construcciones, describiendo Kieslinger en 1932 el proceso de sulfatación como el desarrollo de costras negras sobre los materiales. Su simulación mediante la utilización de cámaras climáticas, soluciones con diferente grado de acidez o la realización de ensayos de envejecimiento acelerado, permite entender la actividad de los factores que influyen en los procesos de sulfatación (Camuffo et al. 1983, Ausset et al. 1996, Grossi et al. 2000, Böke y Gauri 2003, Olaru et al. 2010).

En atmósferas urbanas contaminadas, los elevados niveles de SO₂ y de materia particulada suponen las principales causas responsables del deterioro que experimentan los materiales de construcción. Especialmente los de composición carbonática sufren un importante deterioro físico-químico debido a procesos de disolución y sulfatación, con el consiguiente desarrollo de sulfatos autigénicos o neoformados y posterior oscurecimiento de las superficies por la progresiva deposición de materia particulada que no es eliminada por el agua de lluvia y/o por la acción del viento, formándose las costras negras de sulfatación; la rugosidad de las superficies y la presencia de sales higroscópicas contribuyen a la retención de la capa de humedad, favoreciendo las reacciones de sulfatación y la acumulación de partículas, principales responsables del ensuciamiento de las fachadas (Del Monte et al. 1981, Lipfert 1989, Hutchinson et al. 1992, Sabioni 1992, Cooke y Gibbs 1994, Winkler 1994, Camuffo 1998, Ausset et al. 2000, Esbert et al. 2001, Bonazza et al. 2005, Grossi y Brimblecombe 2007, Fronteau et al. 2010). Este daño material, además de resultar muy perjudicial para los materiales, ocasiona una importante pérdida en el valor estético (deterioro estético) de los inmuebles (Grossi y Brimblecombe 2002, 2008).

Son diversos los términos referidos al deterioro físico-químico y/o estético que experimentan los materiales de construcción debido a su interacción con los agentes medioambientales en áreas contaminadas. Haynie (1986) define el ensuciamiento de los materiales de construcción como una molestia visual que resulta por el oscurecimiento de las superficies expuestas, debido a la acumulación progresiva de materia particulada, y que puede ser eliminada mediante operaciones de limpieza. Se trata de un proceso reversible que provoca un deterioro estético, al suponer una pérdida en el valor estético de los inmuebles (Grossi y Brimblecombe 2002). Este deterioro también puede implicar la formación de las irreversibles costras negras de sulfatación, proceso que genera un deterioro físico-químico (daño material) en el material infrayacente (Yocom et al. 1986, Watt et al. 2003). En ocasiones se emplea el término ensuciamiento (*soiling* en inglés) para referirse al proceso que genera el deterioro estético, y oscurecimiento (*blackening* en inglés) cuando además se produce un daño material. Algunos autores se refieren sin distinción al *soiling* o *blackening* de los materiales de construcción (Grossi y Brimblecombe 2007) y en la bibliografía es común encontrar el término de "black soiling".

El deterioro estético, que afecta de forma generalizada a los paramentos y en el que de igual modo intervienen diversos factores, ha sido menos investigado que el impacto físico y químico de la contaminación ambiental en los materiales. La deposición de los contaminantes y su eliminación por la acción del agua y/o viento son los dos procesos que principalmente controlan los patrones de color en las fachadas (Davidson et al. 2000). Las partículas responsables del ensuciamiento suelen acumularse en zonas protegidas, mientras que en las zonas expuestas a la acción de la lluvia son más frecuentes los procesos de disolución (Butlin et al. 1992). La percepción del ensuciamiento depende tanto de su intensidad como de los patrones que sigue su distribución. En los últimos años existe cierta concienciación sobre la percepción estética de fachadas, analizándose por ejemplo el grado de tolerancia estética que provoca en la sensibilidad humana. Esta información resulta importante para la conservación y gestión de los inmuebles patrimoniales (Grossi y Brimblecombe 2004, Brimblecombe y Grossi 2005). Ahora bien, el deterioro estético de fachadas no implica necesariamente el físico-químico de los materiales, debiéndose analizar si existe un daño material en su superficie y acometiendo intervenciones de conservación que conjuntamente respondan a criterios estéticos y de daños.

Por la función hospitalaria original del inmueble objeto de estudio, fue proyectado para la iluminación y aireación constantes (Palacios 1909), y su diseño en *aspa* ha minimizado en algunos paramentos la deposición de los contaminantes. Sin embargo, tal vez Palacios no llegó a imaginarse que la evolución del entorno medioambiental provocaría irremediablemente el deterioro estético de sus paramentos así como el físico-químico de los materiales empleados en la construcción del Antiguo Hospital.

7. ENTORNO MEDIOAMBIENTAL DEL ANTIGUO HOSPITAL Y SU INCIDENCIA EN EL DETERIORO DE LOS PARAMENTOS

La zona elegida para el emplazamiento del Hospital de Jornaleros se caracterizaba por presentar a principios del siglo XX vientos fríos y saludables. Su progresiva transformación en uno de los puntos neurálgicos de la ciudad ha disparado la contaminación atmosférica, acelerando con ello el deterioro de sus paramentos.

Son muy diversos los factores que condicionan el deterioro de los paramentos, analizándose en este capítulo la calidad aire y la climatología en la zona donde se ubica el inmueble, para establecer en qué medida ambos factores han podido participar del aspecto que presentaban sus paramentos antes de las intervenciones acometidas durante 1984-1986 y 2006-2008. Para ello, se analiza por un lado a la evolución de los contaminantes atmosféricos y a la variación de los parámetros climáticos registrados en las estaciones de contaminación más próximas al inmueble, desde el año 1978 y 1979 respectivamente hasta 2009. Se presta especial atención tanto a las concentraciones de dióxido de azufre (SO₂) y materia particulada (MP), por su mayor implicación en el deterioro de los paramentos, como a la humedad relativa, por influir decisivamente en los mecanismos de deposición de los contaminantes atmosféricos en la superficie de los materiales. Se atiende especialmente también a los años previos a las dos intervenciones acometidas, entre las cuales han pasado 20 años. Por otro, se compara el aspecto de los paramentos en los años 60-70 y poco antes de la intervención efectuada en la década de los 80 con el que presentaban en el año 2006.

En ambas ocasiones, la distribución de color en los paramentos muestra importantes contrastes cromáticos, diferenciándose "zonas blancas" y "zonas negras", que además de afectar al impacto visual del Antiguo Hospital implican la acción de procesos de deterioro muy definidos, principalmente disolución-precipitación y sulfatación-ensuciamiento. La intensa tonalidad oscura y el homogéneo grado de ensuciamiento que mostraban los paramentos antes de la intervención de 1984-1986 respondía en gran parte a la utilización del carbón como principal combustible en los generadores de calor, a la proliferación de los motores diesel a partir de la década de los 70, a los casi 15 de años que llevaba abandonado el inmueble y a que hasta la fecha no se había efectuado operación alguna de limpieza. Debido a la importante mejora de la calidad del aire en Madrid a partir de 1987, a la modificación en el tipo de partículas carbonáceas emitidas y a la limpieza acometida en la década de los 80, los paramentos presentaban en el año 2006 un ensuciamiento que resultaba menos intenso que en 1984 y una modificación en la tonalidad del oscurecimiento hacia tonos más pardo-amarillentos.

Apostando por el mantenimiento preventivo del inmueble y considerando tanto la variación de las condiciones climáticas como las políticas implantadas en la ciudad para la mejora de la calidad del aire, este análisis posibilita establecer nuevas comparativas sobre la incidencia del clima futuro y de la contaminación atmosférica en el deterioro de los paramentos del Antiguo Hospital.



Cortesía de Fernando de Castro López-Villarino



Hospital de Maudes desde la calle Raimundo Fernández Villaverde, en la década de los 60 (izda.) y en el año 2010 (dcha.), observándose el antiguo paso elevado y la boca Este de acceso al subterráneo actual.

7.1. INTRODUCCIÓN

7.1.1. Contaminantes atmosféricos y deterioro de los materiales de construcción

La atmósfera está compuesta fundamentalmente por nitrógeno (78%), oxígeno (21%), dióxido de carbono (1%), trazas de argón y una serie de contaminantes. Los compuestos de azufre, de carbono, de nitrógeno, ozono y las partículas en suspensión son los principales contaminantes atmosféricos, siendo su origen tanto natural como antrópico. Las fuentes de emisión estacionarias (empresas, viviendas, industrias) originan fundamentalmente dióxido de carbono (CO_2), dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas, mientras que las fuentes móviles (transportes) generan principalmente óxidos de carbono (CO_x), NO_x , partículas y ozono (O_3). Los CO_x , el monóxido de nitrógeno (NO), el SO_2 y la mayoría de partículas principalmente se originan en la atmósfera (contaminantes primarios). Al reaccionar entre sí y combinarse con el agua de lluvia aumentan su acidez, generando el agua o lluvia ácida¹, y originan los contaminantes secundarios, como los ácidos sulfúrico (H_2SO_4), nítrico (HNO_3) y carbónico (H_2CO_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), trióxido de azufre (SO_3) y O_3 . En la atmósfera, los contaminantes pueden encontrarse en estado sólido (partículas en suspensión), gaseoso y como aerosoles, esto es, dispersión de partículas ultramicroscópicas de sólidos o líquidos.

El SO_2 se genera naturalmente a partir de la actividad volcánica y por descomposición de la materia orgánica. Sin embargo, más de la mitad del SO_2 existente en la atmósfera es emitido por la combustión de materias provistas de azufre (carbones, petróleo y sus derivados). En Europa, los niveles de SO_2 se dispararon entre los años 60 y 80 debido sobre todo a la proliferación de los motores diesel, combustible con elevadas cantidades de azufre (Cultrone et al. 2004, Sáiz-Jiménez 2003). El monóxido de carbono (CO) y CO_2 se originan en la naturaleza y en las combustiones incompletas de carbones e hidrocarburos de calefacciones, centrales térmicas y motores de los vehículos. La oxidación del CO , tanto el natural como el procedente de las combustiones, genera CO_2 .

El origen natural de los NO_x está relacionado con procesos de alta temperatura que tienen lugar en la atmósfera. Así se origina sobre todo el NO , que por su posterior oxidación con el oxígeno y/o O_3 atmosféricos se transforma en NO_2 . La combustión de los hidrocarburos de los vehículos genera abundante NO , cuya oxidación origina igualmente NO_2 . Los niveles de NO_2 son un buen indicador de las emisiones procedentes de los vehículos. El O_3 es un contaminante secundario muy oxidante para cuya generación es necesaria la presencia de NO_x , hidrocarburos y radiación ultravioleta. El O_3 disminuye durante las horas de mayor contaminación porque es consumido en las reacciones de oxidación para originar contaminantes secundarios. Los NO_x producen y a la vez hacen disminuir la concentración O_3 , por eso cuando existen menos NO_x los niveles de O_3 se disparan.

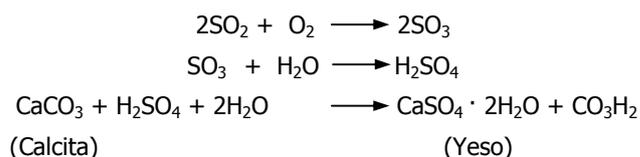
Las políticas europeas apostaron desde finales de los setenta por la progresiva reducción de las emisiones de azufre (Mylona et al. 1990) y del consumo de carbón. Sin embargo, la emisión de otros contaminantes se ha disparado por el uso masivo de los transportes, que hoy en día suponen la principal fuente de emisión de contaminantes (Searle et al. 2000, Bonazza 2005), fundamentalmente partículas, NO_x y O_3 . Otras medidas tomadas para la mejora de la calidad del aire son la disminución de los compuestos de azufre en las gasolinas, la colocación de filtros de partículas en los motores diesel, la incentivación del uso del transporte público, la renovación del parque móvil, el incremento del impuesto de circulación por la tenencia de grandes vehículos o la utilización de los biocombustibles (Monzón et al. 1999, Harrison 2004, Lumbreras et al. 2008).

¹ Smith (1872) emplea por primera vez el término "lluvia ácida", consistente en la acidificación del agua de lluvia por la transformación de SO_2 y NO_x en ácidos sulfúrico y nítrico respectivamente, si bien en muchas ocasiones se utiliza el término esté o no involucrada el agua de lluvia (Grossi y Brimblecombe 2002). Se define aquí los términos de "smog", contaminación fotoquímica generada en las capas bajas de la atmósfera al reaccionar ciertas sustancias oxidantes con el oxígeno en presencia de la luz solar y que es favorecida por fuerte insolación y vientos débiles, y el de "efecto invernadero", calentamiento de la superficie de la tierra cuando ciertos gases contaminantes se acumulan en la atmósfera e impiden que gran parte del calor recibido del sol se disipe.

El control y regulación de la calidad del aire atiende especialmente a la salud humana, pero la contaminación atmosférica afecta a otros muchos ámbitos, como a los materiales de construcción (Livingstone 1999). Ya en el siglo I a.C el poeta Horacio se quejaba del ensuciamiento de los edificios en la Antigua Roma; Cayo Plinio en el siglo I lamentaba la carencia de una legislación que velara por el medio ambiente; en Gran Bretaña entre los siglos XIII-XV fue necesaria la regulación de la producción de humos generados por la combustión del carbón y en los siglos XVII-XVIII arquitectos como Wren y Hawksmoor mostraron su preocupación por las costras de negras desarrolladas en fachadas debido a su exposición.

Ciertamente, los materiales de construcción resisten más la contaminación atmosférica que los seres humanos, pero el tiempo de actuación de los contaminantes y su exposición es mucho mayor que para las personas, pudiendo presentar sus concentraciones mínimas permitidas valores inferiores (Grossi y Brimblecombe 2002). Por otro lado, debido al carácter acumulativo de muchos contaminantes, se ha sugerido que el deterioro actual puede deberse a la deposición de contaminantes en el pasado (BERG 1989, Vleugels et al. 1993), puesto que sus precursores ya están en la superficie y/o en su interior. Debe tenerse en cuenta que una mejora en la calidad del aire no implica necesariamente que disminuya la velocidad de deterioro de los materiales (Grossi y Brimblecombe 2007). En el sexto Programa Marco (2002-2006), se financió el proyecto "Assessment of Air Pollution Effects on Cultural Heritage Management Strategies" (CULT-STRAT), que apostó por incluir en las directivas europeas sobre la calidad del aire el impacto de la contaminación atmosférica en el patrimonio cultural.

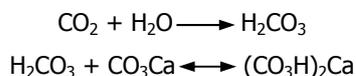
Los contaminantes atmosféricos que más afectan a los materiales pétreos son el SO₂, CO_x, NO, NO₂, O₃ y la materia particulada, resultando mínimos sus efectos en ausencia de humedad. El SO₂ provoca la sulfatación de la gran mayoría de los materiales, formándose sulfatos anhidros o hidratados, y es el contaminante más perjudicial para los de composición carbonatada (Winkler 1966, Spedding 1969, Braun 1970, Amoroso et al. 1983). El SO₂ es un gas estable a temperatura ambiente, en condiciones de sequedad y con aire limpio, pero en presencia de humedad y de otros contaminantes se transforma en ácido sulfúrico (H₂SO₄). El SO₂ gas es soluble en agua, en presencia de oxígeno (O₂) se oxida a trióxido de azufre (SO₃), formando mediante reacciones de hidrólisis H₂SO₄ que en presencia de humedad ataca al carbonato cálcico (CaCO₃) y genera yeso (CaSO₄ · 2H₂O)².



Estas reacciones de oxidación son reacciones lentas que se ven aceleradas en presencia de humedad (Camuffo et al. 1983, Ausset et al. 2000, Lefèvre et al. 2007), de la radiación ultravioleta (Zuo y Hoigne 1993) y ciertos elementos como el vanadio, hierro o manganeso, que actúan como catalizadores (Margitan 1984, Ibusuki et al. 1990). En ambientes urbanos y rurales los niveles de SO₂ resultan similares, si bien en los primeros la deposición de sulfatos es más abundante por la presencia de otros contaminantes, como el O₃ y los NO_x. El O₃ se comporta como oxidante y catalizador de las reacciones, acelerando la sulfatación de los materiales de composición carbonatada (Haneef et al. 1992). Los compuestos de nitrógeno también actúan como catalizadores en la oxidación del SO₂, incrementando la efectividad del ataque a los materiales (Livingston 1986, Johansson et al. 1988). El NO₂ al combinarse con el agua produce ácido nítrico (NO₃H), más dañino que el carbónico al ser más fuerte y oxidante. Ataca a los carbonatos para formar nitratos, que al ser muy solubles no suelen permanecer en la piedra y para su retención necesitan humedades bajas y estar en zonas protegidas del agua de lluvia.

² El yeso también puede formarse a partir de la oxidación del sulfito cálcico dihidratado (capítulo 10).

El CO₂ es muy soluble en agua, originando con las gotas de lluvia el ácido carbónico (H₂CO₃), cuyo pH inferior a 5,6 resulta muy agresivo para los materiales. Las rocas carbonáticas son poco solubles en agua, pero con elevadas proporciones de CO₂ favorece los mecanismos de disolución y transformación del carbonato cálcico (CO₃Ca) en bicarbonato cálcico (CO₃H)₂Ca.



Este compuesto es disuelto en agua y lixiviado por las aguas de escorrentía, introduciéndose también en el interior de la piedra y precipitando en sus poros, generando presiones internas que degradan el material. Si además la piedra es lavada por el agua de lluvia, su superficie puede sufrir procesos de disolución, siendo su acción más rápida si la piedra ha estado expuesta a un ambiente con SO₂ (Cooke y Gibbs 1994). La reversibilidad de la reacción implica la carbonatación de la caliza (calcita reprecipitada), constituyendo una costra superficial de intensa tonalidad blanquecina (costras de carbonatación) que otorga cierta protección a la piedra y que en principio resulta beneficiosa si presenta buen estado de conservación (Alves 2010, Blocken et al. 2013).

La cantidad total de partículas sólidas en suspensión refleja la intensidad de la contaminación atmosférica existente en un área determinada, descendiendo su número y tamaño con la altura e incrementándose con la humedad relativa (Winkler 1994). Son muy abundantes las investigaciones sobre la incidencia de la materia particulada en el deterioro de los materiales, favoreciendo la humedad de las superficies su retención (Haynie 1985, Zappia et al. 1991, Rodríguez-Navarro y Sebastián 1996, Ausset et al. 1998, Davidson et al. 2000, Smith et al. 2003). La mayoría de los procesos de combustión antrópicos generan partículas (Ghedini et al. 2003), que presentan una importante variabilidad, siendo las de composición carbonosa ricas en elementos metálicos las más abundantes en zonas contaminadas. El ensuciamiento de los materiales se debe principalmente a la deposición de las partículas generadas en los procesos de combustión, resultando mucho más intenso en las zonas urbanas que en las rurales (Hamilton y Mansfield 1991, Halsey et al. 1996).

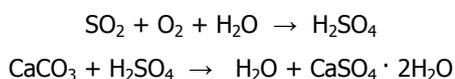
Las partículas carbonáceas suponen el principal agente responsable del ensuciamiento de fachadas en zonas urbanas (Brimblecombe y Grossi 2005), emitidas en el pasado fundamentalmente por la combustión del carbón³ y desde hace unos años por los motores diesel (Haynie 1986, Lanting 1986, Hamilton y Mansfield 1991, Rodríguez-Navarro y Sebastián 1996, Pio et al. 1998, Viles y Gorbushina 2003, Cachier et al. 2004). En Europa, durante la primera mitad del siglo XX el ensuciamiento de las fachadas principalmente se debía a la deposición de partículas carbonáceas gruesas y muy oscuras, ensuciándose incluso antes de acabar las construcciones (Newby et al. 1991, Davidson et al. 2000, Toniolo et al. 2009, Thornbush 2010, 2014). En las últimas décadas, mayoritariamente es debido al depósito de partículas más finas y menos oscuras, generadas especialmente por los motores diesel (Viles y Gorbushina 2003, Cachier et al. 2004), experimentando las fachadas un proceso de auto-limpieza por efecto de la lluvia y/o del viento que permite el lavado de los depósitos negros más antiguos (Davidson et al. 2000, Grossi y Brimblecombe 2008).

³ Además, el carbón suele presentar una elevada cantidad de cloro, generándose en su combustión el ácido hidroclórico. Este ácido se disuelve fácilmente en agua y forma un ácido fuerte, que durante épocas en las que el carbón era ampliamente utilizado posiblemente fuera una de las principales causas de deterioro de inmuebles patrimoniales.

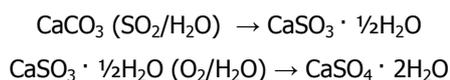
7.1.2. Factores medioambientales y patrones de color en fachadas

La dirección del viento, la humedad relativa y el régimen de precipitaciones (Furlan y Girardet 1983, Pio et al. 1998) o la concentración de materia particulada (Haynie 1986), son algunos de los muy diversos factores que condicionan la distribución de los contaminantes en la atmósfera y su deposición en las fachadas. Existen dos mecanismos fundamentales en la cinética de deposición de los contaminantes sobre la superficie de los materiales, la deposición húmeda y la deposición seca, resultando más riguroso hablar de deposición ácida que de lluvia ácida. La primera tiene lugar cuando el agua de lluvia cargada de contaminantes cae sobre los materiales (lluvia ácida), siendo un proceso relativamente rápido e intermitente que puede resultar muy perjudicial si la capa de agua depositada no es eliminada (Ausset et al. 1992, Sáiz-Jiménez 1992, Grossi y Brimblecombe 2002). La deposición seca consiste en el impacto y/o deposición directa de un contaminante, gas, partícula o aerosol sobre una superficie. Se trata de un proceso lento pero continuo que si bien no requiere agua, un mínimo de humedad es necesario para que se den las reacciones de sulfatación (Spedding 1969, Johansson et al. 1988, Spiker et al. 1992), contribuyendo al enriquecimiento en sales de las superficies (Steiger et al. 1993).

En tiempos de sequedad, los contaminantes se depositan sobre los materiales y se reactivan en periodos de humedad (Camuffo 1998), viéndose incrementada su acidez una vez disueltos (Gauri y Holdren 1981). En áreas urbanas, la deposición seca del SO₂ gaseoso y su oxidación a sulfato resulta un mecanismo de deterioro más importante que la deposición húmeda (Furlan y Girardet 1983, Grossi et al. 1998), especialmente significativo en las superficies protegidas (Camuffo et al. 1982, Johnson et al. 1990). Olaru et al. (2010) esquematizan la formación de yeso mediante ambos mecanismos. En el caso de la deposición húmeda, una vez tiene lugar la absorción del SO₂ principalmente del agua de lluvia y/o de la película húmeda depositada sobre la superficie de la piedra, se oxida e hidrata formando ácido sulfúrico, que al disolver el carbonato cálcico forma el yeso:



Para la deposición seca, el yeso se forma a partir de la reacción del SO₂ con la calcita según:



En ambientes contaminados, la deposición de partículas y su eliminación por el agua de lluvia y/o acción del viento son los principales procesos que condicionan los patrones de color en fachadas, produciéndose el ensuciamiento en varios años y necesitándose décadas para que sea retirado por el agua de lluvia (Davidson et al. 2000). La distribución de color se produce de manera heterogénea, conforme a los diferentes procesos de deterioro que actúan en los materiales según el grado de humedad de las superficies (Thornbush y Viles 2004). Así, Camuffo et al. (1982) se refieren a las "zonas negras" como las superficies expuestas a procesos de sulfatación sobre las que se han desarrollado costras negras, localizadas generalmente en zonas protegidas, donde resulta más difícil la eliminación de los contaminantes por la acción del agua y/o del viento, estando además estas zonas normalmente empapadas (condiciones que permiten la formación permanente de estas costras); a las "zonas blancas" como las superficies lavadas por el agua de lluvia, aspecto que favorece la pérdida de material por procesos de disolución (Davidson et al. 2000), que quedan cubiertas por una capa blanquecina de calcita reprecipitada (costra de carbonatación) y que apenas se ensucian pues el agua elimina las partículas depositadas; y a las "zonas grises" como las que resultan por la deposición de partículas en superficies que ni quedan empapadas ni son zonas de lavado, si bien en estas zonas pueden llegar a formarse costras negras de sulfatación, de forma intermitente y teniendo lugar el ensuciamiento más lentamente.

Ahora bien, la sulfatación de la piedra no siempre implica la formación de costras negras, pues la piedra tiene la capacidad de almacenar azufre sin ninguna transformación visible en las superficies (Winckler 1966, Braun y Wilson 1970)⁴, de modo que en ausencia de materia particulada las "zonas blancas" también pueden corresponderse con superficies sulfatadas. Sin embargo, la formación de las costras negras implica procesos de sulfatación, pues es precisamente la presencia de sales higroscópicas y su rugosidad lo que favorece la retención de las partículas que otorgan la tonalidad oscura. Por otro lado, mientras que en las "zonas grises" las superficies no muestran deterioro alguno tras la eliminación de la materia particulada, la retirada de estas partículas en las costras negras no implica la eliminación de la sulfatación, de ahí el carácter ciertamente irreversible de estas costras, pudiendo ocasionar su retirada total la erosión de las superficies.

Debido a la progresiva reducción en las emisiones de SO₂, desde hace tiempo su concentración ya no supone el factor principal de deterioro de los materiales en áreas urbanas (Vleugles et al. 1993). Sin embargo, las emisiones de los contaminantes que no se han reducido, principalmente partículas, NO_x y O₃, resultan más que suficientes para acelerar el deterioro de los materiales de construcción. Debe tenerse en cuenta que las costras de sulfatación siguen formándose, siendo necesario considerar la acción otros contaminantes que solos o en sinergia provoquen la sulfatación de los materiales de construcción (Grossi y Brimblecombe 2002).

Ciertamente, los edificios continúan ensuciándose pues la cantidad de partículas carbonáceas emitidas sigue siendo elevada (Ghedini et al. 2003, Sáiz-Jiménez et al. 2003). Sin embargo, los patrones de color se están viendo modificados principalmente por la reducción en las emisiones. Así, en atmósferas cada vez más limpias, dominadas por contaminantes más ricos en componentes orgánicos⁵ y más pobres en carbono elemental, el ensuciamiento de las fachadas presentará tonalidades más cálidas, destacando los procesos de amarillamiento (Grossi et al. 2007). Además, el clima futuro, especialmente el cambio en la cantidad y la dirección de las lluvias, favorecerá el lavado de las fachadas, eliminándose progresivamente las "zonas negras" y destacando las "zonas blancas" (Grossi y Brimblecombe 2008, Bonazza et al. 2009).

En los últimos años, la Comisión Europea ha financiado proyectos de investigación relacionados con el impacto de la contaminación ambiental en el patrimonio cultural. Cabe citar, por ejemplo, el proyecto "Model for multi-pollutant impact and assessment of threshold levels for cultural heritage" (MULTI-ASSESS EVK4-2001-00010) del quinto Programa Marco (1998-2002), que analizaba los efectos múltiples sobre inmuebles patrimoniales debido a la diversificación de los contaminantes atmosféricos, consecuencia del descenso de los compuestos de azufre y el aumento en las emisiones de NO_x, O₃ y partículas.

El interés y preocupación de los efectos del cambio climático global sobre el patrimonio cultural ha quedado encuadrado en los proyectos del sexto Programa Marco "Noah's Ark: Global Climate Change Impacts on the Built Heritage and Cultural Landscape" y "Cultural Heritage Protection against Flood" (CHEF) y, en el séptimo Programa Marco (2007-2013) "Damage Risk Assessment, Macroeconomic Impact and Mitigation Strategies for Sustainable Preservation of Cultural Heritage in the Times of Climate Change" (CLIMATE FOR CULTURE) y la implementación de una Joint Programme Initiative (JPI) sobre Cultural Heritage and Global Change: a new challenge for Europe (JHEP).

⁴ Relacionado con la formación de costras de sulfatación con nula o muy poca participación de la materia particulada, identificadas en piedra caliza de canteras y/o afloramientos (McGee y Mossotti 1992), en parte debido al incremento de acidez que puede experimentar el agua de lluvia en ausencia de las neutralizantes partículas de polvo (Winkler 1966).

⁵ El carbón con alto contenido en azufre ha ido sustituyéndose por combustibles líquidos que contienen menos azufre, lo que implica una mayor carga de carbono orgánico (Grossi y Brimblecombe 2008). Las partículas derivadas del diesel son ricas en materia orgánica, suponiendo un potencial para la actividad biológica y la oxidación a materiales parecidos a las sustancias húmicas (HULIS), que adquieren igualmente tonalidades cálidas (Graber y Rudich 2006).

7.1.3. Clima y contaminación en el municipio de Madrid

El municipio de Madrid está a una altitud media de 655 m sobre el nivel del mar en Alicante y disfruta de un clima mediterráneo continental, caracterizado por presentar valores extremos. Los inviernos son fríos, son frecuentes las heladas y ocasionalmente se producen nevadas. Los veranos son secos y calurosos, el periodo comprendido entre junio y septiembre es especialmente seco, superándose frecuentemente los 35°C. La oscilación térmica diaria es importante en la periferia urbana, pero se ve reducida en el centro de la ciudad por el efecto antrópico. Debido a su altitud y a la distancia de la ciudad con la costa, la amplitud térmica anual es elevada (19°C). La presencia de altas presiones en el centro de la Península Ibérica durante los meses de invierno y otoño, origina unas condiciones atmosféricas muy estables y unas importantes inversiones térmicas⁶, originando una capa próxima a la superficie en donde los contaminantes se acumulan (Artiñano et al. 1994).

Madrid presenta una atmósfera típicamente urbana, siendo los principales focos emisores de contaminantes los vehículos a motor⁷ y los generadores de calor doméstico (calefacción y agua sanitaria). Estos generadores son focos controlados de emisión, al estar su periodo de funcionamiento limitado entre el 1 de noviembre y el 31 de marzo. A partir de la inclusión de España a la Comunidad Económica Europea en 1986, los criterios de calidad del aire se han ido adecuando a las pautas europeas. La importante disminución en los niveles de SO₂ responde en gran medida al empleo progresivo del gas natural en las calefacciones, sustituyendo las calderas de carbón, y de gasolinas con menor contenido en azufre (Monzón et al. 1999, Artiñano et al. 2003). Esta sustitución fue favorecida por la política de subvenciones municipales llevada a cabo durante los primeros años de la década de los ochenta (Plan de Mejora de Instalaciones de Calefacción del Ayuntamiento de Madrid). Sin embargo, este descenso no se ha producido en los niveles de O₃ y de partículas (Monzón y Guerrero 2004).

Los niveles de SO₂ están principalmente relacionados con las emisiones de las calefacciones (Artiñano et al. 2003), y las concentraciones de CO y NO_x con el tráfico rodado (Monzón et al. 1999, Monzón y Guerrero 2004). Con frecuencia se superan los valores máximos permitidos de SO₂, especialmente en los meses de invierno, debido a la elevadísima congestión de la ciudad y a los largos periodos con condiciones atmosféricas muy estables (Monzón et al. 1999). El tráfico rodado origina los mayores niveles de partículas en suspensión, resultando en numerosas ocasiones alarmantes. La estabilidad atmosférica, frecuente en la ciudad durante los meses invierno, y el transporte de polvo procedente del Sahara, normalmente en verano, son las causas que de forma más significativa incrementan las concentraciones de partículas (Querol et al. 1998, Artiñano et al. 2003, Salvador et al. 2004). Otros factores como el fuerte calentamiento del suelo y la escasez de lluvia, muy comunes en Madrid en la época estival, reactivan la suspensión de partículas procedente del suelo (Artiñano et al. 2004).

⁶ Fenómeno característico de los climas continentales durante el invierno, consiste en el cambio respecto a la tendencia normal existente en la troposfera de disminución de la temperatura con la altura. Se produce cuando una masa de aire caliente se sobrepone a una masa de aire frío. En esta situación, las capas de aire frío próximas a la superficie no pueden elevarse y, al no existir circulación vertical del aire, los contaminantes atmosféricos liberados en estas capas frías quedan estancados, aumentando su concentración. La presencia de altas presiones y la ausencia de viento son los principales factores que favorecen la inversión térmica.

⁷ En la ciudad de Madrid, el tráfico rodado produce el 6% del SO₂, >80% de CO y >70% de los NO_x registrados (Artiñano et al. 2003, Monzón y Guerrero 2004). Por kilómetro recorrido, un turismo diesel emite 3 veces más NO_x y 29 veces más NO₂ que uno de gasolina (www.mambiente.munimadrid.es).

7.1.4. El tráfico rodado en el entorno del Antiguo Hospital

Como se indicaba en el capítulo 2, el Antiguo Hospital de Maudes ha sido testigo de la evolución de los transportes en la ciudad, convirtiéndose su entorno en punto neurálgico de comunicaciones. Hoy en día, el abundante tráfico en la zona es prácticamente constante, descendiendo únicamente por la noche, los días festivos y los meses estivales. Actualmente, las vías de circulación de tráfico rodado anexas al Antiguo Hospital presentan las siguientes características:

- calle Raimundo Fernández Villaverde: vía de dirección Este-Oeste con ocho carriles, cuatro para circulación sentido Este y otros cuatro sentido Oeste. Presenta una importante intensidad de tráfico prácticamente durante todo el día, con un valor de IMD⁸ de 77.510. El estacionamiento de vehículos no está permitido en ninguna de las aceras.
- calles Treviño y Alenza: son de un sólo carril con dirección Norte-Sur. El sentido de circulación es Sur en la calle Treviño y Norte en la calle Alenza. Ambas vías presentan un grado de circulación medio-bajo, registrándose en la calle Alenza un valor de IMD de 2.630. En ambas vías está permitido el estacionamiento de vehículos, en línea en la acera próxima al muro perimetral del inmueble y en oblicuo en la otra.
- calle Maudes: también de un solo carril, con dirección Este-Oeste y sentido de circulación Este. Presenta un grado de circulación medio-bajo, con un valor de IMD de 2.010. Está permitido el estacionamiento de vehículos, igualmente en línea en la acera próxima al muro perimetral del inmueble y en oblicuo en la otra.

Como también se indicaba en el capítulo 2, entre noviembre de 2003 y marzo de 2005 se derribó el paso elevado que atravesaba la glorieta de Cuatro Caminos desde 1969 y se construyó el subterráneo actual (figuras presentación del capítulo 7). Unos 80.000 vehículos pasaban diariamente sobre el paso elevado y otros 70.000 por debajo. La boca Este del túnel se localiza muy próxima a la esquina Noroeste del Antiguo Hospital (figura 7.1) y la boca Oeste a la confluencia de las avenidas de Reina Victoria y Pablo Iglesias (figura 7.3).



Fig.7.1. Boca Este del subterráneo construido bajo la Glorieta de Cuatro Caminos entre 2003-2005, muy próxima a la iglesia y a la nave Noroeste del Antiguo Hospital.

⁸ Intensidad Media Diaria (IMD) = número de vehículos que pasan por un tramo de calle en 24 horas, de un día laborable medio de un año determinado. No existe estación de aforo en la calle Treviño. Datos del año 2006, proporcionados por el Área de Gobierno de Seguridad y Movilidad del Ayuntamiento de Madrid.

7.2. OBJETIVOS

El objetivo principal es analizar en qué medida la evolución de la calidad aire y de la climatología en el entorno del inmueble han participado del aspecto que presentaban sus paramentos antes de las intervenciones acometidas durante 1984-1986 y 2006-2008. Para su consecución, se han realizado los análisis y/o estudios indicados a continuación, condicionados por los datos y la información gráfica disponible.

7.2.1. Evolución de la calidad del aire

- Establecer la evolución en la calidad del aire del entorno próximo del Antiguo Hospital en el periodo comprendido entre los años 1978 y 2009, ambos incluidos, considerando los contaminantes que más afectan a los materiales de construcción (SO_2 , CO, NO_2 , NO_x , O_3 y MP). Por un lado se analizan los niveles medios anuales registrados en el periodo [1979-2009]. Por otro, debido a la mayor implicación del SO_2 y de la MP en el deterioro de los paramentos, se establece también a la evolución mensual de sendos contaminantes.
- Considerando el intervalo [1999-2009], se atiende a la media, máximos y mínimos anuales de los niveles de inmisión de los contaminantes considerados. Además, se establece la pauta de distribución mensual según los valores medios mensuales, considerándose también los datos de temperatura y humedad relativa.
- Determinar en qué medida la sustitución del paso elevado por el subterráneo actual, realizada durante noviembre de 2003 y marzo de 2005, ha podido disminuir el nivel de estos contaminantes atmosféricos en el entorno del Antiguo Hospital. Para ello, se ha comparado la distribución horaria de SO_2 , CO, NO_2 , NO_x , O_3 y MP en los meses de abril de 2003 y 2005⁹.

7.2.2. Variación de la climatología

- Establecer la evolución de climatología en la zona oeste de la ciudad de Madrid en el periodo comprendido entre los años 1979 y 2009. Se han considerado los valores de dirección y velocidad de viento, temperatura, precipitaciones, humedad relativa y presión atmosférica.
- Se analizan los niveles medios anuales de los parámetros climáticos considerados así como su pauta de distribución mensual en el periodo [1979-2009].
- Se compararan los niveles medios mensuales de los parámetros considerados en los años 1979, 1997 y 2009. Además, puesto que la humedad es el principal agente que controla los mecanismos de deposición de los contaminantes atmosféricos sobre la superficie de los materiales, se atiende a su distribución horaria en los doce meses de estos tres años.

7.2.3. Aspecto de los paramentos antes de las principales intervenciones acometidas

- Realizar el estudio comparativo del aspecto que presentaban los paramentos del Antiguo Hospital en los años 60-70, poco antes de la intervención efectuada en la década de los ochenta y previamente a la acometida entre los años 2006-2008.
- Analizar la evolución en la concentración de SO_2 , NO_2 , NO_x , O_3 y MP así como a la variación de la temperatura y de la humedad según cuatro intervalos establecidos entre [1978-2009]. Se presta especial atención a los seis años previos a las dos importantes intervenciones efectuadas en el Antiguo Hospital, acometidas durante 1984-1986 y 2006-2008 así como a los niveles de SO_2 y de MP y a los valores de temperatura y humedad, por la mayor incidencia que el cambio climático tiene en su variación.

⁹ Se ha seleccionado el mes de abril porque en este mes en Madrid no suelen registrarse elevados niveles de contaminación atmosférica (salvo para el O_3), puesto que las temperaturas son suaves, porque abril no está incluido en el periodo oficial de funcionamiento de los sistemas de calefacción y son menos frecuentes las inversiones térmicas, si bien el tráfico es igualmente muy intenso en la ciudad.

7.3.2. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

El Instituto Central Meteorológico fue creado en el año 1887 a propuesta del Ministro de Fomento, siendo la primera institución dedicada al servicio meteorológico en España. La institución ha desempeñado el papel de Servicio Meteorológico Nacional, bajo diversas denominaciones y adscripciones. La última modificación legal tuvo lugar en 2008, cuando el Instituto Nacional de Meteorología se transformó en Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). La AEMET (www.aemet.es) tiene por objeto principal el desarrollo, implantación y prestación de los servicios meteorológicos de competencia del Estado.

En el municipio de Madrid, la red de estaciones de la AEMET consta de cuatro estaciones meteorológicas, establecidas según los criterios para la implantación de redes meteorológicas, como cubrir la totalidad del municipio o estar ubicadas en zonas abiertas. Estas cuatro estaciones, que cubren el municipio de Madrid y registran medidas representativas de su entorno, están localizadas en El Retiro, en Ciudad Universitaria, en el aeropuerto y en El Goloso. Las variables registradas son la temperatura, la dirección y la velocidad del viento, la precipitación, la presión atmosférica y la humedad relativa. Además, se proporcionan datos sobre la velocidad y dirección del viento en su racha máxima.

7.3.3. Tratamiento de los datos: estaciones seleccionadas y fuentes documentales

7.3.3.a. Evolución en la calidad del aire

Los datos recientes y en tiempo real referentes a la calidad del aire en la zona donde se ubica el Antiguo Hospital pueden ser consultados en la web www.mambiente.munimadrid.es. La solicitud del histórico requerido, periodo [1978-2009], ha sido tramitada a través del Sistema de Información Medioambiental (SIM) del Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad (AGMA y M) de la Dirección General de Sostenibilidad del Servicio de Protección de la Atmósfera del Ayuntamiento de Madrid.

Se han utilizado los datos registrados por la estación de contaminación atmosférica más cercana al inmueble objeto de estudio (Davidson et al. 2000), correspondiente a la estación de tráfico de Cuatro Caminos. Esta estación, que hasta la reestructuración de la red en el año 2010 era la nº 10, existe desde el año 1978. Hasta 1990 la estación medía sólo las inmisiones de SO₂ y partículas en suspensión, año en el que comienza a registrar también las de NO₂ y NO_x. En junio de 1991 empieza a medir los niveles de CO; en 1999, a partir de febrero los niveles de O₃ y la temperatura desde junio. Desde febrero del año 2000 registra precipitaciones y en 2010 la estación dejó de medir los niveles de inmisión de CO y O₃¹². La unidad de medida de los contaminantes considerados es µg/m³ salvo para el CO, que es mg/m³. En algunos meses, por circunstancias diversas, no se disponen de datos.

¹² No es necesario medir todos los contaminantes en todas las estaciones. Los niveles de CO en la ciudad son muy inferiores a los exigidos por la legislación y el O₃ es un contaminante que debe medirse fundamentalmente en estaciones de fondo y suburbanas y no en las de tráfico, como es la estación de Cuatro Caminos.

Al disponerse de datos de niveles de inmisión de SO₂ y partículas desde el año 1978 y al suprimirse en el año 2010 la medida de CO y O₃, se considera el periodo [1978-2009]. Se analiza también la evolución mensual en el intervalo [1999-2009] porque a partir de 1999 en la estación de Cuatro Caminos se empieza a registrar los niveles de inmisión de O₃ y la temperatura¹³.

Como se ha indicado, las partículas carbonáceas son las principales responsables del ensuciamiento de fachadas en ambientes urbanos. Lamentablemente, para el análisis realizado en este capítulo no se dispone de datos que registren únicamente su concentración, como sucede en muchas ocasiones (Grossi et al. 2003). De este modo, se utilizan los valores correspondientes a partículas en suspensión registrados por la estación de contaminación seleccionada y en la Tesis presentada se emplea de forma genérica el término de materia particulada, incluyéndose principalmente partículas sólidas de contaminación (PSC) en general, en las que se incluyen las partículas carbonáceas, y otras partículas sólidas que constituyen el aerosol atmosférico.

Desde julio de 1978 hasta junio de 1998 la estación de Cuatro Caminos (nº10) estuvo en el cruce de las calles de Santa Engracia con Bravo Murillo. Debido a diferentes elementos que obstaculizaban las mediciones, fue trasladada en julio de 1998 a la intersección de la Avenida de Pablo Iglesias con la calle Marqués de Lema (figura 7.3), funcionando aquí desde noviembre del mismo año hasta la actualidad y manteniendo la misma denominación hasta el año 2010. Se han comparado los datos recogidos por la estación de Cuatro Caminos en ambas ubicaciones en los años 97 y 99 (tabla 7.1), por si estos valores pudieran indicar la conveniencia de su tratamiento separadamente. Se considera que las diferencias obtenidas en los datos corresponden principalmente a la pauta de descenso anual en los niveles de los contaminantes. De este modo, para el análisis mostrado en este capítulo se tratan de forma conjunta los registros tomados en ambas ubicaciones.



Tabla 7.1. Valores medios anuales medidos en la estación de Cuatro Caminos en 1997 y 1998.

| AÑO | SO ₂ µg/m ³ | CO mg/m ³ | NO ₂ µg/m ³ | NO _x µg/m ³ | MP µg/m ³ |
|------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| 1997 | 28 | 1,6 | 74 | 149 | 56 |
| 1999 | 26 | 1,4 | 64 | 142 | 35 |

Fig.7.3. Ubicaciones de la estación de contaminación de Cuatro Caminos. Google Earth®

Antiguo Hospital (recuadro amarillo): Latitud 40° 26´ 44" N y Longitud 3° 42´ 4" O. Altitud 703 m.

Ubicación original estación (1), hasta julio 1998: Lat. 40° 26´ 47" N y Long. 3° 42´ 13" O. Altitud 706 m.

Ubicación actual estación (2), desde diciembre 1998: Lat. 40°26´ 43,9" N y Long. 3° 42´ 25,6" O. Altitud 699 m.

Teniendo en cuenta las dos principales intervenciones efectuadas en los paramentos del inmueble (1984-1986 y 2006-2008) y los 20 años transcurridos entre las mismas, se han establecido 4 intervalos en el periodo [1978-2009]. De este modo, el intervalo 1 incluye los años [1978-1983], el intervalo 2 los años [1984-1986], el intervalo 3 los años [1987-2005] y el intervalo 4 los años [2006-2008]. Además, puesto que el intervalo 1 abarca los seis años antes al inicio de la rehabilitación integral del Antiguo Hospital acometida en los años ochenta, en el intervalo 3 se ha establecido el intervalo 3_{bis}, que considera los seis años previos al inicio de la última intervención, esto es, desde el año 2000 hasta el 2005, ambos incluidos.

¹³ No obstante, para el análisis mostrado en el epígrafe 7.4.1.d (figura 7.7), se muestran los datos de temperatura registrados por la estación meteorológica de Ciudad Universitaria.

7.3.3.b. Variación de las condiciones climáticas

Para el análisis a realizar se ha seleccionado la estación meteorológica de Ciudad Universitaria, por ser la más cercana al Antiguo Hospital (figura 7.4) y porque recoge datos desde enero de 1979. De este modo, se ha podido analizar la variación de la climatología prácticamente para el mismo periodo que el considerado para la evolución de la calidad del aire, [1978/1979-2009]. La solicitud del histórico requerido ha sido tramitada a través del Área de Atención a Usuarios de la Unidad de Información Meteorológica de la AEMET.

Respecto a la información proporcionada por la AEMET, se han utilizado los valores medios diarios de dirección (º) y velocidad de viento (m/seg), correspondientes a la racha máxima del viento, de temperatura (ºC), precipitación (mm), humedad relativa (%) y de presión (mbares). Para la humedad relativa y presión, además del valor medio diario existe registro de datos a las 0:00, 07:00, 13:00 y 18:00 horas. No se disponen de datos para algunos meses y tampoco para el intervalo comprendido entre los años [1986-1996]. Para la presión atmosférica, sólo se dispone de registro en el intervalo [1979-1985].



Fig.7.4. Localización de la estación meteorológica de Ciudad Universitaria. Google Earth®

Antiguo Hospital (recuadro amarillo): Latitud 40º 26´44" N y Longitud 3º 42´4" O. Altitud 703 m.

Ubicación de la estación (1): Latitud 40º 27´6" N y Longitud 3º 43´27" O. Altitud 664 m.

7.3.3.c. Comparativa en el aspecto de los paramentos en los años 60-70 y hacia 1983-1984 con el año 2006

Para observar el aspecto que presentaban los paramentos del Antiguo Hospital antes de la intervención de los años ochenta, se ha empleado la información gráfica disponible (algunas correspondientes a imágenes en blanco y negro) y de la que se sabe con seguridad es posterior al año 1960. En el capítulo 2 se han mostrado algunas de estas imágenes y se ha indicado su procedencia y/o pertenencia. Las fotografías incluidas en el epígrafe 7.4.3.a han sido tomadas de la publicación "Un Monumento recuperado: La rehabilitación del Hospital de Jornaleros de Maudes" (1990), corresponden a las fotografías realizadas por Fernando de Castro López de Villarino hacia 1984, han sido proporcionadas por la Fundación COAM (correspondientes a los años 60-70) o han sido efectuadas en el año 2006, previamente al inicio de la última intervención. No se han encontrado imágenes que permitan observar el aspecto de los paramentos en los años 40 y 50.

7.4. RESULTADOS

7.4.1. Evolución de la calidad del aire en el entorno del Antiguo Hospital

7.4.1.a. Evolución anual en [1978-2009]

En la figura 7.5 se representa la evolución anual en los niveles de inmisión de SO_2 , CO, NO_2 , NO_x , O_3 y MP medidos en la estación de contaminación de Cuatro Caminos durante los años 1978 y 2009. El SO_2 muestra un incremento gradual en los primeros diez años del periodo, desde 34 en 1978 hasta $94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1987, y desciende a partir de entonces hasta $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2009. Los niveles se han mantenido muy constantes a partir del año 2002. Para el CO y NO_x la disminución ha sido significativa desde que comenzaron a medirse en la estación, de 2,8 en 1991 a $0,34 \text{ mg}/\text{m}^3$ para el CO y de 249 en 1990 a $81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2009 para los NO_x .

Los niveles de NO_2 han descendido, de 94 en 1990 hasta $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2003, incrementándose desde entonces hasta el año 2005 ($73 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para volver a descender, mostrando una concentración de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2009. Aunque para el O_3 sólo se disponen de mediciones en los últimos diez años del periodo considerado, se observa que la pauta en los valores medios anuales presenta un comportamiento muy heterogéneo, aumentado considerablemente a partir del año 2007 (de 37,5 a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el 2009). A pesar de la evolución tan irregular que muestra la concentración de MP, sus niveles han disminuido igualmente, desde $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1978 hasta $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2009.

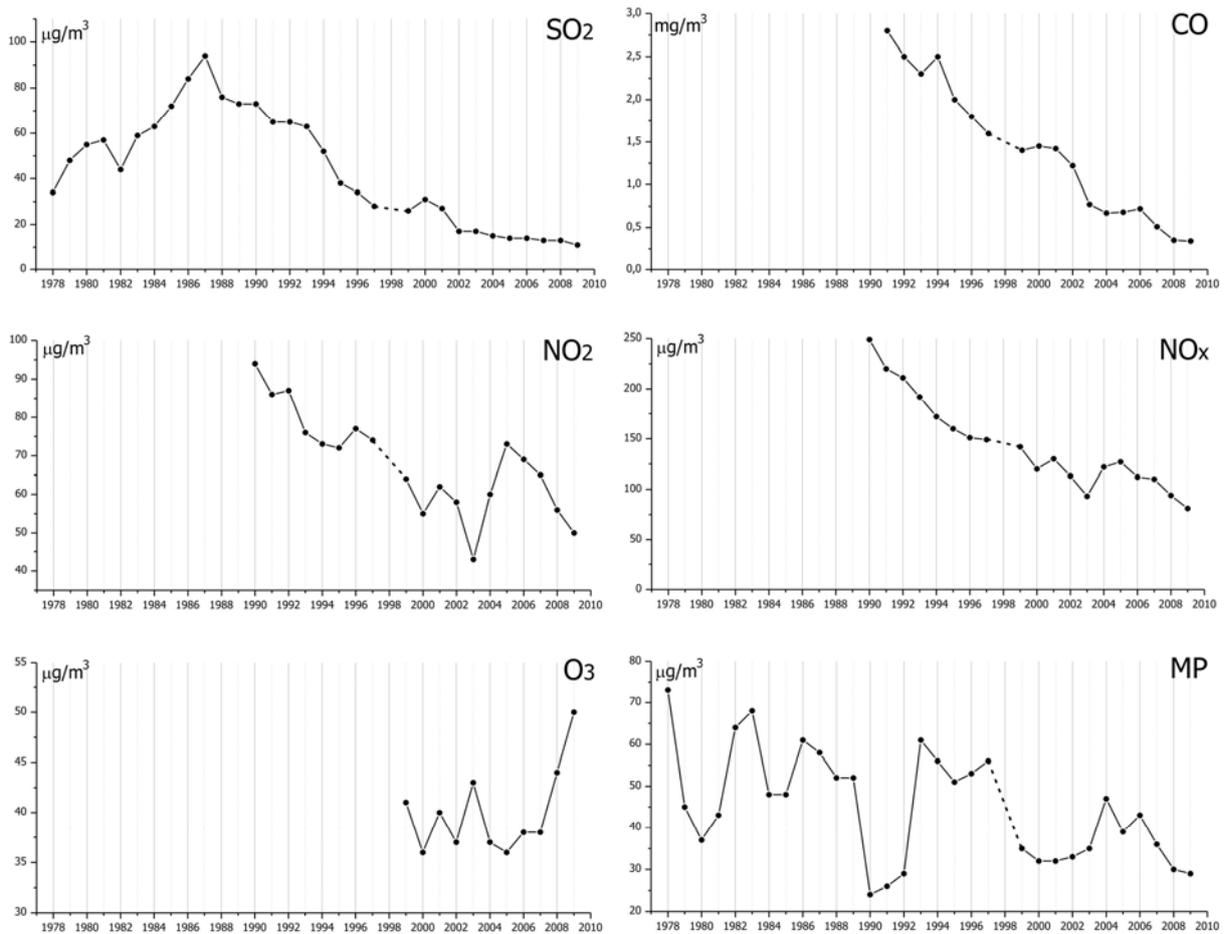


Fig.7.5. Evolución anual en los niveles de inmisión de los principales contaminantes atmosféricos que afectan a los materiales de construcción, medidos en la estación de Cuatro Caminos (nº10) desde 1978 hasta 2009.

No se considera la media para 1998, pues de julio a noviembre no se registraron mediciones debido al cambio de ubicación de la estación. En 1991, el valor medio anual de CO comprende los valores registrados desde mayo hasta diciembre.

7.4.1.b. Evolución mensual en la concentración de SO₂ y la MP en [1978-2009]

El valor medio mensual de los niveles de inmisión de SO₂ y MP en cada uno de los años comprendidos en el intervalo considerado es mostrado en la tabla 7.2. En la parte inferior de la tabla se indica la cantidad total y el valor medio de las concentraciones registradas para cada uno de los doce meses del año entre 1978 y 2009, representándose estos valores mediante diagramas de barras en la figura 7.6, de modo pueda visualizarse mejor la distribución mensual de ambos contaminantes.

En los meses de enero se registran las máximas cantidades totales de SO₂ (2.640 µg/m³), empezando a descender conforme avanza el año y alcanzando el mínimo en agosto (683 µg/m³). A partir de entonces, los niveles vuelven a ascender hasta presentar en diciembre una concentración casi tan elevada como en enero (2.483 µg/m³). La distribución mensual del SO₂ sigue una distribución muy simétrica, registrándose las cantidades totales más elevadas (>2.000 µg/m³) en enero-diciembre y febrero-noviembre y las menores (<720 µg/m³) en los meses de julio y agosto.

Las concentraciones de MP no muestran una pauta tan simétrica, si bien los niveles más altos (>1.450 µg/m³) son igualmente registrados en los meses de enero-diciembre y febrero-noviembre. Desde enero hasta abril la concentración de MP va disminuyendo, alcanzándose en abril las mínimas concentraciones (1.134 µg/m³). Hasta septiembre los niveles ascienden ligeramente, descienden levemente en octubre, para ascender en los meses de noviembre y diciembre, cuando se alcanzan niveles muy similares a los registrados en enero y febrero.

Tabla 7.2. Concentración media mensual de SO₂ y MP (µg/m³) medida en la estación n°10 entre 1978-2009.

| AÑO | Enero | | Febrero | | Marzo | | Abril | | Mayo | | Junio | | Julio | | Agosto | | Septiembre | | Octubre | | Noviembre | | Diciembre | |
|------|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|----|-----------------|----|-----------------|----|-----------------|----|-----------------|----|-----------------|----|-----------------|----|-----------------|----|-----------------|----|-----------------|-----|
| | SO ₂ | MP | SO ₂ | MP | SO ₂ | MP | SO ₂ | MP | SO ₂ | MP | SO ₂ | MP | SO ₂ | MP | SO ₂ | MP | SO ₂ | MP | SO ₂ | MP | SO ₂ | MP | SO ₂ | MP |
| 1978 | x | x | 61 | 100 | 35 | 90 | 12 | 73 | 11 | 70 | 19 | 72 | 15 | 86 | 14 | 83 | 25 | 91 | 40 | 67 | 90 | 75 | 53 | 52 |
| 1979 | 64 | 74 | 57 | 69 | 49 | 51 | 35 | 35 | 31 | 39 | 29 | 35 | 29 | 44 | 18 | 24 | 21 | 41 | 32 | 29 | 154 | 68 | 63 | 35 |
| 1980 | 70 | 52 | 77 | 59 | 40 | 25 | 29 | 37 | 25 | 30 | 19 | 21 | 18 | 17 | 19 | 14 | 26 | 24 | 41 | 40 | 119 | 60 | 175 | 72 |
| 1981 | 183 | 83 | 120 | 59 | 63 | 42 | 39 | 41 | 21 | 31 | 21 | 24 | 20 | 24 | 18 | 27 | 19 | 34 | 23 | 34 | 101 | 71 | 53 | 45 |
| 1982 | 91 | 84 | 83 | 89 | 49 | 68 | 28 | 61 | 20 | 40 | 20 | 25 | 19 | 42 | 18 | 73 | 19 | 50 | 27 | 48 | 68 | 83 | 90 | 104 |
| 1983 | 202 | 136 | 75 | 90 | 36 | 61 | 19 | 22 | 17 | 32 | 17 | 59 | 18 | 45 | 23 | 84 | 38 | 45 | 43 | 55 | 73 | 70 | 152 | 125 |
| 1984 | 101 | 61 | 91 | 60 | 73 | 45 | 39 | 40 | 39 | 32 | 40 | 43 | 37 | 36 | 36 | 42 | 41 | 49 | 45 | 62 | 87 | 45 | 125 | 64 |
| 1985 | 111 | 97 | 83 | 79 | 52 | 41 | 43 | 47 | 39 | 30 | 37 | 25 | 36 | 35 | 44 | 28 | 47 | 66 | 59 | 29 | 118 | 33 | 193 | 65 |
| 1986 | 99 | 82 | 85 | 47 | 82 | 27 | 70 | 30 | 59 | 59 | 64 | 69 | 57 | 68 | 58 | 54 | 59 | 62 | 72 | 69 | 145 | 77 | 165 | 88 |
| 1987 | 188 | 83 | 124 | 62 | 96 | 63 | 85 | 42 | 68 | 44 | 67 | 34 | 55 | 44 | 63 | 71 | 79 | 68 | 79 | 48 | 108 | 55 | 120 | 85 |
| 1988 | 111 | 43 | 84 | 45 | 65 | 48 | 52 | 46 | 46 | 40 | 45 | 37 | 49 | 50 | 52 | 52 | 64 | 83 | 72 | 58 | 100 | 53 | 174 | 71 |
| 1989 | 184 | 75 | 82 | 56 | 65 | 52 | 49 | 39 | 47 | 44 | 44 | 48 | 52 | 56 | 59 | 47 | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 1990 | 138 | 28 | 147 | 37 | 98 | 27 | 57 | 18 | 53 | 19 | 38 | 22 | 33 | 24 | 27 | 20 | 43 | 23 | 33 | 17 | 89 | 31 | 121 | 29 |
| 1991 | 104 | 25 | 85 | 26 | 63 | 27 | 49 | 26 | 33 | 24 | 31 | 25 | 32 | 28 | 26 | 26 | 35 | 28 | 61 | 26 | 101 | 24 | 155 | 29 |
| 1992 | 131 | 25 | 133 | 26 | 74 | 25 | 47 | 21 | 31 | 22 | 29 | 21 | 29 | 22 | 18 | 22 | 36 | 22 | 48 | 22 | 104 | 66 | 97 | 59 |
| 1993 | 170 | 99 | 91 | 64 | 75 | 61 | 43 | 50 | 33 | 47 | 29 | 53 | 28 | 66 | 21 | 65 | 25 | 49 | 46 | 43 | 91 | 65 | 104 | 74 |
| 1994 | 86 | 51 | 79 | 57 | 61 | 59 | 39 | 46 | 28 | 46 | 29 | 54 | 28 | 61 | 22 | 50 | 29 | 41 | 41 | 53 | 92 | 80 | 91 | 76 |
| 1995 | 80 | 57 | 60 | 55 | 49 | 55 | 29 | 51 | 20 | 48 | 21 | 51 | 20 | 52 | 14 | 44 | 21 | 43 | 32 | 60 | 51 | 53 | 60 | 47 |
| 1996 | 55 | 41 | 54 | 50 | 45 | 52 | 24 | 45 | 25 | 49 | 23 | 70 | 22 | 65 | 15 | 53 | 26 | 60 | 27 | 62 | 45 | 51 | 49 | 42 |
| 1997 | 59 | 58 | 57 | 70 | 29 | 73 | 20 | 57 | 13 | 54 | 8 | 50 | 10 | 52 | 8 | 56 | 14 | 57 | 26 | 54 | 37 | 45 | 53 | 53 |
| 1998 | 58 | 42 | 64 | 64 | 45 | 67 | 25 | 41 | 24 | 47 | 22 | 42 | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 66 | 60 |
| 1999 | 50 | 43 | 44 | 37 | 28 | 31 | 18 | 28 | 15 | 32 | 13 | 40 | 7 | 44 | 7 | 32 | 10 | 29 | 17 | 32 | 43 | 31 | 57 | 40 |
| 2000 | 74 | 44 | 63 | 41 | 40 | 35 | 29 | 19 | 22 | 30 | 13 | 33 | 13 | 23 | 15 | 31 | 19 | 36 | 21 | 34 | 28 | 27 | 40 | 35 |
| 2001 | 36 | 26 | 38 | 35 | 24 | 19 | 21 | 22 | 22 | 30 | 23 | 38 | 13 | 33 | 14 | 33 | 19 | 29 | 22 | 33 | 47 | 38 | 45 | 54 |
| 2002 | 28 | 32 | 23 | 39 | 17 | 35 | 14 | 32 | 10 | 24 | 11 | 41 | 11 | 38 | 11 | 29 | 13 | 32 | 16 | 32 | 19 | 29 | 24 | 29 |
| 2003 | 26 | 30 | 23 | 26 | 19 | 43 | 13 | 30 | 11 | 34 | 11 | 46 | 12 | 34 | 12 | 38 | 14 | 40 | 13 | 25 | 20 | x | 31 | x |
| 2004 | 25 | x | 22 | x | 18 | x | 13 | x | 10 | x | 8 | 49 | 11 | 55 | 8 | 35 | 10 | 56 | 11 | 41 | 25 | 60 | 20 | 35 |
| 2005 | 33 | 53 | 23 | 35 | 11 | 46 | 10 | 28 | 9 | 37 | 9 | 41 | 9 | 44 | 9 | 41 | 10 | 37 | 11 | 37 | 17 | 35 | 22 | 37 |
| 2006 | 20 | 33 | 24 | 47 | 14 | 36 | 10 | 36 | 9 | 46 | 10 | 46 | 11 | 49 | 11 | 37 | 12 | 47 | 9 | 43 | 13 | 49 | 20 | 51 |
| 2007 | 20 | 58 | 16 | 32 | 16 | 28 | 9 | 27 | 6 | 27 | 5 | 25 | 8 | 31 | 8 | 40 | 7 | 40 | 9 | 34 | 24 | 48 | 26 | 45 |
| 2008 | 22 | 38 | 19 | 32 | 14 | 18 | 10 | 21 | 8 | 23 | 8 | 29 | 8 | 32 | 8 | 30 | 9 | 30 | 11 | 37 | 18 | 29 | 25 | 37 |
| 2009 | 21 | 26 | 20 | 31 | 11 | 32 | 9 | 23 | 7 | 28 | 7 | 33 | 7 | 32 | 7 | 29 | 7 | 27 | 9 | 33 | 14 | 35 | 14 | 24 |

En los meses marcados una x no se dispone de datos.

| | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|-------------------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| SO ₂ Total | 2.640 | 2.107 | 1.456 | 989 | 812 | 770 | 717 | 683 | 797 | 996 | 2.041 | 2.483 |
| µg/m ³ Media | 85,2 | 65,8 | 45,5 | 30,9 | 25,4 | 24,1 | 23,1 | 22,0 | 26,6 | 33,2 | 68,0 | 80,1 |
| MP Total | 1.679 | 1.619 | 1.382 | 1.134 | 1.158 | 1.301 | 1.332 | 1.310 | 1.339 | 1.257 | 1.486 | 1.662 |
| µg/m ³ Media | 56,0 | 52,2 | 44,6 | 36,6 | 37,4 | 40,7 | 43,0 | 42,3 | 44,6 | 41,9 | 51,2 | 55,4 |

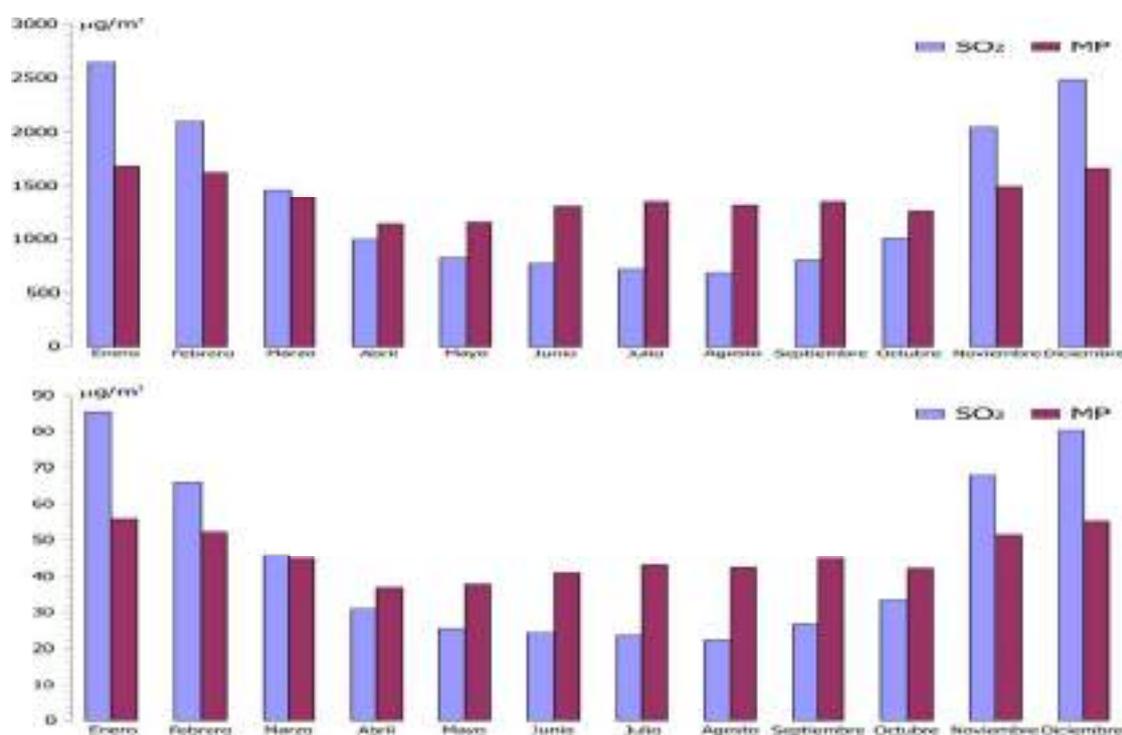


Fig.7.6. Cantidad total y media mensual de las concentraciones de SO₂ y MP registradas en la estación n°10 para cada uno de los meses del año en el intervalo [1978-2009].

7.4.1.c. Evolución anual entre los años 1999-2009

En la tabla 7.3 se muestran los valores medios anuales correspondientes al periodo [1999-2009], así como los máximos y mínimos registrados para cada año. Aunque se han producido importantes incrementos en alguno de los años, atendiendo a los años inicial y final del periodo analizado se observa que la media anual, los máximos y los mínimos han ido descendiendo, salvo para el O₃, cuyos niveles han aumentado. Así, los valores máximos de SO₂ han descendido en un 63%, (de 57 a 21 µg/m³), los de CO un 82% (de 2,5 a 0,46 mg/m³), el NO₂ un 29% (de 87 a 62 µg/m³), los NO_x un 52% (de 236 a 114 µg/m³) y los de la MP en un 20% (de 44 a 35 µg/m³). Las concentraciones máximas de O₃ se han visto incrementadas en un 20% (de 59 a 74 µg/m³).

Aunque los valores mínimos de SO₂ presentan en 1999 y 2009 el mismo valor (7 µg/m³), desde el 2000 han descendido en un 42% (de 12 a 7 µg/m³). Los valores mínimos han descendido para el CO en un 62% (de 0,5 a 0,19 mg/m³), los de NO₂ en un 18% (de 45 a 37 µg/m³), para los NO_x en un 30% (de 69 a 48 µg/m³) y para la MP en un 20% (de 29 a 23 µg/m³). Para el O₃, los niveles mínimos también han aumentado, en un 68% (de 59 a 74 µg/m³).

Tabla 7.3. Media, máximos y mínimos anuales registrados en la estación n°10 entre 1999-2009.

| AÑO | SO ₂ µg/m ³ | | | CO mg/m ³ | | | NO ₂ µg/m ³ | | | NO _x µg/m ³ | | | O ₃ µg/m ³ | | | MP µg/m ³ | | |
|------|-----------------------------------|-----|-----------|----------------------|------|-----------|-----------------------------------|-----|-----------|-----------------------------------|-----|-----------|----------------------------------|-----|-----------|----------------------|-----|-----------|
| | Mes Max | Min | Año Media | Mes Max | Min | Año Media | Mes Max | Min | Año Media | Mes Max | Min | Año Media | Mes Max | Min | Año Media | Mes Max | Min | Año Media |
| 1999 | 57 | 7 | 26 | 2,5 | 0,5 | 1,4 | 87 | 45 | 64 | 236 | 69 | 142 | 59 | 16 | 41 | 44 | 29 | 35 |
| 2000 | 72 | 12 | 31 | 2,69 | 0,71 | 1,45 | 78 | 36 | 55 | 219 | 63 | 120 | 59 | 11 | 36 | 42 | 19 | 32 |
| 2001 | 47 | 13 | 27 | 2,75 | 0,73 | 1,42 | 83 | 45 | 62 | 279 | 72 | 130 | 65 | 13 | 40 | 54 | 19 | 32 |
| 2002 | 29 | 10 | 17 | 1,72 | 0,59 | 1,22 | 79 | 44 | 58 | 189 | 63 | 113 | 58 | 15 | 37 | 42 | 19 | 32 |
| 2003 | 31 | 11 | 17 | 1,52 | 0,26 | 0,77 | 53 | 35 | 43 | 164 | 52 | 93 | 78 | 16 | 43 | 46* | 26* | 35* |
| 2004 | 25 | 8 | 15 | 1,15 | 0,34 | 0,67 | 98 | 33 | 60 | 239 | 59 | 122 | 60 | 11 | 37 | x | x | x |
| 2005 | 33 | 9 | 14 | 1,16 | 0,33 | 0,68 | 96 | 59 | 73 | 235 | 83 | 127 | 62 | 15 | 36 | 53 | 28 | 39 |
| 2006 | 24 | 9 | 14 | 1,1 | 0,46 | 0,72 | 88 | 53 | 69 | 1,69 | 71 | 112 | 65 | 17 | 38 | 51 | 33 | 43 |
| 2007 | 26 | 5 | 13 | 1,1 | 0,2 | 0,51 | 98 | 39 | 65 | 19 | 51 | 110 | 62 | 11 | 38 | 58 | 25 | 36 |
| 2008 | 25 | 8 | 13 | 0,58 | 0,16 | 0,35 | 77 | 37 | 56 | 162 | 48 | 94 | 71 | 19 | 44 | 38 | 18 | 30 |
| 2009 | 21 | 7 | 11 | 0,46 | 0,19 | 0,34 | 62 | 37 | 50 | 114 | 48 | 81 | 74 | 27 | 50 | 35 | 23 | 29 |

*En el año 2003 no se tomaron medidas de MP durante los meses de noviembre y diciembre.

No se considera el valor medio anual de MP registrado para el año 2004 pues no se midieron sus niveles desde enero hasta mayo, de ahí las x.

7.4.1.d. Evolución mensual en [1999-2009]

En la figura 7.7 se representa la evolución mensual en la concentración de los seis contaminantes considerados (SO_2 , CO, NO_2 , NO_x , O_3 y MP) así como los valores de temperatura y humedad relativa, registrados durante el periodo [1999-2009]. Por un lado, los niveles de inmisión de SO_2 y CO han ido disminuyendo paulatinamente; las concentraciones registradas en enero de 1999 son muy superiores a las medidas en el mismo mes de 2009 (de 50 a 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para SO_2 y de 2,5 a 0,39 mg/m^3 para CO). Las concentraciones de sendos contaminantes presentan los valores más elevados a principios de año, disminuyen hasta alcanzar los mínimos principalmente en julio y agosto, aumentando de nuevo a continuación. En enero de 2000 se registró el mayor nivel de SO_2 (72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y uno de los valores más elevados para el CO (2,69 mg/m^3). La concentración de CO resultó máxima en diciembre de 2001 (2,75 mg/m^3), registrándose valores también elevados de SO_2 (45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Estos valores invirtieron la tendencia de descenso que se venía produciendo desde los dos años anteriores, disminuyendo de forma importante la concentración de ambos contaminantes a partir de diciembre de 2001.

Por otro lado, los niveles medidos para el NO_2 , NO_x y la MP también han disminuido desde el principio hasta el fin del periodo considerado (de 87 a 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para NO_2 , 236 a 99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para NO_x y 43 a 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP). Sin embargo, su evolución muestra un comportamiento muy irregular y no puede establecerse una pauta general en la distribución mensual para el NO_2 y MP. En enero del 2000 también se registran valores significativamente elevados de NO_2 y NO_x , (78 y 219 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente). Igualmente se midieron concentraciones elevadas en diciembre del 2001 en las concentraciones de los tres contaminantes, 83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para NO_2 , 279 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para NO_x y 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP, coincidiendo con el valor máximo en el caso de los NO_x . Para el NO_2 los valores máximos se alcanzaron en los meses de noviembre del 2004 y 2007 (98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y en noviembre del 2004 para la MP (60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). En enero de 2007 se registraron concentraciones también elevadas de MP (58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Entre noviembre de 2004 y enero de 2005 se observa un comportamiento similar en la distribución mensual para el NO_2 y NO_x , mostrando las curvas un doblete característico. Algo similar se observa en las curvas del SO_2 y CO para estos mismos meses. Conforme a las curvas para estos cuatro contaminantes, en noviembre de 2004 y enero de 2005 se registraron unos niveles superiores a los que cabría haber esperado, significativamente más elevados en el caso de NO_2 y NO_x . Se observa que desde enero de 1999 hasta febrero de 2004 las curvas de CO y NO_x prácticamente pueden solaparse. A partir de entonces, comparativamente, han disminuido más los niveles de CO que la concentración de NO_x .

El O_3 muestra una distribución directamente relacionada con las variaciones mensuales de temperatura. Presenta una pauta muy regular, con máximos alcanzados en los meses de julio y agosto y mínimos generalmente en noviembre y diciembre. En agosto de 2003 se midió el mayor nivel de O_3 (78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y los niveles de concentración para el CO, NO_2 y NO_x fueron de los menores registrados en el periodo considerado (0,26 mg/m^3 , 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente). Las curvas de temperatura y humedad presentan un comportamiento muy regular y contrario, alcanzándose las mayores temperaturas cuando se registran los menores valores de humedad y viceversa. Comparando los datos mostrados en la tabla 7.3 y las curvas de la figura 7.7 se observa que, salvo excepciones muy puntuales, para el SO_2 , CO, NO_2 y NO_x , las concentraciones máximas corresponden con los valores medios de enero, febrero, noviembre y/o diciembre. Las menores concentraciones son medidas en julio y/o agosto, registrándose para el SO_2 y NO_2 mínimos también en primavera. Para el O_3 , los valores máximos son medidos principalmente en julio y/o agosto, y los mínimos en enero, noviembre y/o diciembre. Si bien la MP presenta una distribución mensual irregular, las mayores concentraciones han sido tomadas en enero, noviembre y/o diciembre, mientras que los mínimos se han medido indistintamente en los cuatro periodos estacionales.

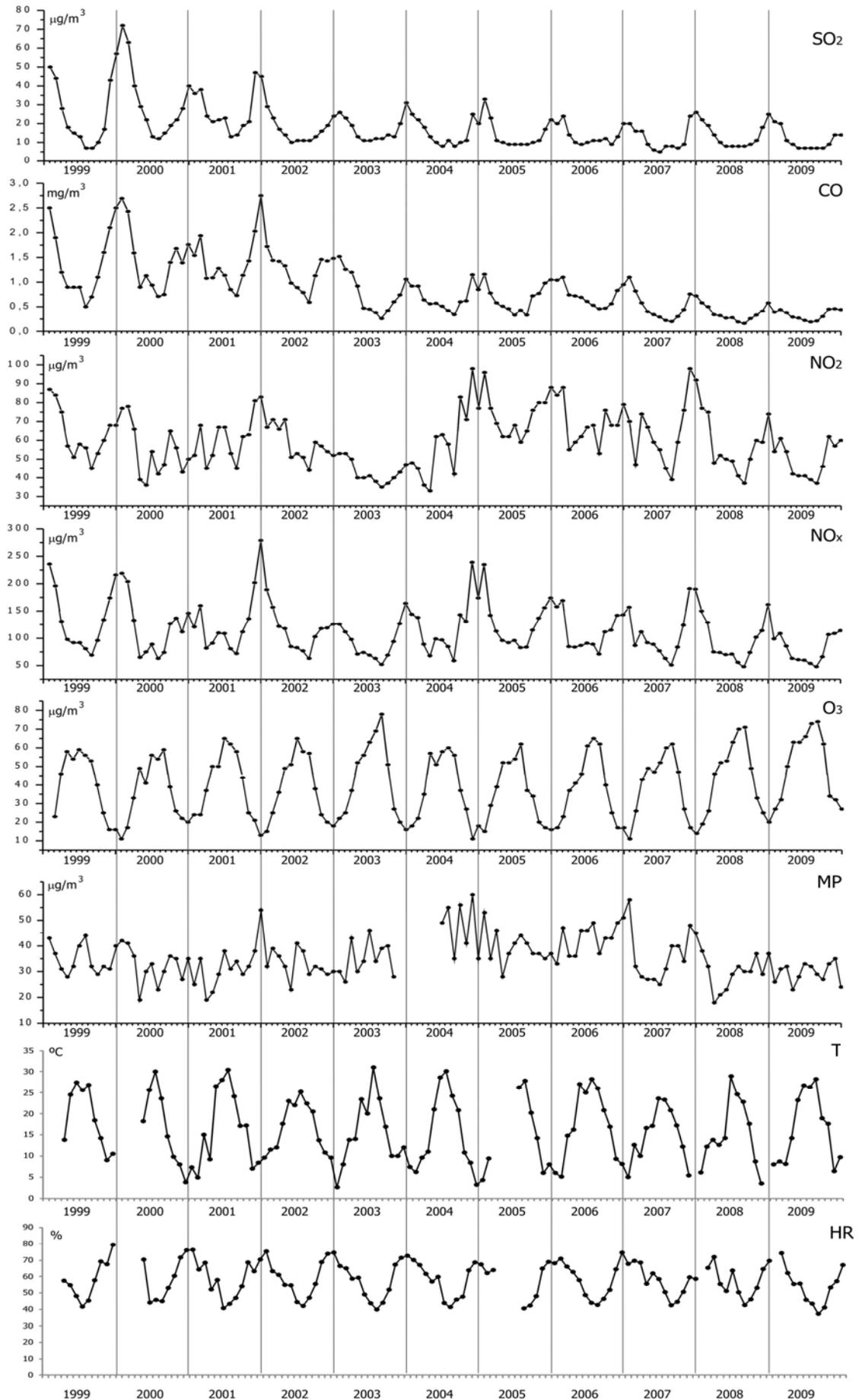


Fig.7.7. Distribución mensual de SO_2 , CO , NO_2 , NO_x , O_3 , MP , T y HR en [1999-2009], a partir de las concentraciones y de los valores climáticos registrados en la estación de contaminación de Cuatro Caminos y meteorológica de Ciudad Universitaria, respectivamente.

7.4.1.e. Evolución horaria de la calidad del aire en los meses de abril de 2003 y 2005

A partir de los datos incluidos en la tabla 7.4 y de las gráficas mostradas en la figura 7.8 se observa que los niveles de inmisión SO₂ y CO eran más elevados durante el mes de abril de 2003 (13 µg/m³ y 0,9 mg/m³ respectivamente) que en abril de 2005 (10 µg/m³ y 0,5 mg/m³). Sin embargo, las inmisiones de NO₂ y NO_x medidas se han incrementado considerablemente (de 40 a 62 µg/m³ y de 71 a 96 µg/m³). Las concentraciones de O₃ presentan los mismos niveles (52 µg/m³) en los dos meses considerados y los niveles de MP se han reducido ligeramente (de 30 a 28 µg/m³).

En los dos meses considerados, la distribución horaria en la concentración en los seis contaminantes analizados presenta prácticamente la misma pauta. Se observa que la dispersión de los máximos y mínimos registrados es considerablemente menor para el SO₂. A partir de los máximos y mínimos alcanzados a lo largo del día, se diferencian cuatro intervalos horarios, 22-06 h, 06-09 h, 09-16 h y 16-22 h. En general, los niveles de SO₂, CO, NO₂, NO_x y MP empiezan a ascender a partir de las seis de la mañana y alcanzan su máximo a las nueve, comenzando su descenso hasta las cuatro de la tarde. Las concentraciones de nuevo aumentan hasta las diez de la noche, cuando a descender hasta las seis de la mañana del día siguiente. La distribución del O₃ muestra una pauta inversa, disminuyendo cuando se registran los mayores niveles de contaminación.

Tabla 7.4. Valores medios mensuales registrados en la estación nº10 en abril del 2003 y 2005.

| | SO ₂ µg/m ³ | CO mg/m ³ | NO ₂ µg/m ³ | NO _x µg/m ³ | O ₃ µg/m ³ | MP µg/m ³ |
|------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| Abril 2003 | 13 | 0,9 | 40 | 71 | 52 | 30 |
| Abril 2005 | 10 | 0,5 | 62 | 96 | 52 | 28 |

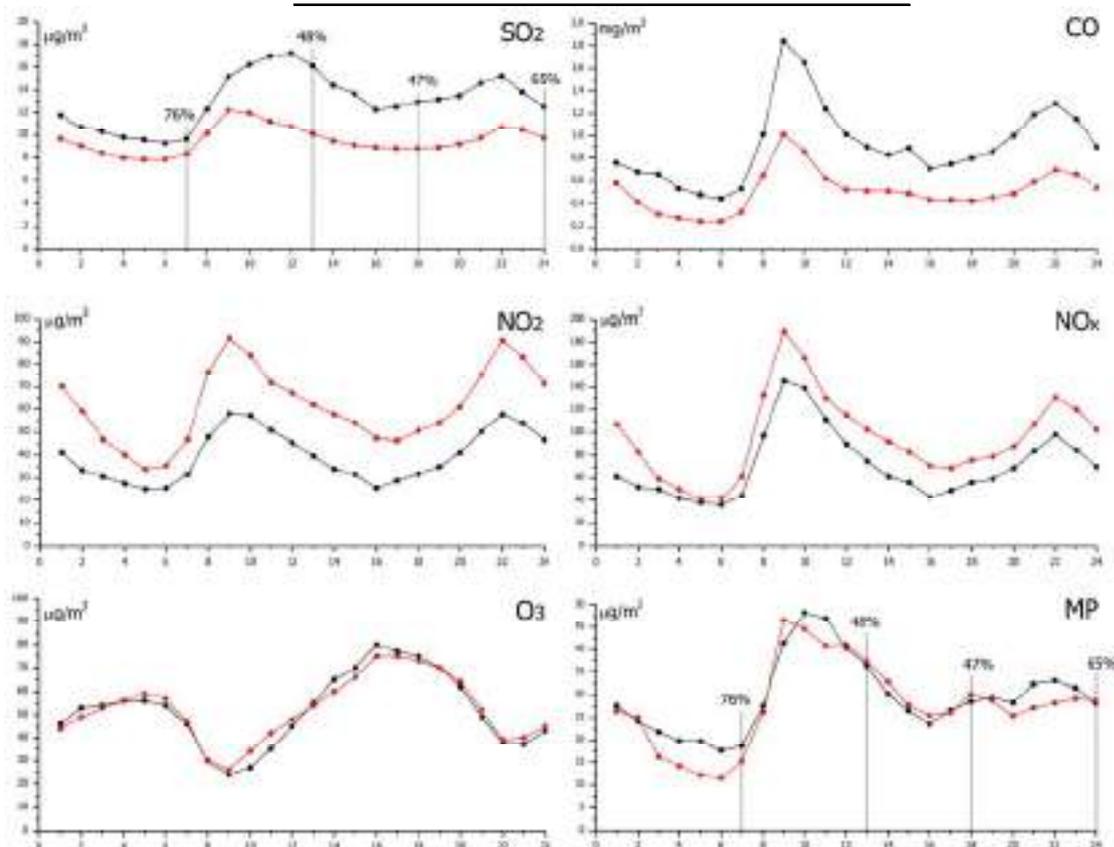


Fig.7.8. Comparativa en la distribución horaria de los contaminantes analizados antes y después de la construcción del subterráneo en la glorieta de Cuatro Caminos.

Línea negra (abril 2003), línea roja (abril 2005). En las gráficas de distribución horaria de SO₂ y MP se incluyen los valores de humedad relativa en abril del 2003 a las 00:00, 07:00, 13:00 y 18:00 h.

7.4.2. Evolución de la climatología en la zona oeste de Madrid [1979-2009]

7.4.2.a. Variación de la climatología [1979-2009]

En la tabla 7.5 se muestra el valor medio total de las variables climáticas consideradas durante el periodo [1979-2009]. A partir de la variación anual de dichas variables durante el periodo considerado (figura 7.9), se observa una clara tendencia de descenso en los valores de velocidad de viento y de humedad. El régimen de lluvias es muy variable y la dirección de la racha máxima de viento varía entre Sur y Suroeste. La temperatura ha ido ascendiendo, resultando especialmente elevados los valores medios en los años 1999 y 2006, con una temperatura media de casi 19 y 17 °C respectivamente.

Tabla 7.5. Valor medio total de los parámetros climáticos considerados recogidos en la estación meteorológica de Ciudad Universitaria durante los años [1979 - 2009].

| Años | Dir. viento (°) | Vel. viento (m/seg) | Temperatura (°C) | Precipitación (mm) | Humedad (%) | Presión (mbares) | |
|-------------|-----------------|---------------------|------------------|--------------------|-------------|------------------|--------|
| | | | | | | Máxima | Mínima |
| [1979-2009] | 189,18 | 9,84 | 15,07 | 1,11 | 61,71 | 942,51 | 938,39 |

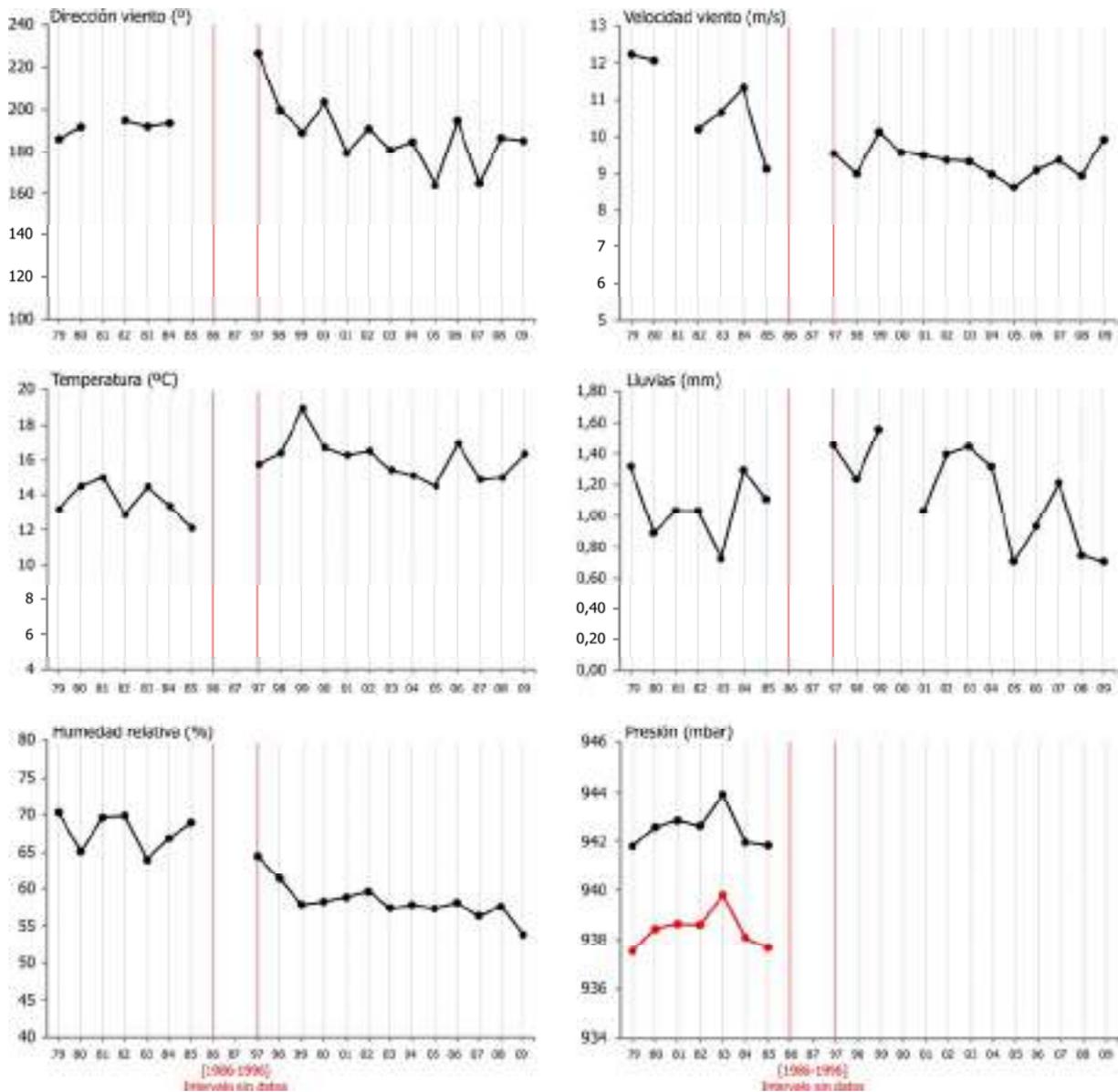


Fig.7.9. Variación anual de los parámetros climáticos considerados en el periodo [1979-2009].

Curvas de presión: presión máxima (en negro), presión mínima (en rojo). Además del intervalo durante el que no se dispone de datos [1986-1996], aquellos otros años en los que no se disponga de datos en más de cuatro meses, el valor medio anual no está representado.

Mediante diagramas de barras se representa el valor medio mensual de los parámetros considerados en los años 1979, 1987 y 2009 (figura 7.10). En general se observa una disminución en los valores de dirección y velocidad de viento y de lluvias en 2009 respecto a 1979, aumentando o disminuyendo en 1987. La temperatura se incrementa en casi todos los meses de 1987 respecto a 1979, aumentando considerablemente desde mayo hasta octubre en 2009. La humedad sigue un patrón muy homogéneo, descendiendo progresivamente hasta alcanzar en el 2009 los menores valores. Este descenso se observa igualmente en la zona inferior de la figura 7.11, donde se representa su distribución según cuatro horas del día. Los valores de humedad más elevados se registran a las 7:00 h y los inferiores a las 13:00 h, solapándose con los medidos a las 18:00 h en los años 1997 y 2009. Además, a lo largo de cada uno de los tres años, esta distribución horaria sigue en general la misma pauta.

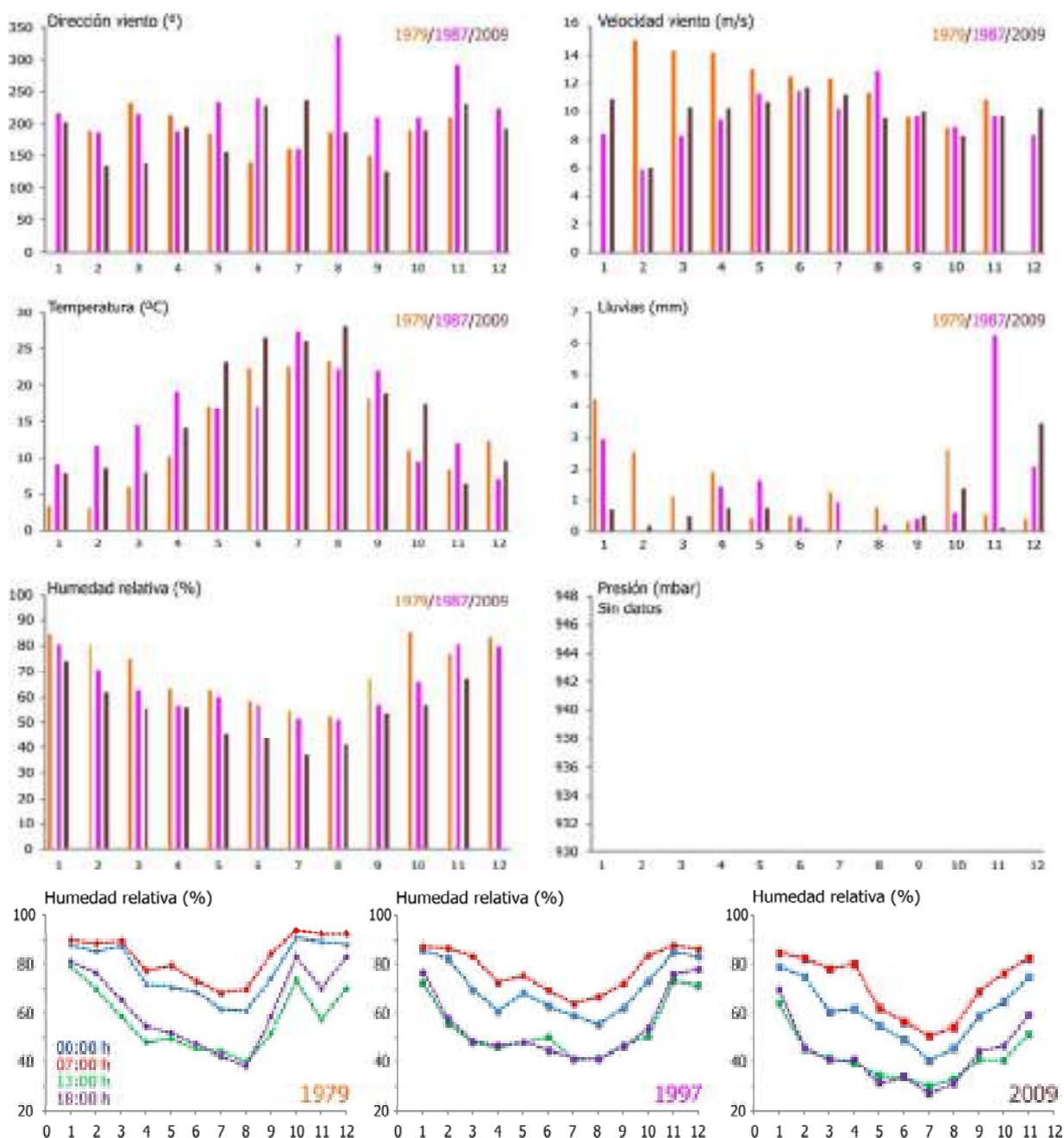


Fig.7.10. Valores medios mensuales de los parámetros climáticos en los años 1979, 1987 y 2009.

Para la humedad se representa además la distribución mensual en cada uno de los tres años considerados según los valores registrados a las 00:00, 07:00, 13:00 y 18:00 h.

7.4.2.b. Comportamiento mensual de la climatología [1979-2009]

En la figura 7.11 se muestra mediante diagramas de barras el valor medio de las variables climáticas consideradas de todos los meses durante el periodo [1979-2009]. La dirección de vientos dominantes es S-SO (entre 179-204°), presentando una cierta variación a lo largo del año, y la velocidad del viento en la racha máxima resulta en general baja (8-10 m/s), menor en los meses de otoño e invierno y mayor en primavera y verano. La temperatura presenta un patrón muy simétrico, con los menores valores de noviembre a febrero y los más elevados de junio a agosto. El régimen de precipitaciones muestra un comportamiento irregular, resultando en general bajas (<2 mm). Los valores de humedad relativa también presentan un comportamiento simétrico y contrario al de la temperatura; de octubre a febrero se registran los valores más elevados (>70%), y en julio y agosto los menores (<50%). Las rachas más débiles de viento coinciden con los valores de presión y de humedad relativa más elevados, de noviembre a enero. Los valores de presión máxima y mínima presentan la misma pauta, los más elevados en los meses de otoño e invierno y los inferiores en abril y mayo.

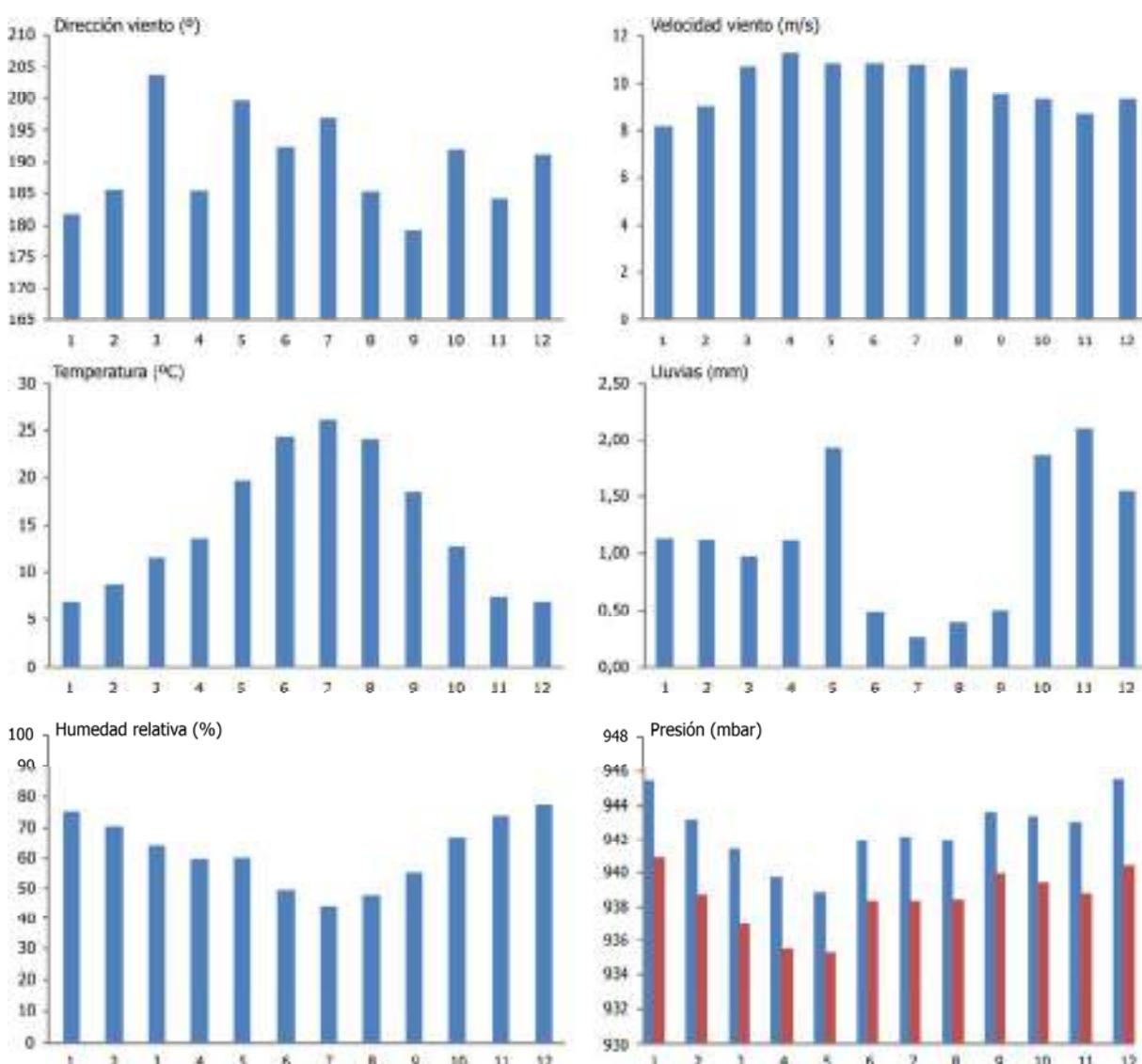


Fig.7.11. Valor medio mensual de los parámetros climáticos considerados en el periodo [1979-2009].

Diagrama de presión: presión máxima (azul) y presión mínima (rojo) en los meses del intervalo [1979-1985].

7.4.3. Aspecto de los paramentos antes de las intervenciones acometidas en el Antiguo Hospital

7.4.3.a. Años 60-70, hacia 1983-1984 y en 2006

En las imágenes de la primera etapa establecida en la historia del hospital (años 1906-1936, capítulo 2) no se observan contrastes cromáticos en los paramentos y se reconoce el despiece de los elementos pétreos, otorgado por el mortero de fábrica (figuras 2.3, 2.4, 2.5.a, 2.5.b y 2.5.c). Hacia los años 60-70 presentaban un elevadísimo ensuciamiento, de intensa tonalidad oscura, y antes de la intervención de los años 80 el intenso oscurecimiento dificultaba identificar los diversos planos de avance así como el despiece de los paramentos, al estar la piedra tan sucia como el mortero de junta (figuras 7.12 y 7.13)¹⁴, especialmente en las zonas protegidas y en el plano principal de la hoja externa del muro perimetral. En el año 2006, el grado de ensuciamiento de los paramentos era menos intenso que en los años 80 y presentaba tonalidades marrones (figuras 7.12.c 7.12.e y 7.13.j), si bien las zonas protegidas y el muro perimetral mostraban igualmente una intensa tonalidad oscura. En general, en el año 2006 se identificaba el despiece de los paramentos porque el mortero de junta presentaba mayor grado de ensuciamiento que la piedra y se observaban más "zonas blancas" en los paramentos que en los años 80.

No se observa una diferencia tan significativa en las zonas sometidas a la acción del viento y/o lavadas por el agua de lluvia, por lo que en 1984 el contraste entre las "zonas blancas" y las "zonas negras" era mucho más notorio que en el 2006. Por otro lado, zonas que en el año 1984 estaban muy oscurecidas, en el año 2006 presentaban menor grado de ensuciamiento. Por ejemplo, las columnas de caliza y arcos del cuerpo central de la fachada a la calle Maudes (comparar figuras 7.12.d y 7.12.e), el cuerpo que alberga las campanas en las torres de la portada principal de la iglesia (comparar figuras 7.12.f y 7.12.g) o el nivel medio de la fachada Este del cuerpo de entrada (comparar figuras 7.13.g y 7.13.h).

Resulta especialmente notorio que, en el año 2006, en la portada principal de la iglesia el ensuciamiento disminuía considerablemente a partir de la altura en donde quedan ubicadas las campanas (figura 7.12.g). Sin embargo, antes de la intervención de los años 80 el ensuciamiento cubría la superficie de los elementos pétreos del cuerpo de campanas de las torres (figura 7.12.f). Por otro lado, y también de forma general, antes de 1984 los paramentos mostraban menos zonas de escorrentía que en el año 2006. Este lavado diferencial menos pronunciado resultaba especialmente significativo en los cuerpos centrales de la fachada a la calle Maudes (figura 7.12.d) y de la portada de la iglesia (figura 7.12.f), así como en las zonas de esquina. Sin embargo, en 1984 se podía observar la zona lavada por el agua de lluvia en el zócalo adelantado de la fachada a la calle Maudes, aspecto que sólo se intuía en 2006 (comparar figuras 7.12.b y 7.12.c).

Atendiendo a los torreones, se observa que tanto antes de 1984 como en el año 2006 el torreón de la nave Noroeste presentaba un nivel de ensuciamiento mucho mayor que el de la nave Noreste (comparar figuras 7.13.a - 7.13.b y 7.13.e - 7.13.f). En el subnivel cornisa se aprecia el mismo patrón heterogéneo de ensuciamiento antes de 1984 y en el año 2006, con zonas de escorrentía a favor de las juntas, si bien la intensidad del ensuciamiento resultaba igualmente mayor antes de 1984 (comparar 7.13.g - 7.13.h y 7.13.i - 7.13.j). En el muro perimetral, comparando el aspecto general de los paramentos antes de la intervención de los años 80 con la última efectuada, la distribución del ensuciamiento resulta en general muy similar (comparar 7.13.a - 7.13.b y 7.13.k - 7.13.l). No obstante, se observa cierta diferencia en las esquinas, presentando el chaflán Noroeste un grado de ensuciamiento considerablemente mayor antes de 1984 que en 2006 (comparar figuras 7.13.a y 7.13.b).

¹⁴ Se recuerda que algunas de las fotografías en las que se observa el aspecto de los paramentos antes del año 1984 son en blanco y negro.

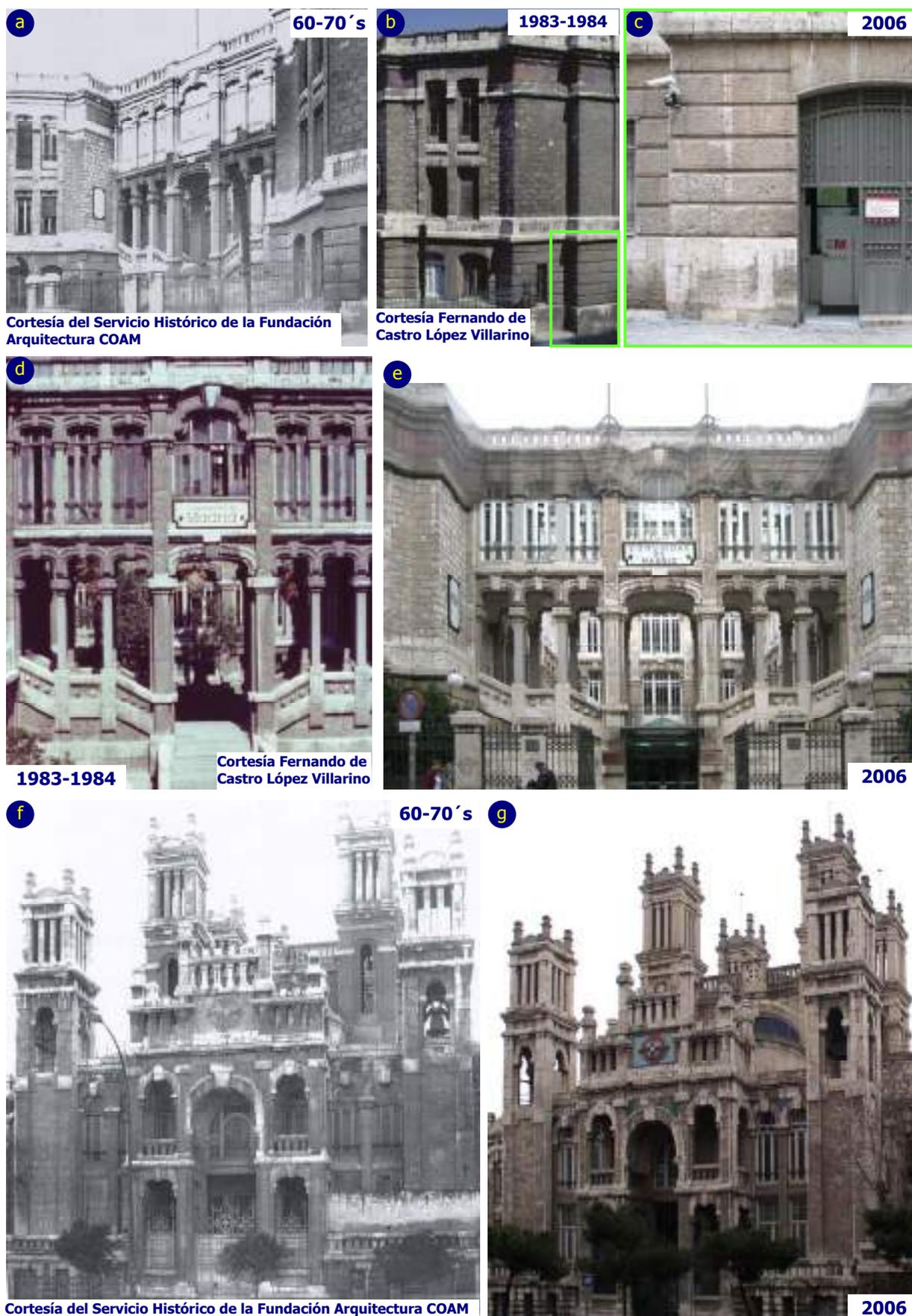


Fig.7.12. Aspecto del Antiguo Hospital antes de las intervenciones de 1984-1986 y 2006-2008.

a - e. Fachada a la calle Maudes del cuerpo de entrada.

f - g. Portada principal y cuerpo torreado central de la iglesia.

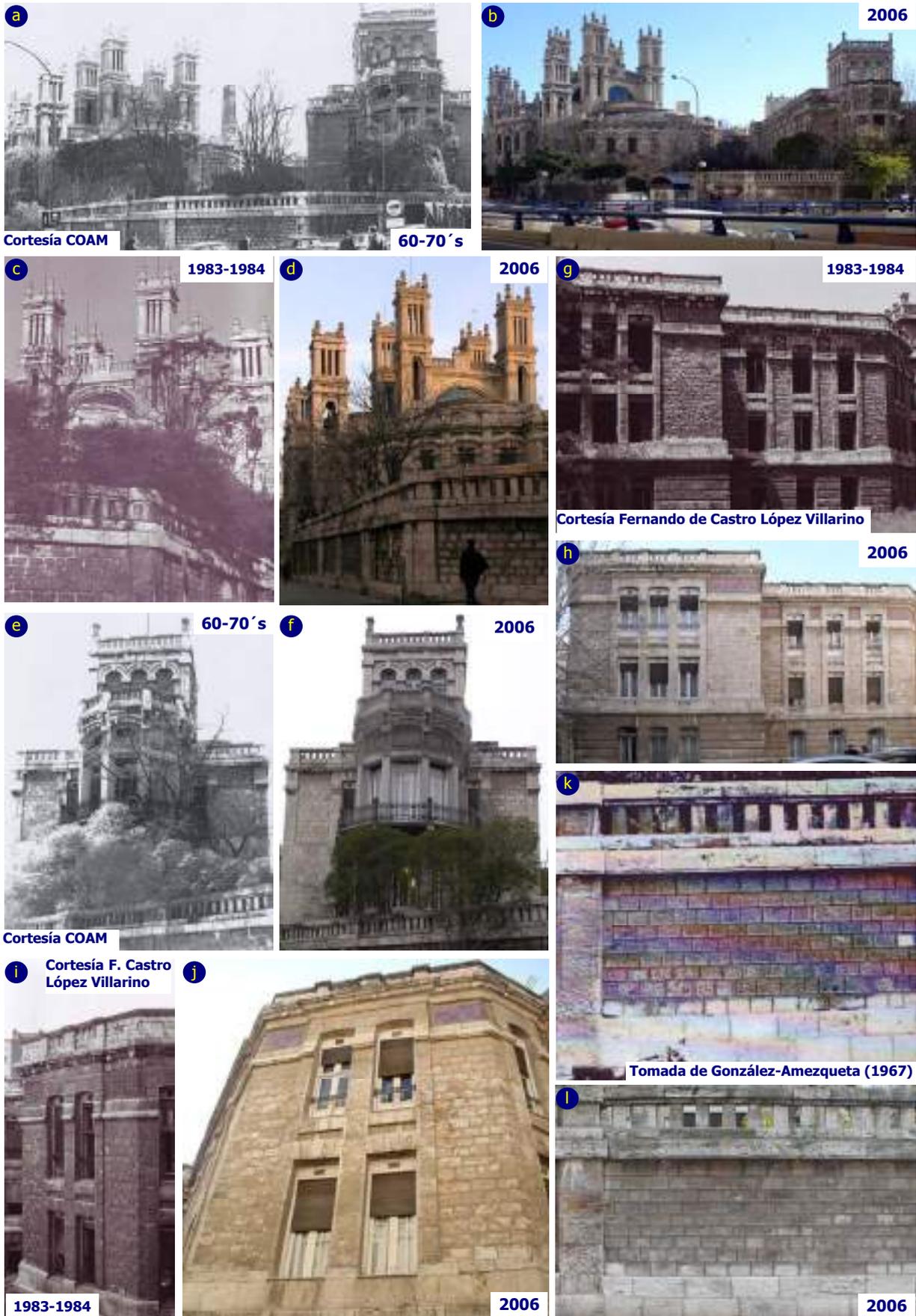


Fig.7.13. Paramentos del Antiguo Hospital antes de las intervenciones acometidas en 1984-1986 y 2006-2008.

a - b. Iglesia y nave Noroeste desde la confluencia de las calles Raimundo Fernández Villaverde y Treviño.
 c - d. Lateral de la iglesia y chaflán del muro en la calle Raimundo Fernández Villaverde esquina con Alenza y Treviño.
 e - f. Torreón de la nave Sureste, dirigido hacia la calle Raimundo Fernández Villaverde esquina con calle Alenza.
 g - j. Diversos paramentos del cuerpo de entrada dirigidos al aparcamiento Este.
 k - l. Paño del lienzo Oeste del muro localizado a la derecha de la entrada a la actual biblioteca y centro de documentación.

7.4.3.b. Calidad del aire y climatología en los cuatro intervalos establecidos entre [1978-2009]

En la figura 7.14 se muestra la evolución del valor medio anual en las concentraciones de SO₂, NO₂, NO_x, O₃ y MP así como de la humedad relativa y de la temperatura en relación con los cuatro intervalos establecidos entre 1978 y 2009. En la tabla 7.6 se indica el valor medio de las concentraciones de SO₂ - MP y de los valores de HR - T para cada uno de los intervalos, especificándose en los intervalos 1 y 3_{bis} (seis años previos a las dos principales intervenciones), el valor medio anual así como el sumatorio de estas medias (en rojo).

En el intervalo 1 [1978-1983] las concentraciones de sendos contaminantes superaban considerablemente las alcanzadas durante el intervalo 3_{bis} [2000-2006] (49 frente a 20 µg/m³ para SO₂ y 55 frente a 38 µg/m³ para MP). En el intervalo 1 las concentraciones de SO₂ en general fueron en aumento (de 34 a 59 µg/m³) mientras que en el intervalo 3_{bis} en descenso (de 31 a 14 µg/m³). La pauta de distribución de la MP muestra un comportamiento muy irregular, resultando en general de descenso durante el intervalo 1 (de 73 a 68 µg/m³) y de ascenso durante el intervalo 3_{bis} (de 32 a 39 µg/m³), si bien el valor medio de la carga anual de MP en el intervalo 1 fue mayor que en el 3_{bis} (55 frente a 38 µg/m³).

Conforme a los valores climáticos, se observa que en el intervalo 3_{bis} la temperatura es algo superior a la del intervalo 1 (15,75 frente a 14°C) mientras que la humedad relativa es menor (58,24 frente a 67,8%). Durante 1984 y 1986 se alcanzaron los mayores valores de SO₂ (73 µg/m³), siendo también elevada la concentración de MP (52 µg/m³). En los intervalos 3 [1987-2005] y 4 [2006-2008], tanto para el SO₂ como para la MP, la media de los valores para cada intervalo (44 y 13 µg/m³ para SO₂, 43 y 36 µg/m³ para MP) corresponde al progresivo descenso en la concentración de ambos contaminantes desde 1987, tal y como se observa en la figura 7.8. Atendiendo además a dicha figura, se observa que en el progresivo descenso en los niveles de SO₂ durante todo el intervalo 3 [1987-2005] este descenso resultó mucho menos acusado durante el intervalo 3_{bis} que entre el 1.

Según las concentraciones anuales de SO₂ y MP registradas en los intervalos 1 y 3_{bis}, a partir de la suma de los valores medios anuales registrados en cada uno de los seis años (intervalo 1 = 297 µg/m³ para SO₂ y 330 µg/m³ para la MP e intervalo 3_{bis} = 121 µg/m³ para SO₂ y 218 µg/m³ para la MP), la reducción de sus niveles en el intervalo 1 respecto al intervalo 3_{bis} han supuesto un 60% para el SO₂ y un 34% para la MP. La humedad ha disminuido un 14% en el intervalo 3_{bis} respecto al intervalo 1, y la temperatura ha aumentado un 11%. Se observa el aumento irregular de la temperatura y el progresivo descenso de la humedad, tanto en cada intervalo como a lo largo de los seis años de los intervalos 1 y 3_{bis}.

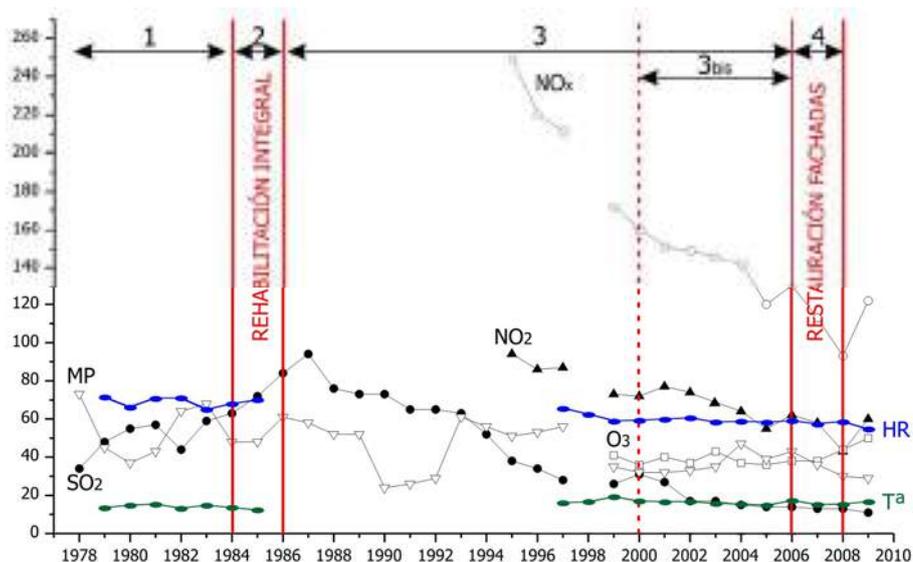


Fig.7.14. Relación de la evolución anual de la calidad del aire y de la humedad y temperatura con los cuatro intervalos establecidos en [1978/1979-2009].

Para SO₂ y MP, se disponen de datos en los cuatro intervalos.

Para NO₂, NO_x, O₃, existe registro sólo en el intervalo 4 y parcialmente en el 3.

Tabla 7.6. Media de las concentraciones de SO₂ - MP y de los valores de T - HR en los cuatro intervalos establecidos en [1978/1979 - 2009]; media anual y suma de las medias para los intervalos 1 y 3bis (en rojo).

| Intervalos | | nºaños | SO ₂ (µg/m ³) | | MP (µg/m ³) | | Temperatura (°C) | | Humedad (%) | |
|--------------|-----------|--------|--------------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| | | | \bar{X} intervalo | \bar{X} anual | \bar{X} intervalo | \bar{X} anual | \bar{X} intervalo | \bar{X} anual | \bar{X} intervalo | \bar{X} anual |
| 1 | 1978 | 6 | 49 | 34 | 55 | 73 | 14 | - | 68 | - |
| | 1979 | | | 48 | | 45 | | 13 | | 70 |
| | 1980 | | | 55 | | 37 | | 14 | | 65 |
| | 1981 | | | 57 | | 43 | | 15 | | 70 |
| | 1982 | | | 44 | | 64 | | 13 | | 70 |
| | 1983 | | | 59 | | 68 | | 14 | | 64 |
| Σ1 | | | | 297 | | 330 | | - | | - |
| 2* | [1984-86] | 3 | 73 | | 52 | | 13 | | 68 | |
| 3* | [1987-05] | 19 | 44 | | 42 | | 16 | | 59 | |
| 3bis | 2000 | 6 | 20 | 31 | 38 | 32 | 16 | 17 | 58 | 58 |
| | 2001 | | | 27 | | 32 | | 16 | | 59 |
| | 2002 | | | 17 | | 33 | | 16 | | 60 |
| | 2003 | | | 17 | | 35 | | 15 | | 57 |
| | 2004 | | | 15 | | 47 | | 15 | | 58 |
| | 2005 | | | 14 | | 39 | | 14 | | 57 |
| Σ3bis | | | | 121 | | 218 | | - | | - |
| 4 | [2006-08] | 3 | 13 | | 36 | | 16 | | 57 | |

*Para los parámetros climáticos no existe registro en todos los años que comprenden los intervalos 2 y 3, calculándose la media con los datos disponibles.

7.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.5.1. Calidad del aire en el entorno del Antiquo Hospital

El descenso observado desde 1987 en los niveles anuales de SO₂, CO, NO₂, NO_x y MP se corresponde fundamentalmente a los límites establecidos a partir de 1986 en las directivas europeas. Que este descenso haya resultado más efectivo para el SO₂ y CO se debe fundamentalmente al empleo de gasolinas con menor contenido en azufre y a la sustitución de las calderas de carbón en la ciudad (Monzón et al. 1999, Artiñano et al. 2003). El menor e irregular descenso en las concentraciones de NO₂, NO_x y MP es debido principalmente al uso masivo de los transportes. De hecho, los valores máximos en los niveles de MP entre los años 1999-2009 han sido los que menos han bajado. Por otro lado, las concentraciones de O₃ son también muy irregulares y no han descendido, aumentando significativamente entre 2006 y 2009 (Monzón y Guerrero 2004).

La distribución mensual de SO₂, CO y NO_x es la característica de ambientes urbanos, con máximos en invierno y mínimos en verano (Artiñano et al. 2003). La relación directa que muestran sus curvas responde fundamentalmente a la mayor utilización del vehículo y de las calefacciones en los meses de invierno. El diferente comportamiento estacional del NO₂ se debe a su naturaleza fotoquímica, esto es, al ser generado a partir de reacciones en presencia de los rayos solares, su concentración disminuye en primavera y verano, pues en estos meses los valores de temperatura y radiación son más elevados. El aumento de su concentración en el invierno se debe principalmente a que corresponde con emisiones recientes que todavía no han reaccionado, debido a la baja actividad fotoquímica existente en estos meses (Artiñano et al. 2004).

El O₃ también es un contaminante fotoquímico, por eso su concentración aumenta durante los meses de calor, cuando la radiación ultravioleta es más intensa. Además del aumento de los rayos solares, temperaturas medias de unos 30°C y la ausencia de viento favorecen el incremento de los niveles de O₃ (Aránguez et al. 1999). A finales de la primavera y en el verano, el aumento de la radiación solar favorece la producción de contaminantes secundarios, registrándose importantes incrementos en los niveles de O₃ (Plaza et al. 1997), de ahí que su distribución presente una relación directa con la temperatura. La pauta irregular observada en la distribución mensual de la MP se debe fundamentalmente a que su principal fuente de emisión es el tráfico rodado y a que tanto en invierno como en verano en la ciudad se dan situaciones favorables para el incremento de su concentración; estabilidad atmosférica en invierno y transporte de polvo del Sahara, fuerte calentamiento del suelo y escasas lluvias en verano (Querol et al. 1998, Artiñano et al. 2003, Salvador et al. 2004).

En Madrid resultan comunes los episodios de elevada contaminación atmosférica durante el otoño y el invierno (Lechón et al. 2002), identificándose algunos en el entorno del inmueble entre 1999 y 2009 (figura 7.7). Por un lado, los meses de enero de 2000 y diciembre de 2001, con máximos de SO₂, CO y NO_x, valores elevados de NO_x y MP y mínimos de O₃, coincidiendo con las temperaturas más frías. Por otro, los meses de noviembre de 2004, enero de 2005 y enero de 2007, con máximos de NO₂ y elevados valores de NO_x y MP. Estos episodios están relacionados con bajas precipitaciones, vientos débiles y situaciones anticiclónicas, que favorecen las inversiones térmicas que se originan en la ciudad especialmente en el invierno, así como con el intenso tráfico y el máximo funcionamiento de las calefacciones en estos meses (Monzón et al. 1999, Monzón y Guerrero 2004). La comparativa realizada entre los meses de abril de 2003 y 2005 ha permitido atender a la pauta diaria en la distribución de los contaminantes analizados (figura 7.8). Por un lado, la menor dispersión de los niveles observada en la distribución horaria del SO₂ responde en gran parte a su menor relación con las emisiones procedentes de los vehículos. Por otro, el patrón diario para el CO, NO₂ y NO_x presenta dos picos característicos, asociados con las horas de mayor tráfico rodado, siendo buenos indicadores de las emisiones procedentes de los vehículos y relacionándose con la distribución de la MP (Artiñano et al. 2003).

Teniendo en cuenta las remodelaciones urbanísticas que desde hace unos años se vienen efectuando en la ciudad como medida para reducir el impacto de los contaminantes atmosféricos en sus inmuebles patrimoniales (Fort et al. 2004), la construcción del subterráneo bajo la glorieta de Cuatro Caminos supone una actuación enmarcada en estas políticas preventivas y de mejora del entorno de los inmuebles patrimoniales. Seguramente, la construcción del subterráneo haya participado del descenso en el nivel de contaminación que en general se viene produciendo desde el 2005 en el entorno del inmueble (figura 7.5). Sin embargo, la modificación del tráfico en la zona debido a la construcción del túnel apenas ha supuesto variación en los niveles de contaminación entre los meses de abril de 2003 y 2005 (figura 7.8). Debe tenerse muy en cuenta que este soterramiento no ha implicado la peatonalización de la zona, por lo que el tráfico en el entorno sigue siendo muy intenso. De este modo, el descenso en los niveles de SO_2 en abril de 2005 respecto al mismo mes del 2003 debe responder principalmente a su pauta de descenso general observada. No obstante, puesto que en la ciudad las concentraciones de CO están principalmente relacionadas con el tráfico rodado (Monzón et al. 1999), la construcción del subterráneo puede que sí haya favorecido el descenso observado en las concentraciones de CO.

Por otro lado, puesto que los niveles de NO_2 resultan un buen indicador de las emisiones procedentes de los vehículos y que en la ciudad de Madrid los niveles de NO_x están relacionados con el tráfico rodado (Monzón et al. 1999, Monzón y Guerrero 2004), el aumento de la concentración de NO_2 y NO_x entre abril de 2003 y 2005 indicaría que el nivel de contaminantes emitidos por el tráfico rodado no ha descendido en la zona debido a la construcción del túnel. El aumento en los niveles de NO_x no ha implicado el descenso en la concentración del O_3 , cuya distribución prácticamente no ha cambiado. Nuevamente, se observa que presenta una relación inversa con las concentraciones de SO_2 , CO, NO_2 y NO_x , pues los niveles de O_3 disminuyen en las horas de mayor contaminación al ser consumido en las reacciones de oxidación para generar los contaminantes secundarios. Tampoco se ha visto modificada la concentración de la MP, debido a que en Madrid el tráfico rodado origina los mayores niveles de partículas en suspensión y, como se ha indicado, sigue siendo muy intenso en la zona.

Aunque el tráfico no ha sido eliminado en el entorno inmediato del Antiguo Hospital, la distribución y deposición de los contaminantes procedentes de la circulación ha tenido que verse modificada con la construcción del túnel, afectando de forma diferente especialmente a los paramentos orientados hacia la calle Raimundo Fernández Villaverde, debido a la distinta altura alcanzada por los vehículos en esta zona.

7.5.2. Climatología y deposición de contaminantes en los paramentos del Antiguo Hospital

La pauta de comportamiento de los parámetros climáticos influye en los mecanismos transporte y deposición de los contaminantes sobre los paramentos, permitiendo el análisis efectuado establecer cierta correspondencia entre la climatología y estos mecanismos. La variación de la climatología en el periodo [1979-2009] (figuras 7.9 y 7.10) es en gran parte reflejo del cambio climático global, traduciéndose principalmente con un aumento progresivo de la temperatura así como con el descenso de la velocidad de la racha máxima de viento y de la humedad, afectando principalmente la modificación de la humedad relativa a los mecanismos de deposición de los contaminantes en los paramentos. Los paramentos más expuestos a la dirección de vientos dominante, S-SO, se ven más afectados por las corrientes de aire, cargadas de contaminantes. En este aspecto participa la existencia de fachadas cercanas y/o del propio edificio que pueden modificar u obstaculizar las corrientes de aire.

Durante los meses de noviembre a febrero, en el entorno del inmueble la climatología se caracteriza por la presencia de vientos débiles, elevadas presiones y bajas precipitaciones (figura 7.11), condiciones que favorecen la estabilidad atmosférica. Además de registrarse los mayores niveles de SO_2 en el invierno, esta estabilidad dificulta la dispersión de contaminantes, quedando retenidos en la atmósfera. Al aumentar su concentración, mayor es la cantidad de contaminantes que potencialmente pueden depositarse en los paramentos.

Por otro lado, la mayor temperatura y práctica ausencia de lluvias en los meses de junio a septiembre reactivan la suspensión de partículas (Querol et al. 1998, Artiñano et al. 2003, Salvador et al. 2004), favorecida además por las presiones también elevadas que se registran en estos meses. La relativa escasez de lluvias en el periodo [1979-2009] indicaría que la deposición de contaminantes sobre los paramentos del Antiguo Hospital ha tenido lugar principalmente por vía seca, que en zonas urbanas resulta un mecanismo de deterioro más importante que la vía húmeda (Furlan y Girardet 1983). De junio a septiembre, con elevadas temperaturas, menor humedad relativa y escasez de precipitaciones, tiene lugar preferentemente la deposición de los contaminantes y se ralentiza la sulfatación de la caliza, reactivándose durante los meses de noviembre a febrero, cuando se registran los valores de humedad más elevados.

A partir de los valores de humedad registrados en las horas consideradas y de la distribución horaria en los niveles de SO₂, estos procesos presentarían igualmente una pauta horaria (figura 7.8). La relación entre las horas cuando se registran los menores valores de humedad (13:00 y 18:00 h) con los niveles más elevados de SO₂ y MP, indicaría que su deposición en la superficie de la caliza resulta especialmente favorable entre las 09:00 y 18:00 h. La acción de estos contaminantes se reactivaría entre las 00:00 y 07:00 horas, cuando la mayor humedad relativa favorece sulfatación y retención de MP en la superficie de la caliza.

7.5.3. Incidencia de la evolución del entorno medioambiental en el deterioro de los paramentos

Puesto que la zona elegida para levantar el hospital gozaba de vientos fríos y saludables (epígrafe 2.1.2), se puede suponer la buena calidad del aire existente por entonces en el entorno, si bien el barrio en donde se emplaza ya era a principios del siglo XX uno de los más poblados de la ciudad (Palacios 1909). De hecho, al menos hasta aproximadamente el año 1936 los paramentos no mostraban una distribución diferencial de color y el mortero de junta permitía atender perfectamente al despiece de los elementos pétreos. El crecimiento vertiginoso que experimenta el entorno a partir de los años 40 (comparar figuras 2.9.a y 2.9.b), hizo que la emisión de contaminantes se disparara, resultando especialmente alarmante a partir de los 60. En los años 60-70 los paramentos ya presentaban un intenso grado de ensuciamiento (figuras 7.12 y 7.13). Las fotografías correspondientes a estos años sugieren que, dada la intensa contaminación ambiental a partir de la década de los 60, el ensuciamiento de los paramentos debió tener lugar en pocos años. Considerando los elevadísimos valores en la concentración de SO₂ en la ciudad a partir de los años 60 y considerando su importante aumento en el entorno del Antiguo Hospital entre 1978 y 1984 (figura 7.5), los procesos de sulfatación en las superficies debieron resultar especialmente significativas entre los años 60 y 80.

El intenso y homogéneo oscurecimiento que presentaban los paramentos hacia 1984 reducía su información visual, perdiéndose de forma general la sensación de volumen otorgada por los elementos pétreos. El elevado grado de ensuciamiento de las fachadas, con intensa tonalidad oscura, se debería principalmente a la deposición de partículas carbonáceas generadas por la combustión del carbón. De hecho, el propio hospital contaba con calderas de carbón (figura 7.13.a), que funcionaron hasta que fue abandonado en 1970, que emitirían partículas carbonáceas gruesas y muy oscuras. La proliferación de los motores diesel en la ciudad entre los años 60 y 80 y la utilización del carbón como principal combustible en los generadores de calor hasta principios de los 80, supusieron las principales fuentes emisoras de SO₂ y partículas carbonáceas en el entorno del Antiguo Hospital durante esta época. Debe tenerse en cuenta además que el inmueble llevaba casi 15 años abandonado y que hasta 1984 en los paramentos no se efectúa operación alguna de limpieza.

La limpieza de los paramentos efectuada en la intervención de 1984-1986, mediante proyección de partículas, retiró los depósitos superficiales responsables de su ensuciamiento en su práctica totalidad (comparar figuras 2.6.g y 2.7.l), si bien parte del SO₂ precursor de los procesos de sulfatación quedaría en el interior y/o superficie de la caliza. De este modo, durante los 20 años transcurridos hasta 2006, el SO₂ depositado en el pasado y que no fue eliminado en la limpieza de los años 80 debió participar en la sulfatación que siguió experimentando la piedra, siguiendo elevados además hasta 1995 los niveles de SO₂ (figura 7.5).

En los 20 años transcurridos entre sendas intervenciones se ha producido una importante mejora de la calidad del aire en la ciudad, favorecida en gran parte por la sustitución de las calderas de carbón en los primeros años de los 80. Sin embargo, el tráfico ha seguido resultando muy intenso, procediendo las partículas carbonáceas fundamentalmente de las emisiones de los motores diesel, más finas y menos oscuras (Viles y Gorbushina 2003, Cachier et al. 2004), de ahí en gran parte el ensuciamiento con tonalidades pardo-amarillentos mostraban los paramentos en el 2006. La menor intensidad en el grado de ensuciamiento con respecto a los años 80 se debía fundamentalmente a la limpieza acometida en 1984-1986 y a la progresiva mejora de la calidad del aire, permitiendo además identificar el despiece marcado por los morteros de fábrica. Ciertamente, habían transcurrido bastantes menos años, 20 frente a los casi 70 que en 1984 llevaban los paramentos expuestos y, un aspecto de vital importancia, desde la intervención de los años 80 el inmueble había estado en uso.

Aunque en estos 20 años el inmueble ha continuado ensuciándose la importante reducción en las emisiones ha hecho que en este tiempo no se ensucien tan rápido. Por otro lado, en los 20 años transcurridos entre sendas intervenciones el proceso de auto-limpieza por efecto de la lluvia y del viento, que permite el lavado de los depósitos negros más antiguos (Davidson et al. 2000, Grossi y Brimblecombe 2008) no ha resultado significativo, principalmente porque la limpieza de los años 80 retiró las partículas carbonáceas gruesas y oscuras y en estos 20 años se han depositado principalmente partículas más finas y menos oscuras. El mayor contraste entre "zonas negras" y "zonas blancas" observado en los paramentos antes de la intervención de los 80 permite identificar las superficies más favorables al ensuciamiento y las más expuestas a la acción del agua de lluvia. Las primeras se ensucian más rápido, quedando antes cubiertas por partículas, y es aquí en donde con mayor intensidad tienen lugar los procesos de sulfatación y formación de costras negras.

Con la correspondiente modificación en la tonalidad del ensuciamiento, los patrones de color que mostraban los paramentos antes de la intervención de los años 80 y en el 2006 resultaban en general similares. La intensidad y homogeneidad del ensuciamiento resultan especialmente significativas en las zonas centrales de los paramentos, donde la acción del agua y del viento es menor. Las zonas que en 2006 mostraban menor ensuciamiento que en 1984 corresponden a zonas que tardan más en ensuciarse y, de no haberse efectuado la limpieza de 2006-2008, con el tiempo posiblemente habrían acabado por ensuciarse. Zonas intensamente oscurecidas antes de sendas intervenciones, zonas protegidas y la hoja externa del muro perimetral, se corresponden con superficies muy favorables al ensuciamiento y, por tanto, se ensucian antes. Tanto antes de la limpieza de los años 80 como de la iniciada en el año 2006, se observaba que las "zonas blancas" fundamentalmente se localizan bien en las partes elevadas y cerca de las esquinas, donde el lavado es más eficiente, bien en los elementos en voladizo, al estar también expuestos a la acción de la lluvia. Las zonas que antes de la limpieza de los años 80 mostraban una tonalidad clara, posiblemente nunca lleguen a ensuciarse.

Dado el tiempo que llevaban los paramentos expuestos a los agentes medioambientales y la elevadísima contaminación en la ciudad a partir de los 60, se puede considerar que el ensuciamiento que mostraban en 1984 se corresponde con el máximo posible que podrían alcanzar. Posiblemente, entre los años 60 y 80 hubo un momento en el que las zonas más favorables al ensuciamiento debieron de dejar de oscurecerse. Se desconoce la concentración de carbono elemental que hacia 1984 presentaría la superficie de la piedra, señalando Bonazza et al. (2007) que a partir de los 10 g/m² el material no oscurece mucho más.

Se considera también que el intenso y homogéneo oscurecimiento de entonces no volverá a alcanzarse, principalmente por la reducción en las emisiones de SO₂ y por la emisión de partículas carbonáceas más finas y menos oscuras, además de la emisión de contaminantes cada vez más ricos en componentes orgánicos y más pobres en carbono elemental (Grossi y Brimblecombe 2008). Por otro lado, la diferencia entre el grado de ensuciamiento de la caliza y del mortero de junta se podría considerar como un indicador relativo del tiempo de exposición y de la concentración de partículas carbonáceas.

Atendiendo a los seis años previos a las dos operaciones de limpieza acometidas en el inmueble, intervalos 1 [1978-1983] y 3_{bis} [2000-2005], la mayor reducción de los niveles de SO₂ que de la MP señalaría, por un lado, la menor deposición de SO₂ frente a la de MP en los paramentos durante el intervalo 3_{bis}. Por otro, que en el intervalo 3_{bis} las emisiones de SO₂ no debían suponer el factor principal de deterioro de la caliza, como sí lo fueron durante el intervalo 1. De hecho, entre los años 1978 y 1984 los niveles de SO₂ aumentaron de forma especialmente alarmante y en el intervalo 3_{bis} se registraron los menores niveles de SO₂. En el entorno del inmueble, la menor humedad relativa del intervalo 3_{bis} respecto al 1 estaría favorecida por el aumento de la temperatura. De este modo, los valores de humedad más elevados registrados en el intervalo 1 indicarían que los procesos de sulfatación de la caliza y la formación de costras negras debieron resultar más intensos que en el 3_{bis}, cuando el descenso de la humedad debió ralentizar estos procesos.

7.6. CONCLUSIONES

- El deterioro de los paramentos del Antiguo Hospital está en gran parte condicionado por los niveles de inmisión de SO₂ y MP en su entorno próximo y por el propio paso del tiempo. La concentración de SO₂ presenta un comportamiento estacional, con máximos niveles en invierno por el mayor empleo de vehículos y calefacciones y, debido a su progresiva reducción desde 1987, ya no supone el factor principal de deterioro de la caliza empleada en la construcción del inmueble. La distribución de la MP, principalmente procedente de las emisiones del tráfico rodado, es muy irregular, pues en invierno y en verano en Madrid se dan situaciones que favorecen el aumento de su concentración. El tipo de partículas depositada en la superficie de la caliza ha tenido que condicionar la tonalidad del ensuciamiento.
- El crecimiento vertiginoso del entorno a partir de los años 40 disparó la emisión de contaminantes. La sulfatación de la caliza debió resultar especialmente intensa entre los años 60 y 80, dadas las elevadas concentraciones de SO₂ a partir de los años 60 en la ciudad y su progresivo aumento en el entorno del inmueble entre 1978 y 1984. En los años 70 y 80 los paramentos mostraban un muy elevado grado de ensuciamiento, de intensa tonalidad oscura, posiblemente debido a la deposición de partículas carbonáceas gruesas y muy oscuras. La proliferación de los motores diesel en la ciudad entre los años 60-80 y la utilización del carbón como principal combustible en los generadores de calor hasta principios de los 80, supusieron las principales fuentes emisoras de SO₂ y partículas carbonáceas en el entorno del inmueble hasta la limpieza acometida en 1984-1986.
- Entre 1986 y 2006, el empleo de gasolinas con menor contenido en azufre y la sustitución de las calderas de carbón han favorecido el importante descenso de SO₂ en el entorno del Antiguo Hospital. No obstante, hasta 1995 sus niveles seguían siendo elevados y parte del SO₂ precursor de la sulfatación de la caliza quedó en su interior y/o superficie a pesar de la limpieza de los 80. En estos 20 años, las partículas carbonáceas responsables del ensuciamiento han procedido principalmente de las emisiones de los motores diesel, más finas y menos oscuras, pues el tráfico rodado no ha disminuido. Durante estos 20 años los paramentos han continuado ensuciándose, si bien la reducción en las emisiones de SO₂ y la modificación en el tipo de partículas carbonáceas emitidas han permitido que no se ensucien tan rápido y que la tonalidad del ensuciamiento no resulte tan oscura.
- Los máximos niveles de SO₂ registrados en el entorno del inmueble entre los meses de noviembre y febrero coinciden con unas condiciones atmosféricas muy estables, correspondientes a bajas precipitaciones, vientos débiles y situaciones anticiclónicas. Esta estabilidad dificulta la dispersión de contaminantes, aumentando su concentración al quedar retenidos en la atmósfera, resultando por tanto mayor la cantidad de contaminantes que potencialmente pueden depositarse en los paramentos.
- La relativa escasez de lluvias entre [1979-2009] podría señalar que la deposición de contaminantes sobre los paramentos mediante vía seca ha resultado significativa. Puesto que la humedad acelera los procesos de sulfatación y la retención de MP se ve favorecida por la humedad de las superficies, el análisis efectuado señalaría que de junio a septiembre tiene lugar la deposición del SO₂ y MP sobre la caliza, ralentizándose los procesos de sulfatación debido a la menor humedad relativa y menor concentración de SO₂ registradas durante estos meses. Entre noviembre y febrero, el aumento de la humedad reactiva los procesos de sulfatación y favorece la retención del SO₂ y MP depositados, cuando además la concentración de SO₂ alcanza sus niveles máximos. En estos meses, la deposición de SO₂ y MP resulta muy favorable entre las 09:00 y 18:00 h, reactivándose su acción entre las 00:00 y 07:00 horas, cuando aumenta la humedad.

- Si bien con la construcción del túnel bajo la glorieta de Cuatro Caminos no se ha reducido el tráfico en el entorno inmediato del Antiguo Hospital, la distribución y deposición de los contaminantes procedentes de la circulación ha tenido que verse modificada, especialmente en los paramentos orientados hacia la calle Raimundo Fernández Villaverde.
- La limpieza acometida en los paramentos entre 1984-1986, la importante reducción en las emisiones de SO₂ en el entorno del inmueble a partir de 1987, la progresiva emisión de partículas carbonáceas más finas y menos oscuras así como el menor tiempo de exposición de los paramentos a los agentes medioambientales, han favorecido que en 2006 presentaran menor grado de ensuciamiento que en 1984. Con la correspondiente modificación en la tonalidad del ensuciamiento, los patrones de color que mostraban los paramentos antes de la intervención de los años 80 y en el 2006 resultaban en general similares.
- El intenso y homogéneo oscurecimiento observado en los paramentos hacia 1984 reducía su información visual, perdiéndose de forma general la sensación de volumen otorgada por los elementos pétreos. El menor grado de ensuciamiento y las tonalidades más pardo-amarillentas que mostraba el inmueble en el 2006 permitía observar el despiece de los paramentos.
- Debido al mayor grado de ensuciamiento que presentaban los paramentos antes de 1984 respecto al año 2006, el contraste entre las zonas lavadas y las favorables al ensuciamiento estaba mucho más definido, resultando el paso del tiempo un factor que acentúa este contraste. El contraste entre "zonas negras" y "zonas blancas" permite localizar las superficies más expuestas a los procesos de ensuciamiento y de lavado. En las primeras, localizadas principalmente en las zonas centrales de los paramentos y en superficies protegidas, pues aquí es menor la acción del agua y/o del viento, deben tener lugar con mayor intensidad los procesos de sulfatación y formación de costras negras. Las "zonas blancas" se localizan en las partes elevadas, cerca de las esquinas y en los elementos en voladizo, debido a su mayor exposición al agua de lluvia, resultando significativos en estas zonas los procesos de disolución y carbonatación de la caliza.
- Se considera que el grado de ensuciamiento que presentaban los paramentos hacia 1984 se corresponde con el máximo posible que podrían alcanzar y aquellas zonas que por entonces mostraban una tonalidad clara posiblemente nunca lleguen a ensuciarse. Es de esperar que los niveles de contaminación existentes entre los años 60 y 80 no vuelvan a alcanzarse, debido principalmente a la reducción en las emisiones de SO₂ y a la emisión de partículas carbonáceas más finas y menos oscuras.
- El estudio realizado señala unas condiciones climáticas en el entorno del Antiguo Hospital cada vez más cálidas y secas, con un régimen de lluvias escaso y bastante irregular. Si bien estas condiciones ralentizarán la sulfatación de la caliza así como minimizarán la retención de las partículas depositadas en su superficie, debe tenerse en cuenta que favorecerán el mecanismo de deposición de contaminantes sobre las superficies mediante la vía seca, especialmente agresivo en zonas urbanas. El progresivo descenso de la humedad relativa favorecerá además la disminución en la concentración de partículas, transportándose cada vez menos distancia si la velocidad del viento continúa con la pauta de descenso señalada.
- Puesto que los niveles de SO₂ siguen descendiendo y se tiende hacia una emisión de contaminantes cada vez más ricos en componentes orgánicos y más pobres en carbono elemental, el deterioro de la caliza del Antiguo Hospital por procesos de sulfatación y posterior formación de costras negras irá progresivamente resultando menos intenso. Si bien serán el NO₂, NO_x y la MP los contaminantes que bien solos o en sinergia sigan afectando a los paramentos del inmueble, del mismo modo el progresivo descenso de la humedad relativa favorecerá en general su menor retención en la superficie de la caliza.

8. PATRONES O DISTRIBUCIÓN DE COLOR EN LAS FACHADAS DEL ANTIGUO HOSPITAL

En el inmueble objeto de estudio, factores de diseño como la disposición de las fachadas en el trazado urbano ortogonal donde se encaja o los sucesivos planos de avance respecto al plano principal de fachada igualmente condicionan la distribución de color. Los patrones de color son cuantificados mediante Espectrofotometría, a partir de la medida de la luminosidad (L^*) y de la coordenada cromática b^* *in situ* sobre la caliza. La relación entre estos valores y los patrones observados se realiza atendiendo a la disposición de las fachadas (directa o indirecta), al tipo de exposición de las zonas de medida (expuestas o protegidas) y a la altura a la que se localizan (según los niveles establecidos en la vertical en el capítulo 3). Considerando estas tres variables o factores de diseño, mediante el cálculo del ensuciamiento final (ΔL^*) se establece la tasa de ensuciamiento que ha experimentado la caliza durante los 20 años transcurridos entre la limpieza de los años 80 y la efectuada entre 2006-2008. Se calculan también el coeficiente de ensuciamiento (CE) y el área cubierta efectiva (ACE%), estableciendo la relación de este último parámetro con la luminosidad medida *in situ*.

Los factores de diseño analizados suponen variables que permanecen constantes en el tiempo e influyen de forma conjunta en los patrones de color que se producen en las fachadas. La disposición es la variable que en mayor medida condiciona el ensuciamiento de las fachadas, el tipo de exposición influye especialmente en su variabilidad, siendo más homogéneo en las zonas protegidas, y la altura favorece un menor ensuciamiento. Es en las zonas expuestas donde más se acusa la disposición de las fachadas y una disposición indirecta favorece el ensuciamiento diferencial, mostrando las fachadas unos patrones de color más heterogéneos.

Con vistas a la restauración integral de las fachadas efectuada en 2006-2008 y como medida para su conservación preventiva, se plantea un modelo que permite determinar si la caliza presenta un aspecto estético tolerable, a partir de la medida *in situ* de su L^* , estableciendo así si es necesaria su limpieza en base a criterios estéticos. El modelo permite igualmente estimar cuánto tiempo tardará la caliza en presentar nuevamente un deterioro estético según su localización en las fachadas, qué zonas requerirán de una mayor protección, en qué zonas no será necesario limpiar o el intervalo de tiempo a partir del cual deben efectuarse limpiezas periódicas. Por otro lado, la aplicación de tratamientos de conservación permite ralentizar el ensuciamiento de la piedra en algunas zonas y/o niveles y, con ello, dilatar estas actuaciones de limpieza.

El análisis realizado posibilita monitorizar el ensuciamiento de las fachadas, estableciendo las zonas donde resultaría más adecuada la medición de la luminosidad y/o la colocación de captadores de la concentración de contaminantes atmosféricos, suponiendo una apuesta por el mantenimiento preventivo del inmueble.



Aspecto que en 2006 mostraban los paramentos de la iglesia dirigidos a la calle Raimundo Fernández Villaverde.

8.1. INTRODUCCIÓN

8.1.1. Diseño de fachadas y patrones de color

Entre los muy diversos factores que influyen en el ensuciamiento de fachadas en ambientes urbanos contaminados, deben considerarse aspectos constructivos y/o de diseño, pues los contaminantes atmosféricos se reparten alrededor de los edificios según la orientación, altura, relieve y formas de las fachadas (León 1992, Pospíšil et al. 2006). El tipo de exposición, esto es, que los materiales estén en zonas expuestas o protegidas a la acción de la lluvia y/o del viento, condiciona la acumulación de los contaminantes depositados y la humedad retenida en las superficies (Grossi et al. 2003, Rampazzi et al. 2011). Así, el diseño de fachadas influye decisivamente en la distribución de las "zonas negras", "zonas blancas" y "zonas grises" referidas por Camuffo et al. (1982), condicionando los patrones de color. Las "zonas blancas" en sí no suponen deterioro estético, sino que es su alternancia con las "zonas negras" lo que provoca una distribución heterogénea de color, afectando negativamente al impacto visual de los inmuebles. En principio, toda una fachada es susceptible a la deposición de contaminantes, no existiendo zonas protegidas a su deposición sino más bien zonas expuestas al lavado o en donde su eliminación resulta más difícil al quedar protegidas de la acción del agua y/o del viento. Ciertamente, hay zonas más favorables a la deposición, como planos horizontales o superficies próximas a los focos de emisión, y otras menos favorables, como zonas no especialmente lavadas pero en las que por su localización es mínimo su depósito. Por otro lado, las "zonas blancas" pueden corresponder también a superficies localizadas en zonas expuestas al lavado y que a la vez sufren procesos de sulfatación.

Indican Andrew (1992) y Matteini (2005) que los edificios históricos parece que deben ofrecer una sensación de antigüedad y presentar con su color una pátina de tiempo que otorgue un aspecto estético beneficioso. Aunque la cantidad de ensuciamiento es importante, su distribución condiciona en gran parte cómo se percibe (Grossi y Brimblecombe 2004). Como medida para la gestión de los edificios patrimoniales, en los últimos años viene existiendo cierto interés por conocer su percepción estética, estableciéndose intervalos de cuándo es necesario efectuar operaciones de limpieza (Grossi et al. 2003, Grossi y Brimblecombe 2004, Marie 2013) o estimando niveles aceptables de partículas carbonáceas en la atmósfera relacionando la luminosidad percibida en las fachadas con la concentración de carbono elemental (Brimblecombe y Grossi 2005). La Comisión Europea ha promovido también la investigación hacia estos temas, financiándose, por ejemplo, durante el quinto Programa Marco (1998-2002) el proyecto "Carbon content and origin of damage layers in European monuments" (CAMEL), que atendió a la relación entre la concentración de carbono en la atmósfera, a su deposición en las fachadas, a la percepción del color y el grado de ensuciamiento que es estéticamente tolerable.

En el pasado reciente los edificios estaban expuestos a concentraciones de carbono elemental mucho más elevadas, estando la población acostumbrada a fachadas muy oscuras. Las intervenciones de limpieza que desde hace unas décadas se vienen efectuando y la progresiva reducción en las emisiones de partículas carbonáceas así como la modificación de su tamaño y color (más finas y menos oscuras), han permitido que los edificios empiecen a presentar un aspecto más limpio. Como se indicaba, ya puede apreciarse el cambio hacia tonalidades más pardo-amarillentas y, progresivamente, se podrá observar el amarillamiento resultante por procesos de oxidación o de la nueva coloración biológica, facilitando las fachadas cada vez más limpias la mejor percepción del color del edificio (Grossi y Brimblecombe 2008). Debido esencialmente a la reducción de las emisiones, durante el siglo XXI el deterioro de los materiales en áreas urbanas estará más influido por los factores climáticos de lo que lo ha estado en el pasado reciente. Para el mantenimiento de los inmuebles patrimoniales, se deberá prestar atención a los nuevos patrones de color, condicionados principalmente por la reducción de azufre e incremento de los compuestos orgánicos (Ghedini et al. 2007, Agbota et al. 2013, Brimblecombe 2013).

8.1.2. Modificación cromática en fachadas

Las partículas carbonáceas, principales responsables del ensuciamiento de fachadas, presentan una alta retención en la superficie de los materiales y una elevada capacidad de absorción óptica (Lanting 1986, Horvath 1993, Bellan et al. 2000), reduciendo en un 30% su reflectancia (Pio et al. 1998). El ensuciamiento de las superficies está relacionado con el área cubierta por estas partículas oscuras y puede medirse como un cambio en su reflectancia óptica (Haynie 1986, Creighton et al. 1990, Newby et al. 1991, Watt et al. 2000).

Aunque el color de los materiales no influye en la deposición de la materia particulada, sí participa en la mayor percepción del ensuciamiento, resultando los materiales claros más susceptibles al deterioro estético relacionado con los procesos de ensuciamiento (Grossi y Brimblecombe 2007). Para analizar las modificaciones cromáticas de las fachadas debido a procesos de ensuciamiento se utiliza principalmente el sistema CIELAB (CIE 1976), al suponer una buena representación de la sensibilidad humana al color. El valor de la coordenada L^* (luminosidad de color) puede considerarse como un indicador de la reflectancia óptica de las superficies (Martin y Souprounovich 1986, Grossi y Brimblecombe 2008), que permite evaluar el ensuciamiento de las fachadas mediante el análisis de su variación en el tiempo (Grossi et al. 2003). Materiales claros expuestos a la contaminación ambiental experimentan con el tiempo un importante descenso en la luminosidad, debido a su oscurecimiento por la deposición de partículas, y un aumento en el valor de la coordenada b^* , lo que indica cierta saturación del componente amarillo (Grossi y Brimblecombe 2007), que va perdiéndose conforme la superficie se va cubriendo de partículas oscuras (Alonso et al. 2004, Lefèvre et al. 2007).

Como se ha referido en el capítulo anterior, Bonazza et al. (2007) señalan que si la concentración de carbono elemental en la superficie de la costra negra es de unos 10 g/m^2 , resulta un valor mínimo de luminosidad en dicha superficie ($L^* \approx 35$) y, una vez alcanzada esta concentración, la superficie no se oscurecerá mucho más. En materiales claros y porosos, la luminosidad decrece linealmente con la raíz cuadrada del tiempo y de la concentración de partículas oscuras (Beloin y Haynie 1975, Pio et al. 1998, Creighton et al. 1990, Grossi et al. 2003). A partir de la variación de la luminosidad, Grossi et al. (2003) establecen dos parámetros.

Por un lado, el ensuciamiento final o total (ΔL^*), definido como la cantidad de ensuciamiento para un intervalo de tiempo y grado de contaminación ambiental determinados:

$$\Delta L^* = L^*_t - L^*_0$$

$$\Delta L^* (\%) = ((L^*_t - L^*_0)/L^*_0) \cdot 100$$

Donde L^*_0 es la luminosidad del material antes de ser expuesto y L^*_t pasado el tiempo de exposición t .

Por otro, el coeficiente de ensuciamiento (CE), referido a la velocidad o capacidad de ensuciamiento de un material y que se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$L^*_t = L^*_0 - CE (MP \cdot t)^{1/2}$$

Donde MP es la media de la carga total de partículas en suspensión en $\mu\text{g/m}^3$ durante el tiempo de exposición considerado y t el tiempo de exposición en días.

Teniendo en cuenta las modificaciones en la luminosidad, también puede estimarse el área cubierta (AC) por partículas oscuras o el área cubierta efectiva (ACE%), estableciendo Grossi et al. (2003) establecen:

$$L^*_t/L^*_0 = (1 - AC) + (L^*_p/L^*_0) \cdot AC$$

$$ACE (\%) = 100 \cdot AC$$

Donde L^*_p es la luminosidad de las partículas depositadas (se asume un valor de 30).

8.1.3. Patrones de color en los paramentos del Antiguo Hospital (año 2006)

La limpieza efectuada en los años 80 consiguió principalmente eliminar las "zonas negras" que mostraban los paramentos por entonces, reduciendo los fuertes contrastes cromáticos y otorgando una tonalidad homogénea (figura 2.7.l). Transcurridos 20 años, en el 2006 la distribución de color respondía nuevamente a zonas claras y zonas oscuras, en gran parte correspondientes a las "zonas blancas" y "zonas negras" señaladas por Camuffo et al. (1982) respectivamente y generada según las condiciones ambientales existentes durante los años 1987 y 2006 (capítulo 7). En la distribución de color se considera por un lado la intensidad del ensuciamiento, correspondiente a diversas tonalidades marrones que llegan a alcanzar intensidades muy oscuras. Por otro, la homogeneidad o heterogeneidad de dicha distribución, en tanto que en una zona, nivel y/o fachada predominen "zonas blancas" o "zonas negras" (patrones homogéneos) o ambas zonas se alternen (patrones heterogéneos). Los paramentos mostraban más zonas oscuras que claras, se diferenciaban tres tonalidades principales (claras, marrones y muy oscuras) y el contraste entre "zonas negras" y "zonas blancas" era muy significativo en el muro.

Las superficies lavadas y/o más expuestas a la acción del viento se localizaban principalmente en las zonas elevadas y en los planos más avanzados respecto al principal de fachada. En las zonas expuestas se observaba una distribución heterogénea del color, especialmente por donde discurre el agua de lluvia (zonas de escorrentía), bien a favor de las zonas de unión de las piezas (figuras 2.6.f y 3.7.a), bien siguiendo los avances y retranqueos de los sucesivos planos. El ensuciamiento presentaba diversas tonalidades marrones (figura 8.3), de menor intensidad en la fachada de la nave Noreste dirigida a la calle Alenza y especialmente oscura en la portada principal de la iglesia y en la zona central de la hoja externa del muro. Aunque el ensuciamiento era más intenso antes de la intervención de los años 80, entonces y en el año 2006 la distribución del color resultaba similar, rompiendo los patrones de color el fuerte desarrollo en la horizontal que presentan las fachadas (salvo la portada de la iglesia). Precisamente en esta hoja externa los patrones de color presentaban fuertes contrastes cromáticos, observándose zonas muy claras o con un intenso oscurecimiento y apenas tonalidades intermedias.

Conforme al diseño de los paramentos, son dos los factores que principalmente condicionan la distribución del color. Por un lado, su disposición en paralelo o en diagonal respecto al trazado ortogonal de las calles que rodean el inmueble, presentando mayores niveles de ensuciamiento los paramentos dispuestos paralelamente a la retícula urbana, esto es, las cuatro caras del muro, la portada de la iglesia y la fachada del cuerpo de entrada por la calle Maudes. Además, estos paramentos quedan muy próximos al tráfico rodado, mientras que las fachadas de las naves diagonales quedan más alejadas y protegidas por el muro perimetral.

Por otro, los planos que avanzan respecto al principal de fachada generan muchas zonas protegidas, bajo elementos en voladizo, donde se observa en general un ensuciamiento más intenso y con una distribución más homogénea. Estos planos de avance hacen que el principal de fachada resulte una importante superficie retranqueada, en la que aún presentando muchas zonas expuestas se dificulta la acción de la lluvia y el viento.

En los elementos pétreos configurados con granito la percepción de su ensuciamiento era menor, pues su superficie lisa dificulta la adhesión de partículas, su color gris camufla en oscurecimiento y por su localización quedan menos expuestos a las emisiones del tráfico rodado (figura 3.14.c). Los paneles cerámicos y mosaico de azulejos mostraban un ligero ensuciamiento pues, a pesar de su posición protegida, su esmaltado dificulta la adhesión de partículas y sus vivos colores camuflan el ensuciamiento (figura 5.1). En el caso del mármol, utilizado puntualmente, el pulido que presenta facilita el lavado y dificulta la retención de partículas, no mostrando apenas ensuciamiento a pesar de localizarse principalmente en superficies horizontales. Los morteros de junta contribuían considerablemente al ensuciamiento de los paramentos, principalmente por la elevada porosidad propia de este tipo de material, que contribuía a la mayor retención de partículas y de humedad.

Se indica la existencia de dos aspectos que participan en los patrones de color de los paramentos así como en la percepción del ensuciamiento, cuyo estudio es abordado en los siguientes capítulos. Por un lado, el desarrollo de biofilms, especialmente sobre los morteros de junta en zonas elevadas (capítulo 9). Por otro, el acabado rugoso de las superficies (capítulo 10), influyendo la rugosidad en la susceptibilidad que presentan los materiales claros al deterioro estético por cambios de color (Benavente et al. 2003, Urosevic et al. 2013). Si bien la rugosidad favorece la deposición de partículas, en los paramentos se observa que a su vez ralentiza su distribución homogénea en la superficie de la piedra (figura 9.1.b). Así, la heterogeneidad cromática que el acabado rugoso introduce a nivel de fachadas y de su percepción reduce en cierta medida su deterioro estético. En las zonas oscurecidas el acabado rugoso queda más camuflado cuanto más intenso es el ensuciamiento y más homogénea su distribución (figuras 9.c y 9.d). En las zonas lavadas por el agua de lluvia las superficies muestran una tonalidad clara muy homogénea, afectando en menor medida la rugosidad superficial a la heterogeneidad del color, si bien en estas superficies parte del acabado rugoso se pierde debido a los procesos de disolución.

8.1.3.a. Portada de la iglesia y fachada a la calle Maudes del cuerpo de entrada

Presentaban un importante nivel de ensuciamiento, en la portada de la iglesia con una muy intensa tonalidad marrón (figura 8.1.a), especialmente oscura en el nivel basamento (0)¹, y en la fachada a la calle Maudes también marrón pero más clara (figura 8.1.b). La heterogénea distribución de color observada en los cuerpos centrales de ambas fachadas, ligeramente adelantado en la portada de la iglesia y retranqueado considerablemente en la fachada a la calle Maudes, se debía principalmente a su cierto carácter escultórico, otorgado por la abundancia de vanos ($1D_{R2}$ y $1D_{M2}$ en figura 8.2). Sin embargo, en los cuerpos laterales, los patrones de color eran bastante homogéneos, correspondiendo en algunos niveles en su práctica totalidad a zonas oscuras y en otros a zonas claras. En los cuerpos laterales de la fachada a la calle Maudes, con similar diseño al de las fachadas de las naves, la distribución del ensuciamiento resultaba muy homogénea en el plano principal de fachada de los niveles inferior (1) y medio (2) (figura 8.1.b).

En los cuerpos semicirculares el ensuciamiento aumentaba a medida las fachadas se aproximan a la calle Raimundo Fernández Villaverde (figuras 8.1.c y 8.1.d). Tomando como referencia un eje central vertical, en ambas fachadas la distribución de color mostraba cierta simetría. Además, como se comentaba en el capítulo anterior, en la portada de la iglesia, el ensuciamiento disminuía considerablemente a partir de la altura en donde quedan ubicadas las campanas, existiendo también un eje de simetría en la horizontal.

¹ Además de exposición directa y su proximidad a las emisiones del intenso tráfico de la calle Raimundo Fernández Villaverde, debe considerarse la diferente morfología de los elementos pétreos que configuran estos niveles, unidos mediante amplias juntas rehundidas que originan zonas protegidas y planos horizontales, así como a la línea de imposta ligeramente adelantada que remata el nivel basamento (0) en los cuerpos laterales de la iglesia (figura 3.8.a), el cual forma parte del muro perimetral (figura 8.1.a).

8.1.3.b. Naves diagonales

Las dos fachadas dirigidas a Raimundo Fernández Villaverde mostraban un ensuciamiento considerablemente mayor que las orientadas hacia las calles Maudes, Treviño y Alenza (comparar figuras 8.1.e y 8.1.f), al estar las primeras dirigidas a una vía con un nivel de tráfico muy intenso. Los paramentos de los torreones de esquina también presentaban un importante ensuciamiento, especialmente el correspondiente a la nave Noroeste (figura 8.3.g), debido en gran parte al mayor encajonamiento de la calle Treviño en su intersección con Raimundo Fernández Villaverde respecto al de la calle Alenza, en donde la zona ajardinada anexa permite la mejor aireación de los paramentos.

El nivel basamento (0), sólo en las naves Suroeste y Sureste, presentaba unos patrones de color que principalmente correspondían a "zonas blancas", pues su posición adelantada facilita su lavado y aireación. En las fachadas dirigidas hacia los aparcamientos los patrones eran más heterogéneos, pues la vegetación favorece el lavado diferencial de los paramentos. En las otras dos fachadas la distribución de color era más homogénea y predominaban las zonas oscuras, porque la dimensión de los patios ingleses y la vegetación dificultan su aireación y lavado. En la figura 8.1.h se observa que el nivel zócalo (0) se correspondía en mayor medida con zonas claras, pues su posición adelantada permite su lavado; en el nivel inferior (1), la distribución del ensuciamiento era bastante homogénea en el plano principal de fachada, resultando mayor el grado de ensuciamiento en las piezas ubicadas bajo elementos en voladizo (1a y 1b), especialmente bajo el alféizar de las ventanas (1c). También la vegetación existente participaba de los patrones de color observados en este nivel inferior (fachadas 6I_R y 5I_A en la figura 8.2).

El subnivel piso (2a) mostraba en general un bajo grado de ensuciamiento, pues su ubicación elevada permite la mayor aireación de los paramentos y queda algo más alejado del tráfico circundante. Salvo en las fachadas dirigidas a la calle Raimundo Fernández Villaverde, donde los patrones de color presentaban numerosas zonas oscuras (comparar figuras 8.1.e y 8.1.f), el ensuciamiento se localizaba principalmente en las superficies protegidas, esto es, bajo elementos en voladizo (figura 8.1.h). En el subnivel friso (2b), igualmente los patrones de color correspondían a zonas oscuras bajo elementos en voladizo (imposta en voladizo y ménsulas), con tonalidad marrón (figura 8.1.i). La imposta presentaba un ensuciamiento homogéneamente distribuido, pues al quedar tan retranqueada respecto al subnivel cornisa (3a) apenas es lavada ni sometida a la acción del viento.

En el subnivel cornisa (3a) la distribución del color era muy heterogénea (figura 8.1.i). Las dos impostas inferiores mostraban un ensuciamiento de diversas coloraciones marrones alternando con "zonas blancas", debido al lavado de los elementos pétreos a favor de las juntas de unión. En la imposta superior se alternaban tonalidades muy claras con otras oscuras, debido principalmente al intenso lavado de la caliza en esta zona y a la colonización del soporte pétreo por microorganismos, respectivamente. En el subnivel balaustrada (3b) predominaban las "zonas blancas" (figura 8.1.i), al estar expuesto a la acción de la lluvia. Además, el subnivel cornisa (3a), en voladizo, puede suponer cierta barrera para el ascenso de los contaminantes procedentes del tráfico rodado, si bien las zonas no lavadas de las caras interiores de los balaustres presentaban un elevado grado de ensuciamiento (figura 8.1.j).

8.1.3.c. Muro perimetral

Su hoja externa presentaba en sus cuatro orientaciones un elevadísimo grado de ensuciamiento (figuras 3.8.i y 8.1.g). La distribución de color en los paños respondía en general a las mismas causas que las indicadas para las fachadas, mostrando los patrones marcados contrastes cromáticos. La zona del zócalo situada entre las pilastras presentaba una distribución de color correspondiente a "zonas blancas" (figura 3.9), principalmente por su exposición a la acción de la lluvia y/o viento al corresponderse con un plano adelantado, si bien por su localización está muy expuesta también a las emisiones procedentes del tráfico.

El nivel medio (2), especialmente la zona retranqueada, mostraba un intensísimo grado de ensuciamiento, dificultando en ocasiones la identificación de las diversas variedades de piedra caliza y la diferenciación de la caliza del grueso mortero de junta (figuras 3.8.i). El ensuciamiento era especialmente significativo en la cara paralela a la calle Raimundo Fernández Villaverde (figura 3.8.i), por su proximidad al intenso tráfico rodado circundante, así como en algunos paños de esta cara y las dirigidas a las calles Treviño y Alenza, debido a la humedad que rezuma por la superficie de la caliza (figura 9.1.g) al contener el muro las tierras de los jardines².

Las dos hiladas situadas inmediatamente sobre el zócalo presentan una tonalidad clara, al ser lavadas mediante el golpeteo del agua desde la superficie horizontal adyacente³. En las pilastras y puntualmente en las hiladas superiores de la zona retranqueada se observaban zonas de escorrentía. El nivel superior presentaba en general menor grado de ensuciamiento, si bien gran parte de la balastrada está cubierta por árboles (figuras 3.8.h y 3.8.i), que dificultan su lavado y aireación, favorecen con su sombra la concentración de humedad y el desarrollo de microorganismos.

En los cuatro paños que cierran las esquinas en chaflán, en los patrones de color predominaban las "zonas blancas" (figuras 3.8.d - 3.8.g), especialmente en la confluencia de la calle Maudes con Alenza (chaflán Sureste, figura 3.8.g), pues su disposición en diagonal posibilita que los paramentos no queden directamente expuestos al tráfico rodado. La hoja interna del muro apenas mostraba ensuciamiento, debido principalmente a su escasa exposición al tráfico rodado y a su propio diseño, carente de planos de avance y zonas retranqueadas. No obstante, se observaba el desarrollo de biofilms en el mortero de junta, debido a la humedad que percolaba desde la zona superior del muro, oscureciendo parcialmente el paramento (figura 3.10.c).

² Puede atenderse muy bien a este aspecto en la zona central del paño donde se ubica la puerta sellada, dirigido a Raimundo Fernández Villaverde. Al localizarse aquí el primitivo depósito de cadáveres (figura 2.2.a y nota nº2 cap. 2), este paño no contiene tierras, de ahí el grado de ensuciamiento considerablemente menor que los paños adyacentes (figura 3.8.i). Como en esta zona además no se plantaron árboles, la ausencia de vegetación favorece el lavado y aireación de este paño.

³ Esta zona retranqueada queda delimitada horizontalmente por el zócalo y una línea de imposta superior (f_1 en figura 3.9), avanzando esta última, respecto al plano principal del muro, algo menos que el plano de avance del zócalo. Pues bien, este aspecto puede condicionar el golpeteo del agua de lluvia desde la superficie horizontal del zócalo hacia la hilada inmediatamente superior.

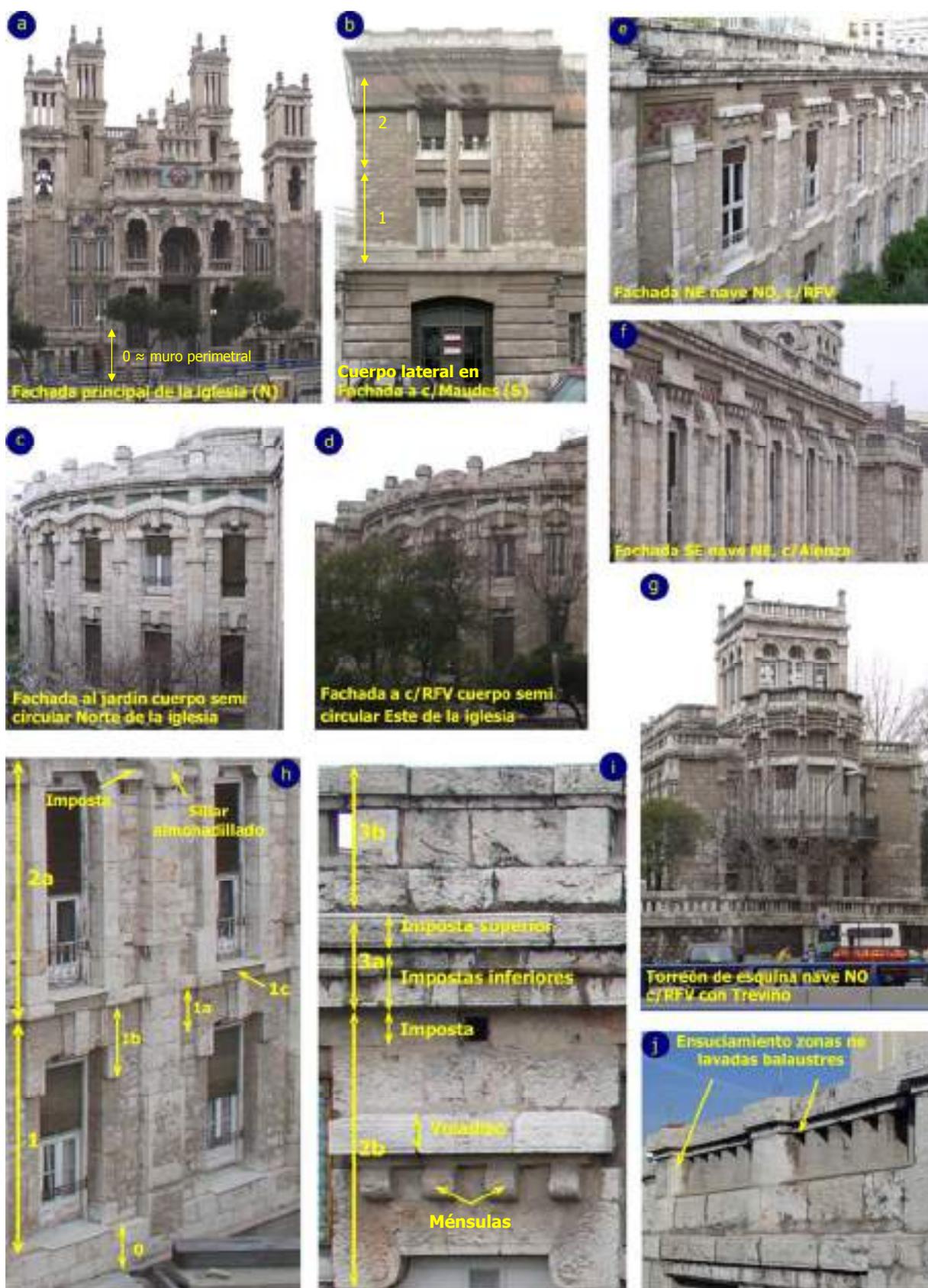


Fig. 8.1. Patrones o distribución de color que mostraban las fachadas del Antiguo Hospital en el año 2006.

8.2. OBJETIVOS

El primer objetivo del capítulo consiste en evaluar la influencia del diseño de las fachadas del Antiguo Hospital en los patrones de color que mostraban en el año 2006, generados durante los 20 años transcurridos desde la limpieza finalizada en 1986 y comienzo de la limpieza efectuada entre 2006-2008. Para ello, se analizan los patrones observados en seis fachadas del inmueble atendiendo a tres factores o variables de diseño: la disposición de las fachadas (directa si están orientadas paralelamente a la retícula urbana en la que se encuadra el inmueble e indirecta si están dispuestas en diagonal), el tipo de exposición de las zonas de medida (expuestas o protegidas) y la altura a la que se localizan (según los niveles establecidos en la vertical en el capítulo 3). A partir de la cuantificación de los patrones de color, mediante la medida *in situ* sobre la caliza de la luminosidad (L^*) y de la coordenada cromática b^* así como del cálculo del ensuciamiento final (ΔL^*), del coeficiente de ensuciamiento (CE) y del área cubierta efectiva (ACE%), la consecución de dicho objetivo principal incluye:

- a. Comparativa entre fachadas directas e indirectas de las medidas tomadas y de los parámetros calculados, considerando los valores medios por fachada y teniendo también en cuenta la calle a la que están dirigidas.
- b. Análisis de la variación de la luminosidad (L^*) *versus* la coordenada cromática b^* respecto a los valores tomados de referencia L^*_0 y b^*_0 (en el origen de coordenadas), considerando los valores medios por fachada, atendiendo a su disposición y al tipo la exposición de las zonas de medida.
- c. Comparativa del valor medio de la luminosidad (L^*) y de su rango de variabilidad atendiendo tanto a la totalidad de la fachada como a los niveles establecidos en la vertical, considerando igualmente la disposición de las fachadas y el tipo de exposición de las zonas de medida.
- d. Comparativa del valor medio del ensuciamiento total (ΔL^*) según la totalidad de la fachada y los niveles establecidos en la vertical, también según la disposición de las fachadas y el tipo de exposición de las zonas de medida.
- e. Analizar los valores medios del área cubierta efectiva (ACE%), parámetro relacionado inversa y linealmente con la luminosidad (L^*), según la altura de las zonas de medida, teniendo en cuenta también su tipo de exposición y la disposición de las fachadas.

Con los resultados obtenidos, se establece el ensuciamiento total expresado en porcentaje ($\Delta L^*\%$), como una tasa de ensuciamiento que permite comparar cuantitativamente (en valores relativos) el descenso de la luminosidad que ha experimentado la superficie de los elementos pétreos en los 20 años transcurridos entre 1986 y 2006, según la disposición de la fachada así como el tipo de exposición y altura en donde se localizan.

El segundo objetivo consiste en la confección de un modelo mediante el cual se establece por un lado la correspondencia entre la relación lineal descenso de la L^* /aumento del ACE% con el tiempo. Por otro, atendiendo también al aspecto que mostraban las superficies de los elementos pétreos donde se han efectuado las medidas, se establecen cuatro grados de tolerancia o percepción estética, que están relacionados con los procesos de deterioro físico-químico que operan en la caliza. De este modo, se podrá determinar para la superficie de la caliza estudiada a partir de qué valor de luminosidad medida *in situ* su oscurecimiento es percibido, empieza a resultar molesto y/o presenta un aspecto estéticamente intolerable, estimándose si es necesaria o no una actuación de limpieza en base a criterios estéticos. También, el modelo permite conocer dónde resulta más recomendable medir la luminosidad o colocar captadores de la concentración de contaminantes atmosféricos. Igualmente, tras una limpieza se podrá extrapolar (en tanto que presumiblemente las condiciones medioambientales irán variando) cuándo se producirán estas variaciones, estableciéndose cuándo y dónde son recomendables-necesarias operaciones de conservación. Mediante el modelo planteado, principalmente se pretende poder monitorizar el ensuciamiento de los paramentos y, con ello, ralentizar el deterioro estético y/o físico-químico en la caliza.

8.3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Este estudio se hace en base a los patrones de color observados en el 2006 y para el valor de luminosidad tomado de referencia (L^*_0). Se han seleccionado seis fachadas, representativas de la totalidad del inmueble, dos con disposición directa (la portada de la iglesia y la fachada de acceso al inmueble por la calle Maudes) y cuatro indirectas (fachadas de las naves diagonales orientadas a las calles Raimundo Fernández Villaverde y Alenza)⁴. Se ha asignado un número a cada una (conforme a la figura 2.2.b) añadiendo las letras D o I según presenten una disposición directa o indirecta, respectivamente. Además, mediante los subíndices R, M y A se indica si están dirigidas hacia las calles Raimundo Fernández Villaverde, Maudes y Alenza, respectivamente (figura 8.2).

En el anexo A se puede observar la retícula utilizada para la medición *in situ* del color que mostraba la superficie de la caliza en el año 2006 para cada una de las fachadas y/o cuerpos considerados, tomándose las en los puntos que conforman esta retícula. La retícula incluye zonas expuestas y protegidas, teniendo en cuenta que las fachadas presentan muchas menos zonas protegidas que expuestas y que no todos los niveles y subniveles presentan puntos de medida en ambas zonas. Para las cuatro fachadas de las naves esta retícula es la misma y presenta el mismo número de medidas, confeccionada según la red ortogonal resultante mediante el traslado en la horizontal del módulo unidad y considerando los niveles establecidos en la vertical (capítulo 3). En las fachadas directas la retícula se ha adaptado, resultando distinta para cada una de las dos fachadas e incluyendo diferente número de medidas. Además, debido a su considerable dimensión, las fachadas directas se han dividido en tres cuerpos, uno central y dos laterales, añadiéndose el subíndice 2 y los subíndices 1 y 3, respectivamente (figura 8.2), estableciéndose distintas retículas a su vez.

Mediante espectrofotometría, se han seleccionado los parámetros cromáticos luminosidad de color (L^*) y la coordenada cromática b^* . Las medidas se han tomado *in situ* directamente sobre la caliza, efectuándose una medida por pieza, en su zona central, y en planos verticales⁵. Se ha medido siempre sobre la variedad pétreo más ampliamente representada en las fachadas (crema-homogénea, figuras 4.7.a y 4.7.b), trasladando en caso necesario ligeramente el punto de medida si coincidía con variedades que mostraran tonalidades rojizas u oscuras y/o con superficies que presentaran el desarrollo de biofilms.

Las tablas incluidas en el anexo A presentan dos apartados. Por un lado, para cada uno de los puntos de medida se muestran los valores medidos *in situ* de luminosidad (L_n^*) y de la coordenada b^* (b_n^*) así como los valores calculados de ensuciamiento total (ΔL_n^* y $\Delta L_n^* \%$)⁶, coeficiente de ensuciamiento (CE_n) y área cubierta efectiva ($ACE_n \%$). Por otro, se indica el tipo de exposición que presenta cada uno de los puntos (en zonas protegidas, principalmente bajo elementos en voladizo) y el nivel de altura en el que se localizan.

A partir de Grossi et al. (2003), se ha calculado el ensuciamiento total en cada uno de los puntos de medida:

$$\Delta L_n^* = L_n^* - L^*_0$$

$$\Delta L_n^* (\%) = ((L_n^* - L^*_0)/L^*_0) \cdot 100$$

siendo L_n^* la luminosidad medida en cada punto en 2006 y L^*_0 la que presentara la superficie de la caliza finalizada la limpieza de los años 80 (valor de referencia).

⁴ El muro perimetral no se ha considerado en el estudio del deterioro estético a abordar, centrado en las fachadas del inmueble. No obstante, a partir del aspecto que mostraba su hoja externa en el año 2006 (figuras 3.8.i y 8.1.g), los resultados obtenidos en el nivel basamento (0) de los cuerpos laterales de la portada de la iglesia (fachadas 1D_{R1} y 1D_{R3}), que forma parte del muro, se considera pueden extrapolarse al plano principal o zona retranqueada de la hoja externa del muro.

⁵ Las medidas se tomaron una vez colocados los andamios y antes de retirar el mortero de fábrica (epígrafe 2.2.6).

⁶ Ambas formas de expresar el parámetro ΔL^* se corresponden con una pérdida de luminosidad, presentando los incrementos valores negativos. Entendido este parámetro como una tasa de ensuciamiento, se considera más adecuado expresarlo en porcentaje.

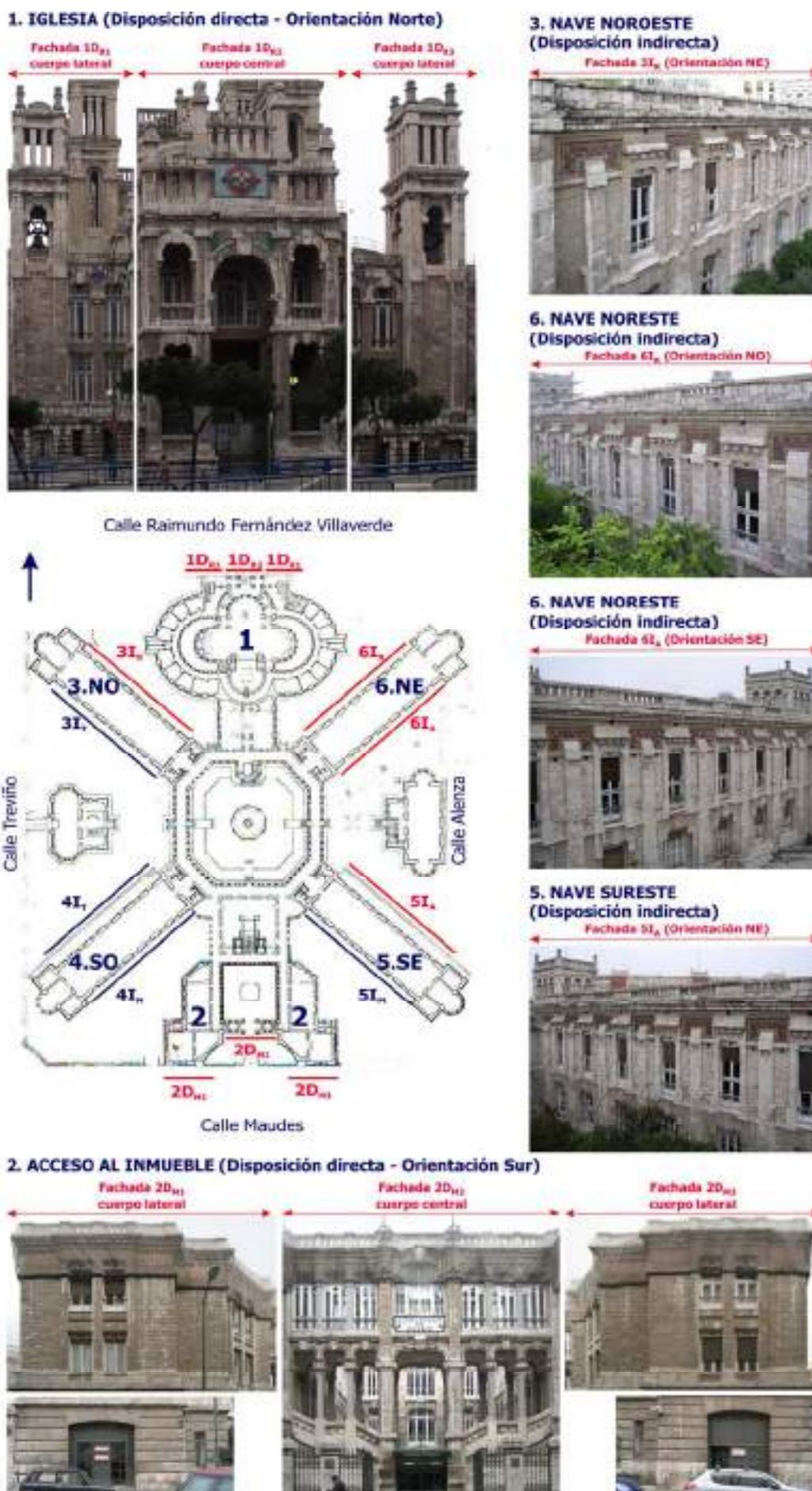


Fig.8.2. Fachadas consideradas para la cuantificación de los patrones de color observados en el año 2006 (en rojo) y su localización en la planta del inmueble (a partir de la figura 2.2.b).

Puesto que este valor de referencia se desconoce, interesando una superficie no expuesta a la acción del agua de lluvia pues los procesos de carbonatación blanquean la superficie de la caliza, para establecer la luminosidad de partida se ha considerado la superficie de una pieza pétreo tomada del acopio ubicado en el patio inglés de la nave Sureste hasta la intervención de 2006-2008 (epígrafe 4.1.3, figura 4.10.b). Correspondiente a un sillarejo que conformó el paño del muro derribado tras la limpieza de los 80 (epígrafe 2.2.5 y figura 2.7.i-2.7.j) y localizado hasta entonces en el plano principal del nivel medio de la cara externa del muro perimetral (figura 3.9), zona retranqueda y directamente expuesta a las emisiones del tráfico de la calle Alenza, por lo que es de suponer que su superficie experimentara importantes procesos de sulfatación y ensuciamiento (figura 2.5.d). Al permanecer cubierto el acopio, la tonalidad de esta superficie se corresponde en gran medida con la que debía presentar la caliza tras la limpieza efectuada en los años 80. Se han realizado 10 medidas en la superficie considerada, resultando un valor medio de luminosidad $L^*_0 = 74,33$ y de coordenada cromática $b^*_0 = 9,55$ (figura 8.3).



Fig.8.3. Aspecto de la superficie de la caliza tomada como referencia.

El análisis del ensuciamiento total (ΔL^*) permite establecer cierta correspondencia entre los patrones de color observados con los procesos que tienen lugar en la superficie de la caliza. Así, valores negativos reflejan el descenso de luminosidad en los puntos de medida respecto al valor de referencia, correspondiendo a zonas que progresivamente han ido ensuciándose, experimentando la caliza principalmente procesos de sulfatación y la formación de costras negras. Cuanto mayor sea este valor negativo, mayor grado de ensuciamiento mostrarán las superficies. Por el contrario, valores positivos señalan que el punto de medida presenta una luminosidad mayor que el valor de referencia, correspondiendo a zonas claras y revelando que en dicho punto la piedra no se ha ensuciado y/o ha estado expuesta al lavado, predominado los procesos de disolución y carbonatación y blanqueándose progresivamente su superficie.

Para el cálculo del coeficiente de ensuciamiento (CE, expresado en $\times 10^{-2}$), a partir de la fórmula propuesta por Grossi et al. (2003):

$$L^*_t = L^*_0 - CE (MP \cdot t)^{1/2}$$

En cada uno de los puntos de medida se ha tomado $MP = 42,33 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3)$, correspondiente al valor medio de la media anual de su concentración entre los años [1987-2005] (tabla 7.6), y como tiempo 7.300 días (20 años \times 365 días), resultando la fórmula:

$$CE = (L^*_0 - L^*_n) / (42,33 \times 7.300)^{1/2} = (L^*_0 - L^*_n) / 555,89$$

El coeficiente de ensuciamiento presentará un valor positivo en aquellos puntos de medida donde la superficie de la piedra haya experimentado un descenso en su luminosidad y negativo si ésta ha aumentado, siempre respecto al valor de luminosidad tomado de referencia (L^*_0).

En cuanto al cálculo del área cubierta (AC) por partículas oscuras⁷, a partir de Grossi et al. (2003):

$$L^*/L^*_0 = (1 - AC) + (L^*_p / L^*_0) \cdot AC$$

en cada uno de los puntos de medida, para L^*_t se asume igualmente la luminosidad medida en 2006, L^*_0 el valor de referencia y para L^*_p el valor de 30, resultando la fórmula:

$$AC = ((L^*_n / L^*_0) - 1) / - 0,60$$

Siendo el área cubierta efectiva cubierta por partículas (ACE%) el parámetro analizado en este capítulo:

$$ACE (\%) = 100 \cdot AC$$

Para poder evaluar la influencia de los factores de diseño analizados resulta necesaria la cuantificación del color de las fachadas consideradas. Los parámetros medidos *in situ* y los calculados a partir de las fórmulas propuestas por Grossi et al. (2003) están totalmente relacionados entre sí. Su representación mediante los gráficos propuestos permite entender y visualizar la distribución de color que mostraban las fachadas del Antiguo Hospital en el año 2006, resultando de interés su traslado a fachadas de inmuebles con similar problemática.

⁷ Para este tipo de cálculos es importante considerar la cantidad de partículas oscuras que contribuyen al ensuciamiento y no la concentración total de materia particulada. Sin embargo, como se indicaba en el capítulo anterior, en esta Tesis no se dispone de datos únicamente correspondientes a la concentración de partículas carbonáceas, empleándose los valores correspondientes a partículas en suspensión registrados por la estación de contaminación de Cuatro Caminos.

8.4. RESULTADOS

8.4.1. Cuantificación patrones de color en función de las variables de diseño

8.4.1.a Comparativa general entre fachadas directas e indirectas

La tabla 8.1 recoge los valores medios de los parámetros medidos *in situ*, luminosidad (L^*) y coordenada cromática b^* ($\bar{X}L^*_{n}$ y $\bar{X}b^*_{n}$), mostrándose el valor máximo y mínimo de luminosidad ($L^*_{n(max)}$ y $L^*_{n(min)}$). También, la media de los parámetros calculados, ensuciamiento total ($\bar{X}\Delta L^*_{n}$ y $\bar{X}\Delta L^*_{n}(\%)$), coeficiente de ensuciamiento ($\bar{X}CE_{n}$) y área cubierta efectiva ($\bar{X}ACE_{n}(\%)$), para cada una de las fachadas y/o cuerpos considerados. Principalmente, las fachadas con disposición directa presentan valores inferiores de luminosidad (máxima, mínima y media) y de la coordenada cromática b^* así como valores superiores para los demás parámetros calculados. Por otro lado, el área cubierta efectiva expresada en porcentaje (ACE%) permite atender mejor a las diferencias obtenidas, pues su rango de valores presenta mayor variabilidad.

En las fachadas directas, según los valores medios generales mostrados en negrita, se observa que para los parámetros calculados resultan algo más elevados en la fachada del cuerpo de entrada (2). En este cuerpo de entrada los valores medios de luminosidad son menores en general y la media de la coordenada b^* es mayor ($\bar{X}b^*_{n} = 10,20$ frente a $\bar{X}b^*_{n} = 8,94$ resultante para la portada de la iglesia). El cuerpo central $2D_{M2}$ presenta los valores más elevados en los parámetros calculados $\bar{X}\Delta L^*_{n} = -20,03$, $\bar{X}\Delta L^*_{n}(\%) = -26,95$, $\bar{X}CE_{n} \times 10^{-2} = 3,6$ y $\bar{X}ACE_{n}(\%) = 44,92$.

En las fachadas indirectas, conforme igualmente a los valores medios generales mostrados en negrita, en aquellas dirigidas a la calle Alenza (fachadas $6I_A$ y $5I_A$) los valores de luminosidad son más elevados, resultando por tanto menores para los diversos parámetros calculados, y la media de la coordenada cromática b^* apenas presenta diferencia en las cuatro fachadas consideradas. Además, en las fachadas $3I_R$ y $5I_A$ es menor el valor medio de luminosidad ($\bar{X}L^*_{n} = 60,82$ y $61,95$, respectivamente) y mayores por tanto los correspondientes a los diferentes parámetros calculados, siendo más elevados para la fachada $3I_R$.

Tabla 8.1. Valores medios de los parámetros medidos *in situ* y de los calculados para cada una de las fachadas y/o cuerpos considerados.

| | | | $L^*_{n(max)}$ | $L^*_{n(min)}$ | $\bar{X}b^*_{n}$ | $\bar{X}L^*_{n}$ | $\bar{X}\Delta L^*_{n}$ | $\bar{X}\Delta L^*_{n}(\%)$ | $\bar{X}CE_{n} \times 10^{-2}$ | $\bar{X}ACE_{n}(\%)$ | |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------|-------|
| DIRECTA | Portada principal iglesia (1) Norte | Cuerpo central ($1D_{R2}$) | 79,19 | 40,39 | 8,66 | 56,17 | -18,16 | -24,43 | 3,27 | 40,72 | |
| | | Cuerpo lateral ($1D_{R1}$) | 77,33 | 40,79 | 9,53 | 56,75 | -17,58 | -23,65 | 3,16 | 39,42 | |
| | | Cuerpo lateral ($1D_{R3}$) | 75,26 | 32,27 | 8,62 | 54,75 | -19,58 | -26,35 | 3,52 | 43,91 | |
| | | \bar{X} portada iglesia | 77,26 | 37,82 | 8,94 | 55,89 | -18,44 | -24,81 | 3,32 | 41,35 | |
| | Fachada cuerpo entrada (2) Sur | Cuerpo central ($2D_{M2}$) | 79,21 | 32,26 | 10,35 | 54,3 | -20,03 | -26,95 | 3,60 | 44,92 | |
| | | Cuerpo lateral ($2D_{M1}$) | 74,37 | 40,02 | 10,14 | 55,9 | -18,45 | -24,82 | 3,32 | 41,36 | |
| | | Cuerpo lateral ($2D_{M3}$) | 74,25 | 32,05 | 10,10 | 54,7 | -19,63 | -26,41 | 3,53 | 44,02 | |
| | | \bar{X} cuerpo entrada | 75,94 | 34,78 | 10,20 | 54,97 | -19,37 | -26,06 | 3,48 | 43,43 | |
| | INDIRECTA | Nave 3 (NO) / Fachada Noreste ($3I_R$) | Nave 3 (NO) / Fachada Noreste ($3I_R$) | 79,48 | 41,09 | 10,20 | 60,82 | -13,51 | -18,18 | 2,43 | 30,30 |
| | | | Nave 6 (NE) / Fachada Noroeste ($6I_R$) | 79,66 | 36,24 | 10,54 | 62,71 | -11,62 | -15,63 | 2,09 | 26,05 |
| \bar{X} naves a c/Raimund. Fdez.Vill. | | | 79,57 | 38,67 | 10,37 | 61,77 | -12,57 | -16,91 | 2,26 | 28,18 | |
| Nave 6 (NE) / Fachada Sureste ($6I_A$) | | Nave 6 (NE) / Fachada Sureste ($6I_A$) | 81,34 | 40,07 | 10,59 | 63,73 | -10,60 | -14,26 | 1,91 | 23,76 | |
| | | Nave 5 (SE) / Fachada Noreste ($5I_A$) | 81,51 | 41,66 | 10,54 | 61,95 | -12,38 | -16,65 | 2,23 | 27,75 | |
| | | \bar{X} naves a c/Alenza | 81,43 | 40,87 | 10,57 | 62,84 | -11,49 | -15,46 | 2,07 | 25,76 | |

Medias obtenidas a partir de los valores mostrados en las tablas del anexo A, en donde los valores de $L^*_{n(max)}$ y $L^*_{n(min)}$ medidos en cada una de las fachadas y/o cuerpos están marcados en rojo y verde, respectivamente. Se observa que en las fachadas directas puntualmente se alcanzan valores de L^* inferiores al valor límite propuesto por Bonazza et al. (2007) a partir del cual el mayor oscurecimiento de las superficies deja de ser percibido ($L^* = 35$). En negrita se indica la media de los valores medios calculados para los cuatro bloques generales de fachadas analizadas: directas de la portada iglesia y del cuerpo de entrada por la calle Maudes, indirectas a las calles Raimundo Fernández Villaverde y Alenza.

8.4.1.b. Variación de la luminosidad (L^*) versus de la coordenada cromática b^*

En la figura 8.4 se representa el incremento de los valores medios de la luminosidad (L^*) y de la coordenada cromática b^* en cada una de las fachadas consideradas respecto a los valores L^*_0 y b^*_0 de referencia (en 0,0). Los valores representados reflejan en general un descenso de la L^* y un aumento de la b^* , si bien para la portada de la iglesia resulta un descenso de la coordenada b^* . Para las zonas expuestas los ΔL^* son menores, especialmente en las fachadas indirectas, observándose una importante variabilidad en los valores de Δb^* .

Se establecen tres agrupaciones principales, la portada de la iglesia ($1D_{R1}$ - $1D_{R2}$ - $1D_{R3}$), la fachada del cuerpo de entrada a Maudes ($2D_{M1}$ - $2D_{M2}$ - $2D_{M3}$) y las fachadas de las naves diagonales ($3I_R$ - $6I_R$ - $6I_A$ - $5I_A$). Los valores de $\Delta L^*/\Delta b^*$ de las zonas expuestas y protegidas quedan más agrupados en la fachada a la calle Maudes y presentan mayor diferenciación en las fachadas de las naves.

Se observa la importante similitud en la relación $\Delta L^*/\Delta b^*$ en las zonas protegidas de la fachada a Maudes, de las fachadas $3I_R$ - $5I_A$ y de las fachadas $6I_R$ - $6I_A$. Así, mientras que el descenso de la L^* resulta del orden de 20 puntos, la coordenada b^* aumenta algo menos de 0,5 puntos en $2D_{M1P}$ - $2D_{M2P}$ - $2D_{M3P}$, del orden de 1 punto en $3I_{RP}$ - $5I_{AP}$ y casi un 1,5 punto para $6I_{RP}$ - $6I_{AP}$.

En las fachadas con disposición directa los valores de ΔL^* resultan más similares en las zonas expuestas y protegidas (salvo para el cuerpo $1D_{R2P}$) que en las fachadas indirectas, donde el ΔL^* oscila entre -5 y -10 en las expuestas ($3I_{RE}$ - $6I_{RE}$ - $6I_{AE}$ - $5I_{AE}$) y entorno a -20 en las protegidas ($3I_{RP}$ - $6I_{RP}$ - $6I_{AP}$ - $5I_{AP}$).

En la portada de la iglesia los valores de ΔL^* resultan más similares en las zonas expuestas y protegidas de los cuerpos laterales ($1D_{R2}$ - $1D_{R3}$ y $2D_{M1}$ - $2D_{M3}$), mientras que para el cuerpo central difiere unos 15 puntos entre las zonas expuestas ($1D_{RE}$) y protegidas ($1D_{RP}$).

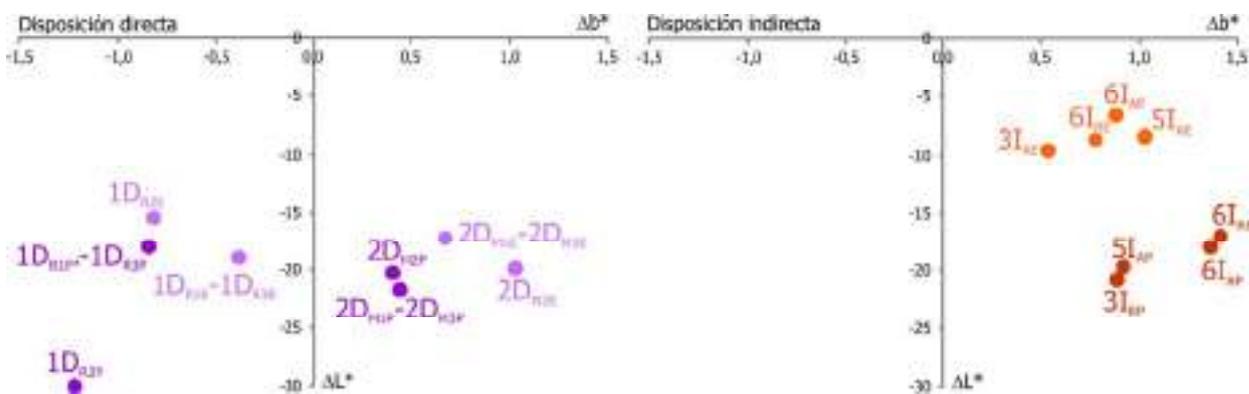


Fig.8.4. ΔL^* versus Δb^* para cada una de las fachadas y/o cuerpos considerados.

Las fachadas con disposición directa se representan en tonos morados y las indirectas en tonos naranjas. Las zonas expuestas (añadiendo el subíndice E) en tonos claros y las protegidas (añadiendo el subíndice P) en tonos oscuros.

Fachadas con disposición directa:

- Portada de la iglesia (1): cuerpo central ($1D_{R2}$) y cuerpos laterales ($1D_{R1}$ - $1D_{R3}$).
- Fachada del cuerpo de entrada por la calle Maudes (2): cuerpo central ($2D_{M2}$) y cuerpos laterales ($2D_{M1}$ - $2D_{M3}$).

Fachadas con disposición indirecta:

- Orientadas a calle Raimundo Fernández Villaverde: fachadas $3I_R$ y $6I_R$.
- Orientadas a calle Alenza: fachadas $6I_A$ y $5I_A$.

8.4.1.c. Luminosidad (L^*) y su variabilidad por niveles, según disposición y tipo de exposición

En la parte superior de la tabla 8.2 se muestran los valores medios y la desviación estándar de la luminosidad (L^*), representándose gráficamente en la figura 8.5. Los valores se muestran por fachadas, con disposición directa e indirecta, atendiendo a las medidas tomadas en toda la fachada y en cada uno de sus niveles así como separando las zonas expuestas y protegidas.

Se observa que las fachadas directas muestran menor grado de luminosidad ($\bar{X}L^* < 56,5$) que las indirectas ($\bar{X}L^* > 60$), como se ha indicado. En las zonas expuestas la luminosidad es mayor que en las protegidas, salvo para los cuerpos laterales de la iglesia ($\bar{X}L^*_E = 55,37$ y $\bar{X}L^*_P = 56,30$), resultando esta diferencia más significativa en las fachadas con disposición indirecta y en el cuerpo central de la iglesia. Según los valores totales de fachada en zonas expuestas y protegidas, resultan muy similares para los cuerpos laterales de la iglesia ($\bar{X}L^*_E = 55,37$ y $\bar{X}L^*_P = 56,30$) y central del cuerpo de entrada ($\bar{X}L^*_E = 54,44$ y $\bar{X}L^*_P = 54,05$), difieren considerablemente en el cuerpo central de la iglesia ($\bar{X}L^*_E = 58,82$ y $\bar{X}L^*_P = 44,52$) y resultan del mismo orden de magnitud en las fachadas de las naves diagonales (valores medios de $\bar{X}L^*_E \approx 66$ y de $\bar{X}L^*_P \approx 55$).

Considerando los diferentes niveles de fachada establecidos en la vertical, se observan importantes diferencias entre las fachadas directas e indirectas. En las primeras, a su vez los cuerpos laterales presentan un comportamiento diferente al de los cuerpos centrales, especialmente en la portada principal de la iglesia. En el cuerpo $1D_{R2}$, la luminosidad desciende en el nivel 1, aumenta en el nivel 2 y se mantiene casi constante a partir del subnivel 3a para las zonas expuestas ($\bar{X}L^*$ entre 64 y 66), resultando muy similar en las zonas protegidas de los niveles 1 y 2 y subnivel 3c ($\bar{X}L^*$ entre 43 y 48). En los cuerpos laterales de la iglesia ($1D_{R1}$ - $1D_{R3}$), la pauta de variación de la luminosidad resulta muy heterogénea. En la fachada del cuerpo de entrada la luminosidad desciende con la altura en las zonas expuestas y en las zonas protegidas de los cuerpos laterales ($2D_{M1}$ - $2D_{M3}$) aumenta progresivamente. En las zonas protegidas del cuerpo central ($2D_{M2}$) desciende progresivamente, aumentando de forma significativa en el subnivel 3b.

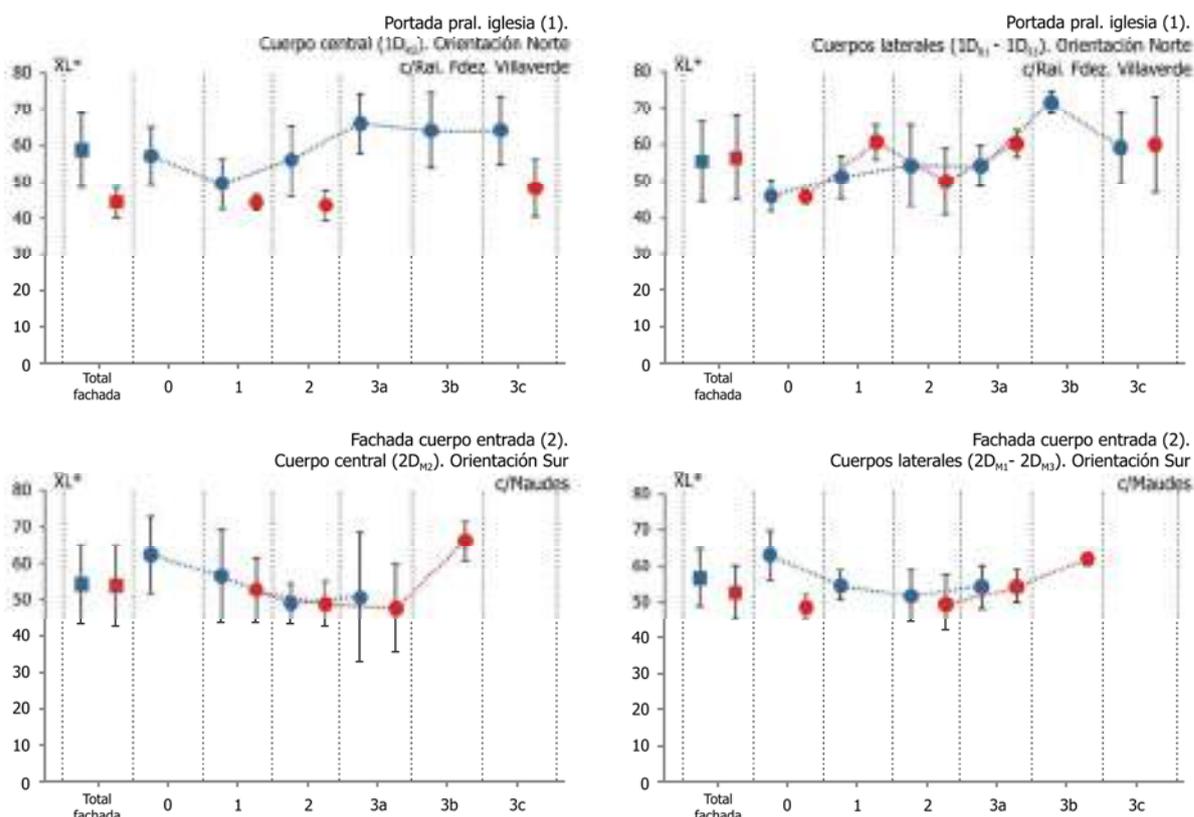
Las fachadas de las naves diagonales presentan un en general un comportamiento parecido, resultando muy similar la tendencia en las fachadas dirigidas a la calle Raimundo Fernández Villaverde ($3I_R$ - $6I_R$) por un lado y en las orientadas a la calle Alenza ($6I_A$ - $5I_A$) por otro. En las zonas expuestas el valor medio desciende siempre en el nivel 1, resultando este descenso más acusado en las fachadas $6I_R$ y $5I_A$. En las zonas protegidas de las cuatro fachadas la luminosidad aumenta con la altura, de forma más progresiva en las fachadas $3I_R$ - $6I_R$ que las fachadas $6I_A$ - $5I_A$, donde resulta significativo el aumento en el nivel 3b.

Los valores de desviación estándar resultan más elevados en general para las zonas expuestas, mostrando menor variación con la altura. En las zonas protegidas estos valores son considerablemente menores, mostrando cierta tendencia a aumentar con la altura. En las fachadas directas, prestando atención de forma individualizada a los diferentes niveles y zonas consideradas se observa que la desviación estándar presenta una pauta bastante heterogénea. Sin embargo, considerando la totalidad de la fachada, su valor resulta muy similar en las zonas expuestas y protegidas, salvo para el cuerpo central de la iglesia ($1D_{R2}$, $StdL^*_E = 10,16$ y $StdL^*_P = 4,18$), pues en sus niveles 1 y 2 los valores resultan especialmente bajos en las zonas protegidas ($StdL^*_P < 4,1$). En las naves diagonales, igualmente los valores de desviación estándar total de fachada en las zonas expuestas y protegidas resultan muy similares. Mientras que en las zonas protegidas de las fachadas $3I_R$ - $6I_R$ la desviación estándar aumenta con la altura, en las fachadas $6I_A$ - $5I_A$ desciende.

Tabla 8.2. Media y desviación estándar de los valores de L* y ΔL*.

| L* | | Iglesia. Cuerpo central (1D ₂) | | | Iglesia. Cuerpos laterales (1D ₁ -1D ₃) | | | Entrada. Cuerpo central (2D ₂) | | | Entrada. Cuerpos laterales (2D ₁ -2D ₃) | | | |
|------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------|-----------|------------|----------------------------------------------------------------|-----------|------------|-------------------------------------------------|-----------|------------|----------------------------------------------------------------|-----------|------------|--------|
| | | Total | Expuestas | Protegidas | Total | Expuestas | Protegidas | Total | Expuestas | Protegidas | Total | Expuestas | Protegidas | |
| I R R E C T A S | Total | X | 56,17 | 58,82 | 44,52 | 55,75 | 55,37 | 56,30 | 54,30 | 54,44 | 54,05 | 55,29 | 57,06 | 52,95 |
| | | Std | 10,87 | 10,16 | 4,18 | 10,90 | 10,59 | 11,22 | 10,92 | 10,96 | 11,05 | 7,91 | 7,80 | 7,36 |
| | Niveles | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | X | 57,29 | 57,29 | x | 45,87 | 45,89 | 45,85 | 62,51 | 62,51 | x | 58,82 | 62,64 | 48,90 |
| | | Std | 7,86 | 7,86 | x | 2,99 | 4,27 | 1,80 | 10,71 | 10,71 | x | 8,74 | 6,76 | 3,33 |
| | 1 | X | 48,26 | 49,77 | 44,48 | 55,25 | 51,09 | 60,80 | 55,17 | 56,53 | 52,85 | 54,92 | 54,92 | x |
| | | Std | 6,54 | 7,16 | 2,15 | 7,26 | 5,84 | 4,90 | 11,34 | 12,71 | 8,92 | 4,07 | 4,07 | x |
| | 2 | X | 51,84 | 56,25 | 43,66 | 53,27 | 54,41 | 50,59 | 49,08 | 49,09 | 49,06 | 50,82 | 52,15 | 49,50 |
| | | Std | 10,07 | 9,70 | 4,05 | 11,44 | 11,05 | 9,21 | 5,73 | 5,66 | 6,36 | 7,54 | 7,28 | 7,60 |
| | 3a | X | 66,24 | 66,24 | x | 56,41 | 54,37 | 60,49 | 49,34 | 50,80 | 47,89 | 54,71 | 54,55 | 54,87 |
| | | Std | 8,05 | 8,05 | x | 10,18 | 5,54 | 3,75 | 11,30 | 11,14 | 12,14 | 5,02 | 5,98 | 4,52 |
| | 3b | X | 64,22 | 64,22 | x | 71,58 | 71,58 | x | 66,40 | x | 66,40 | 61,99 | x | 61,99 |
| | | Std | 10,29 | 10,29 | x | 2,98 | 2,98 | x | 5,36 | x | 5,36 | 1,71 | x | 1,71 |
| 3c | X | 61,07 | 64,22 | 48,47 | 59,75 | 59,34 | 60,10 | x | x | x | x | x | x | |
| | Std | 10,98 | 9,45 | 7,88 | 11,62 | 9,56 | 13,05 | x | x | x | x | x | x | |
| L* | | Nave NO (3). Fachada Noreste (3I _R) | | | Nave NE (6). Fachada Noroeste (6I _R) | | | Nave NE (6). Fachada Sureste (6I _A) | | | Nave SE (5). Fachada Noreste (5I _A) | | | |
| | | Total | Expuestas | Protegidas | Total | Expuestas | Protegidas | Total | Expuestas | Protegidas | Total | Expuestas | Protegidas | |
| I N D I R E C T A S | Total | X | 60,82 | 64,70 | 53,52 | 62,71 | 65,60 | 57,29 | 63,73 | 67,69 | 56,30 | 61,95 | 65,86 | 54,62 |
| | | Std | 9,87 | 8,94 | 7,04 | 8,39 | 7,70 | 6,83 | 9,69 | 7,71 | 8,65 | 10,27 | 8,88 | 8,58 |
| | Niveles | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | X | 67,87 | 67,87 | x | 72,69 | 72,69 | x | 65,97 | 65,97 | x | 69,57 | 69,57 | x |
| | | Std | 4,37 | 4,37 | x | 5,75 | 5,75 | x | 10,02 | 10,02 | x | 5,45 | 5,45 | x |
| | 1 | X | 61,28 | 63,04 | 51,47 | 60,66 | 62,14 | 52,41 | 62,50 | 63,55 | 56,62 | 57,80 | 58,53 | 53,74 |
| | | Std | 9,13 | 8,65 | 4,38 | 6,91 | 6,35 | 2,99 | 7,08 | 7,06 | 3,65 | 6,37 | 6,55 | 3,10 |
| | 2 | X | 60,67 | 67,25 | 52,32 | 62,41 | 68,18 | 55,08 | 63,88 | 72,20 | 53,32 | 62,70 | 72,28 | 50,55 |
| | | Std | 9,98 | 7,79 | 4,91 | 7,64 | 4,17 | 3,70 | 11,18 | 5,18 | 7,01 | 11,82 | 4,51 | 4,96 |
| | 3a | X | 51,89 | 64,47 | 54,17 | 56,29 | 65,57 | 61,27 | 59,72 | 70,65 | 55,05 | 56,70 | 69,55 | 58,30 |
| | | Std | 9,68 | 10,42 | 10,03 | 9,78 | 8,10 | 7,38 | 5,78 | 5,53 | 3,80 | 6,41 | 7,94 | 2,84 |
| | 3b | X | 61,26 | x | 61,26 | 69,87 | x | 69,87 | 72,96 | x | 72,96 | 73,34 | x | 73,34 |
| | | Std | 11,07 | x | 11,07 | 6,04 | x | 6,04 | 2,73 | x | 2,73 | 2,66 | x | 2,66 |
| 3c | X | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | |
| | Std | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | |
| ΔL* | | Iglesia. Cuerpo central (1D ₂) | | | Iglesia. Cuerpos laterales (1D ₁ -1D ₃) | | | Entrada. Cuerpo central (2D ₂) | | | Entrada. Cuerpos laterales (2D ₁ -2D ₃) | | | |
| | | Total | Expuestas | Protegidas | Total | Expuestas | Protegidas | Total | Expuestas | Protegidas | Total | Expuestas | Protegidas | |
| I R R E C T A S | Total | X | -18,16 | -15,51 | -29,81 | -18,58 | -18,96 | -18,03 | -20,03 | -19,89 | -20,28 | -19,04 | -17,27 | -21,38 |
| | | Std | 10,87 | 10,16 | 4,18 | 10,90 | 10,59 | 11,22 | 10,92 | 10,96 | 11,05 | 7,91 | 7,80 | 7,36 |
| | Niveles | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | X | -17,04 | -17,04 | x | -28,46 | -28,44 | -28,49 | -11,82 | -11,82 | x | -15,51 | -11,69 | -25,43 |
| | | Std | 7,86 | 7,86 | x | 2,99 | 4,27 | 1,80 | 10,71 | 10,71 | x | 8,74 | 6,76 | 3,33 |
| | 1 | X | -26,07 | -24,56 | -29,86 | -19,08 | -23,24 | -13,53 | -19,16 | -17,80 | -21,48 | -19,41 | -19,41 | x |
| | | Std | 6,54 | 7,16 | 2,15 | 7,26 | 5,84 | 4,90 | 11,34 | 12,71 | 8,92 | 4,07 | 4,07 | x |
| | 2 | X | -22,49 | -18,08 | -30,67 | -21,06 | -19,92 | -23,74 | -25,25 | -25,24 | -25,27 | -23,51 | -22,18 | -24,83 |
| | | Std | 10,07 | 9,70 | 4,05 | 11,44 | 11,05 | 9,21 | 5,73 | 5,66 | 6,36 | 7,54 | 7,28 | 7,60 |
| | 3a | X | -8,09 | -8,09 | x | -17,92 | -19,96 | -13,85 | -24,99 | -23,53 | -26,44 | -19,62 | -19,78 | -19,46 |
| | | Std | 8,05 | 8,05 | x | 10,18 | 5,54 | 3,75 | 11,30 | 11,14 | 12,14 | 5,02 | 5,98 | 4,52 |
| | 3b | X | -10,11 | -10,11 | x | -2,76 | -2,76 | x | -7,93 | x | -7,93 | -12,34 | x | -12,34 |
| | | Std | 10,29 | 10,29 | x | 2,98 | 2,98 | x | 5,36 | x | 5,36 | 1,71 | x | 1,71 |
| 3c | X | -13,26 | -10,11 | -25,87 | -14,58 | -15,00 | -14,23 | x | x | x | x | x | x | |
| | Std | 10,98 | 9,45 | 7,88 | 11,62 | 9,56 | 13,05 | x | x | x | x | x | x | |
| ΔL* | | Nave NO (3). Fachada Noreste (3I _R) | | | Nave NE (6). Fachada Noroeste (6I _R) | | | Nave NE (6). Fachada Sureste (6I _A) | | | Nave SE (5). Fachada Noreste (5I _A) | | | |
| | | Total | Expuestas | Protegidas | Total | Expuestas | Protegidas | Total | Expuestas | Protegidas | Total | Expuestas | Protegidas | |
| I N D I R E C T A S | Total | X | -13,51 | -9,63 | -20,81 | -11,62 | -8,73 | -17,04 | -10,60 | -6,64 | -18,03 | -12,38 | -8,47 | -19,71 |
| | | Std | 9,87 | 8,94 | 7,04 | 8,39 | 7,70 | 6,83 | 9,69 | 7,71 | 8,65 | 10,27 | 8,88 | 8,58 |
| | Niveles | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | X | -6,46 | -6,46 | x | -1,64 | -1,64 | x | -8,36 | -8,36 | x | -4,76 | -4,76 | x |
| | | Std | 4,37 | 4,37 | x | 5,75 | 5,75 | x | 10,02 | 10,02 | x | 5,45 | 5,45 | x |
| | 1 | X | -13,05 | -11,29 | -22,86 | -13,67 | -12,19 | -19,25 | -11,83 | -10,78 | -17,71 | -16,53 | -15,80 | -20,59 |
| | | Std | 9,13 | 8,65 | 4,38 | 6,91 | 6,35 | 3,70 | 7,08 | 7,06 | 3,65 | 6,37 | 6,55 | 3,10 |
| | 2 | X | -13,66 | -7,08 | -22,01 | -11,92 | -6,15 | -13,06 | -10,45 | -2,13 | -21,01 | -11,63 | -2,05 | -23,78 |
| | | Std | 9,98 | 7,79 | 4,91 | 7,64 | 4,17 | 7,38 | 11,18 | 5,18 | 7,01 | 11,82 | 4,51 | 4,96 |
| | 3a | X | -22,44 | -9,86 | -20,16 | -18,04 | -8,76 | -4,46 | -14,61 | -3,68 | -19,28 | -17,63 | -4,78 | -16,03 |
| | | Std | 9,68 | 10,42 | 10,03 | 9,78 | 8,10 | 6,04 | 5,78 | 5,53 | 3,80 | 6,41 | 7,94 | 2,84 |
| | 3b | X | -13,07 | x | -13,07 | -4,46 | x | -4,46 | -1,37 | x | -1,37 | -0,99 | x | -0,99 |
| | | Std | 11,07 | x | 11,07 | 6,04 | x | 6,04 | 2,73 | x | 2,73 | 2,66 | x | 2,66 |

DISPOSICIÓN DIRECTA



DISPOSICIÓN INDIRECTA

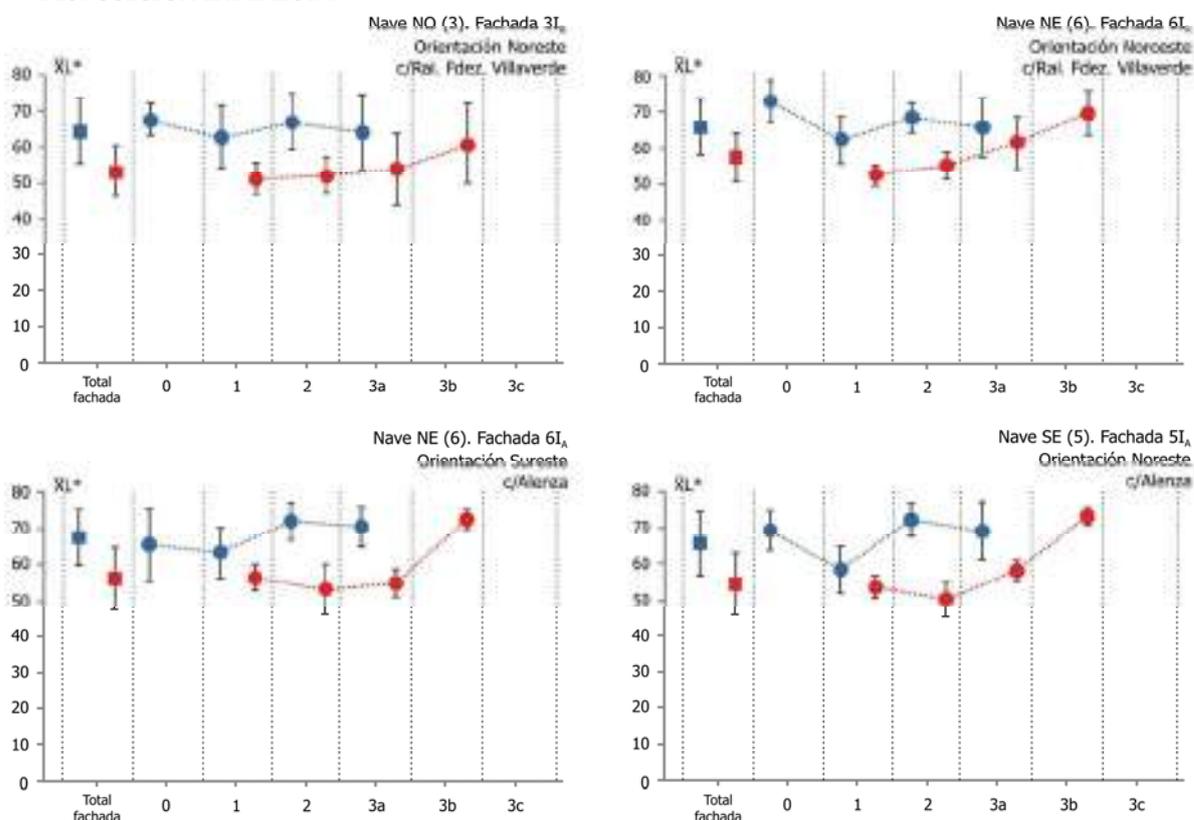


Fig.8.5. Valores medios y de desviación estándar de L* para cada una de las fachadas y/o cuerpos considerados.

El valor medio de luminosidad ($\bar{X}L^*$) se representa en azul para las zonas expuestas y en rojo para las protegidas. El total de fachadas se representa con un cuadrado y mediante círculos para cada uno de los niveles de fachada establecidos en la vertical. Las barras de error verticales se corresponden con los valores de desviación estándar de la luminosidad ($StdL^*$), en zonas expuestas y protegidas, igualmente para la totalidad de las fachadas y para cada uno de los niveles.

8.4.1.d. Ensuciamiento final (ΔL^*) por niveles, según disposición y tipo de exposición

En la tabla 8.2 se muestran los valores medios y la desviación estándar del ensuciamiento final (ΔL^*), representándose los primeros mediante barras en la figura 8.6. Igualmente, los valores se muestran por fachadas, con disposición directa e indirecta, atendiendo a las medidas tomadas en toda la fachada y en cada uno de sus niveles así como separando las zonas expuestas y protegidas. Puesto que este índice se corresponde con una pérdida de luminosidad, los incrementos resultan negativos.

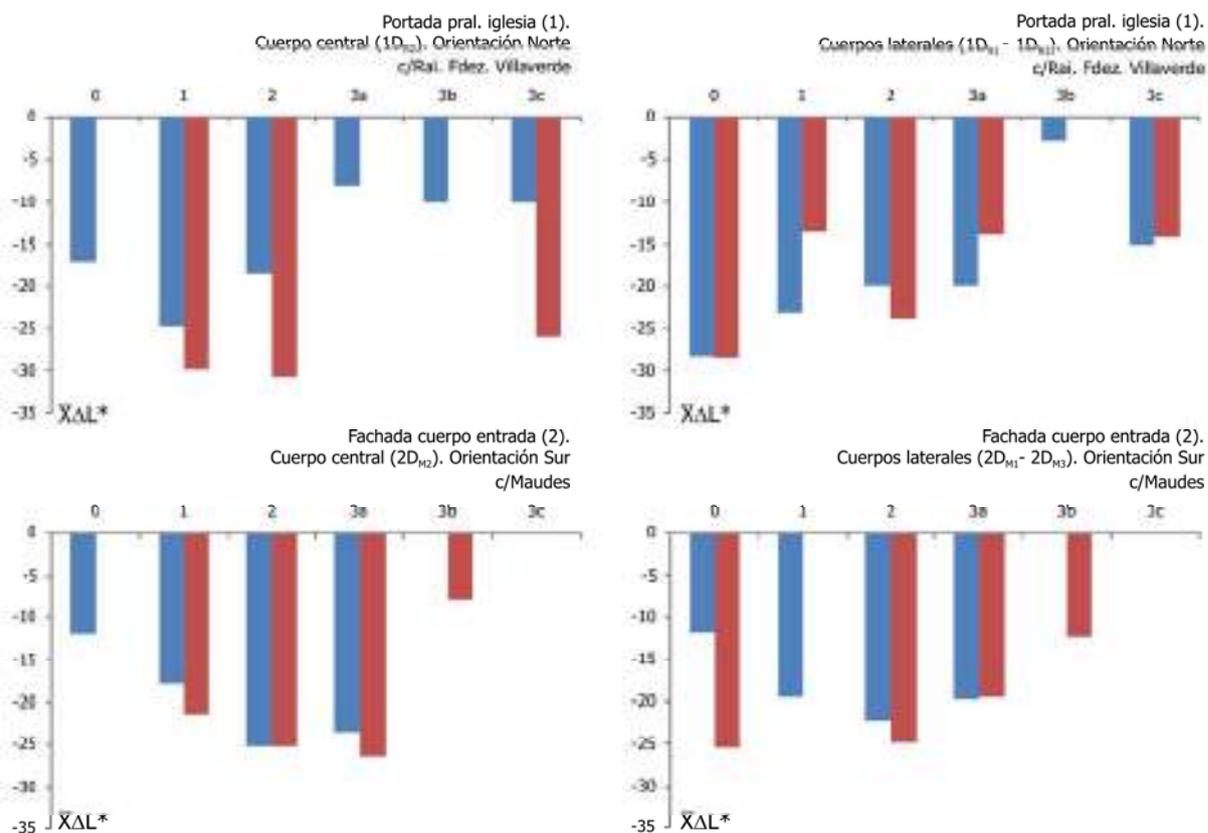
En la tabla 8.2 se observa que los valores de fachada total en aquellas con disposición directa presentan los mayores descensos ($\bar{X}\Delta L^* > -18$), resultando en general para todas las fachadas considerablemente superiores en las zonas protegidas que en las expuestas, salvo para los cuerpos laterales de la iglesia ($1D_{R1}-1D_{R3}$, $\bar{X}\Delta L^*_E = -18,96$ y $\bar{X}\Delta L^*_P = -18,03$) y el central del cuerpo de entrada ($1D_{R2}$, $\bar{X}\Delta L^*_E = -19,89$ y $\bar{X}\Delta L^*_P = -20,28$). Del mismo modo, la diferencia entre zonas expuestas y protegidas resulta mucho más significativa en las fachadas con disposición indirecta. En la portada de la iglesia, se observan importantes diferencias en los valores de ΔL^* entre el cuerpo central (en $1D_{R2}$, $\bar{X}\Delta L^*_E = -15,51$ y $\bar{X}\Delta L^*_P = -29,81$) y los laterales (en $1D_{R1}-1D_{R3}$, $\bar{X}\Delta L^*_E = -18,96$ y $\bar{X}\Delta L^*_P = -18,03$), resultando los valores más similares entre el central y los laterales del cuerpo de entrada (en $2D_{M2}$, $\bar{X}\Delta L^*_E = -19,89$ y $\bar{X}\Delta L^*_P = -20,28$ y en $2D_{M1}-2D_{M3}$, $\bar{X}\Delta L^*_E = -17,27$ y $\bar{X}\Delta L^*_P = -21,38$). En las fachadas de las naves, se observa que los mayores incrementos de ΔL^* se registran en las zonas protegidas de las fachadas $3I_R$ ($\bar{X}\Delta L^*_P = -20,81$) y $5I_A$ ($\bar{X}\Delta L^*_P = -19,71$) así como en las expuestas de la $3I_R$ ($\bar{X}\Delta L^*_E = -9,63$).

La figura 8.6 permite visualizar la variabilidad en los valores de ΔL^* , su comparativa en los niveles que presentan zonas expuestas y protegidas así como su modificación con la altura. Como se ha indicado, en general los incrementos son mayores en las fachadas con disposición directa y, en los niveles donde se ha medido en zonas expuestas y protegidas, $\bar{X}\Delta L^*$ presenta valores más elevados en las zonas protegidas. También, en general y atendiendo a la totalidad de los niveles, $\bar{X}\Delta L^*$ muestra menor variabilidad en las zonas protegidas que en las zonas expuestas.

En las fachadas con disposición directa, en algunos niveles resultan valores de ΔL^* muy similares para las zonas expuestas y protegidas, especialmente en la fachada a Maudes. En la portada de la iglesia, $\bar{X}\Delta L^*$ desciende en general con la altura en las zonas expuestas. En las zonas protegidas resulta especialmente elevado para el cuerpo central ($1D_{R2}$), manteniéndose bastante constante en todos los niveles; y en los cuerpos laterales presenta un comportamiento muy irregular con la altura. En la fachada del cuerpo de entrada $\bar{X}\Delta L^*$ aumenta en general con la altura en las zonas expuestas, resultando los menor valores en el nivel 0. Para las zonas protegidas, igualmente aumenta con la altura en el cuerpo central ($2D_{M2}$) pero disminuye en los cuerpos laterales ($2D_{M1}-2D_{M3}$), descendiendo en ambos casos en el subnivel 3b.

En las cuatro fachadas de las naves, el $\bar{X}\Delta L^*$ para las zonas expuestas muestra la misma pauta pero con distinta magnitud; el nivel 1 presenta siempre el mayor incremento y el nivel 2 el menor, salvo en la fachada $6I_R$. En las zonas protegidas de las fachadas $3I_R$ y $6I_R$, $\bar{X}\Delta L^*$ desciende con la altura, siendo el descenso más acusado en $6I_R$ y resultando los valores considerablemente más elevados para la fachada $3I_R$. En las zonas protegidas de las fachadas $6I_A$ y $5I_A$, tanto los valores de $\bar{X}\Delta L^*$ como su comportamiento con la altura resultan muy similares, mostrando el nivel 2 los valores más elevados. Si bien para las zonas protegidas los menores incrementos se observan en el subnivel 3b, este descenso resulta especialmente significativo en las fachadas orientadas a Alenza.

DISPOSICIÓN DIRECTA



DISPOSICIÓN INDIRECTA

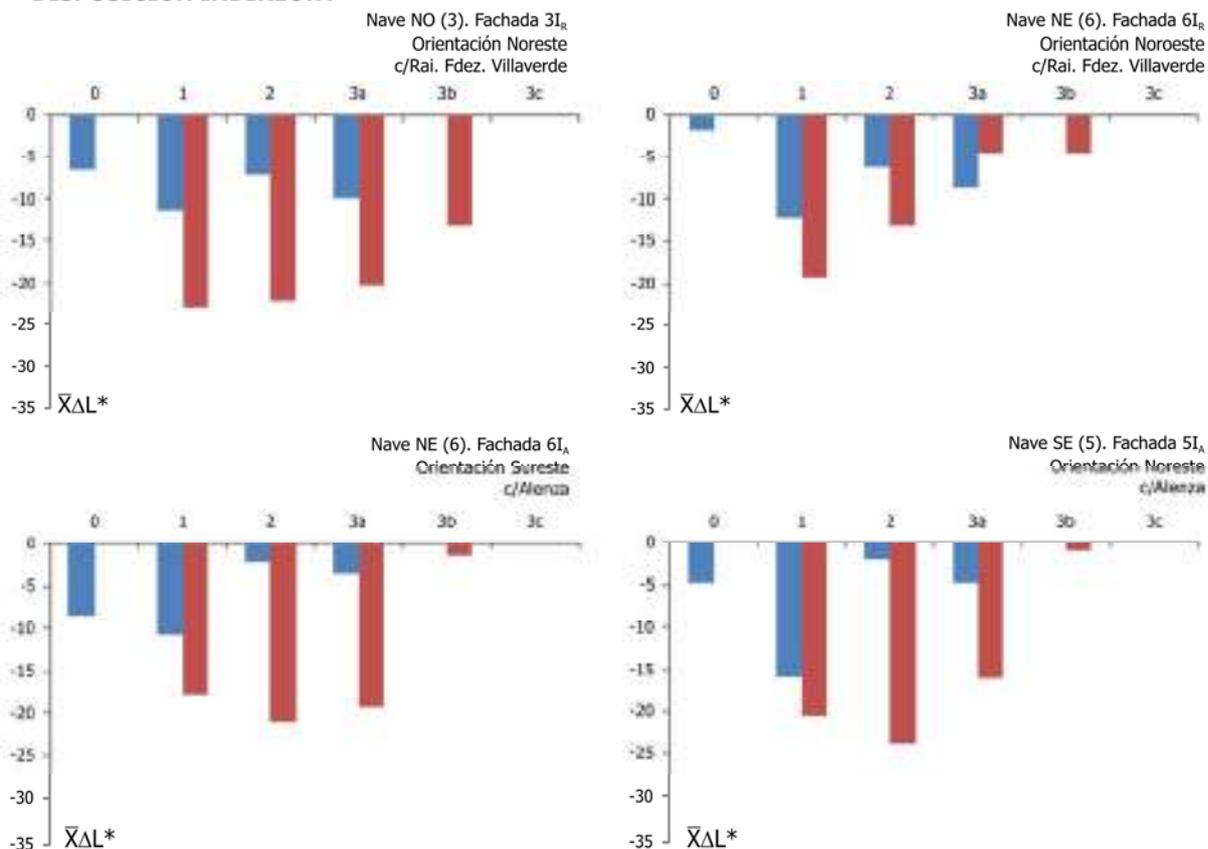


Fig.8.6. Valor medio de ΔL* por niveles para cada una de las fachadas y/o cuerpos considerados.

El valor medio del ensuciamiento total ($\bar{\Delta L}^*$) se representa en azul para las zonas expuestas y en rojo para las protegidas.

8.4.1.e. Luminosidad (L*) versus área cubierta efectiva (ACE%)

En la figura 8.7. se representa el valor medio por niveles de la luminosidad (L*) frente al área cubierta efectiva expresada en porcentaje (ACE%) en cada una de las fachadas y/o cuerpos considerados, según los datos mostrados en las tablas 8.2 y 8.3, considerando por separado las zonas expuestas (en azul) de las protegidas (en rojo). Ambos parámetros están inversamente relacionados, pues conforme desciende la luminosidad mayor es el valor de área efectiva cubierta por partículas oscuras, quedando los valores medios de L*/ACE% representados en una recta cuya intersección con el eje de ordenadas coincide con el valor de L*₀ considerado (74,33) y resultando la misma pendiente para las fachadas y/o cuerpos considerados.

Todas las fachadas y/o cuerpos considerados, tanto las zonas expuestas como las protegidas presentan en general mayores valores de $\bar{X}ACE\%$ en las fachadas directas, resultando los máximos casi siempre en las zonas protegidas de los niveles inferiores (0, 1 y/o 2). Por otro lado, las zonas protegidas muestran los mayores valores de $\bar{X}ACE\%$, más elevados en las fachadas directas (en general >50%) que en las indirectas (en general <50%), salvo para el nivel 3.

Tabla 8.3. Media y desviación estándar de los valores de ACE%.

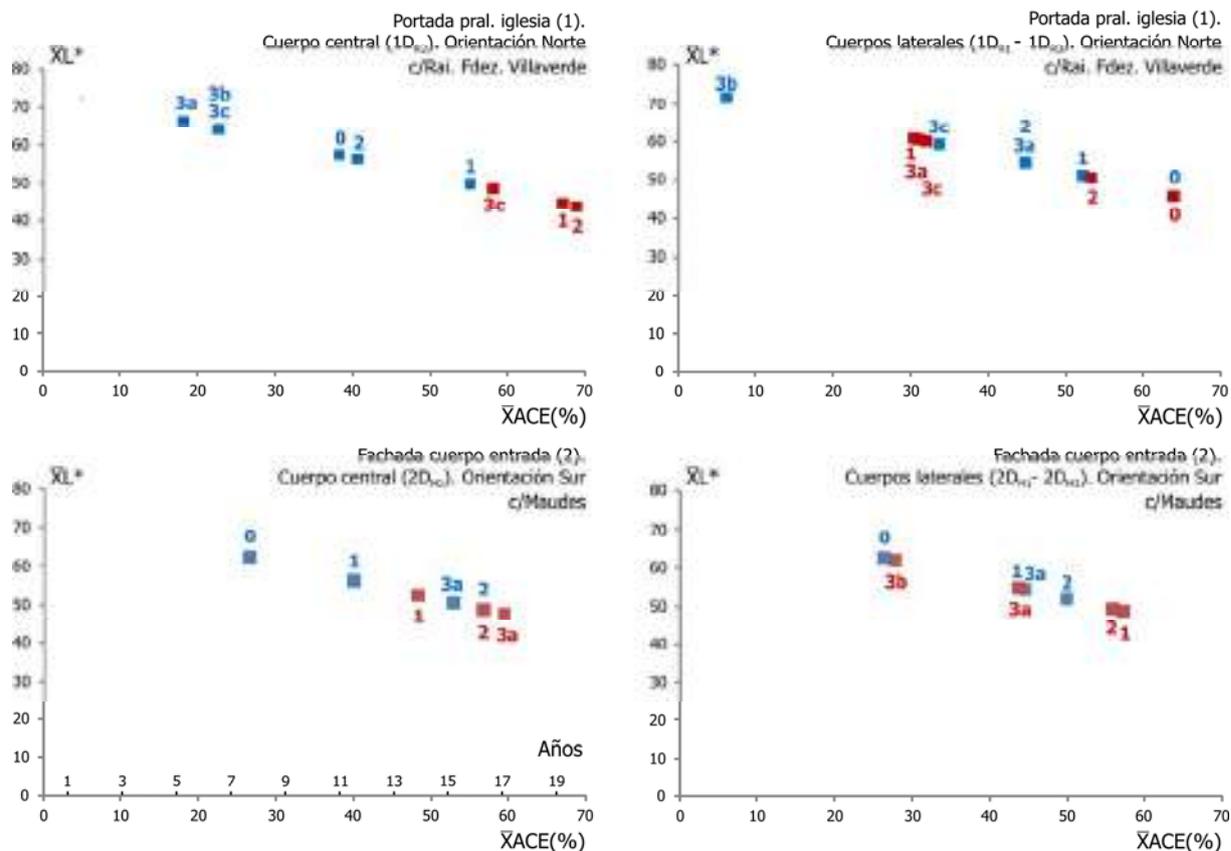
| ACE (%) | | Iglesia. Cuerpo central (1D _{R2}) | | | Iglesia. Cuerpos laterales (1D _{R1} -1D _{R3}) | | | Entrada. Cuerpo central (2D _{M2}) | | | Entrada. Cuerpos laterales (2D _{M1} -2D _{M3}) | | | |
|-------------------|-----------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------|-------|
| | | Total | Expuestas | Protegidas | Total | Expuestas | Protegidas | Total | Expuestas | Protegidas | Total | Expuestas | Protegidas | |
| DIRECTAS | Total | \bar{X} | 40,72 | 34,79 | 66,85 | 41,67 | 42,52 | 40,43 | 44,92 | 44,60 | 45,48 | 42,69 | 38,72 | 47,94 |
| | | Std | 24,37 | 22,78 | 9,38 | 24,45 | 23,75 | 25,15 | 24,49 | 24,58 | 24,77 | 17,73 | 17,49 | 16,49 |
| | Niveles | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | \bar{X} | 38,20 | 38,20 | x | 63,82 | 63,76 | 63,87 | 26,51 | 26,51 | x | 34,77 | 26,22 | 57,02 |
| | | Std | 17,64 | 17,64 | x | 6,70 | 9,59 | 4,03 | 24,01 | 24,01 | x | 19,61 | 15,16 | 7,47 |
| | 1 | \bar{X} | 58,46 | 55,07 | 66,94 | 42,78 | 52,11 | 30,35 | 42,96 | 39,92 | 48,17 | 43,53 | 43,53 | x |
| | | Std | 14,65 | 16,05 | 4,82 | 16,29 | 13,11 | 11,00 | 25,43 | 28,51 | 20,00 | 9,13 | 9,13 | x |
| | 2 | \bar{X} | 50,44 | 40,55 | 68,77 | 47,23 | 44,66 | 53,23 | 56,62 | 56,60 | 56,66 | 52,71 | 49,74 | 55,68 |
| | | Std | 22,57 | 21,76 | 9,08 | 25,65 | 24,78 | 20,66 | 12,84 | 12,69 | 14,27 | 16,91 | 16,32 | 17,03 |
| | 3a | \bar{X} | 18,14 | 18,14 | x | 40,19 | 44,76 | 31,04 | 56,02 | 52,75 | 59,29 | 44,00 | 44,35 | 43,64 |
| | | Std | 18,04 | 18,04 | x | 22,82 | 12,43 | 8,40 | 25,33 | 24,98 | 27,23 | 11,26 | 13,40 | 10,13 |
| | 3b | \bar{X} | 22,66 | 22,66 | x | 6,18 | 6,18 | x | 17,79 | x | 17,79 | 27,67 | x | 27,67 |
| | | Std | 23,07 | 23,07 | x | 6,68 | 6,68 | x | 12,03 | x | 12,03 | 3,83 | x | 3,84 |
| | 3c | \bar{X} | 29,73 | 22,66 | 58,00 | 32,70 | 33,62 | 31,91 | x | x | x | x | x | x |
| | | Std | 24,62 | 21,19 | 17,68 | 26,06 | 21,44 | 29,25 | x | x | x | x | x | x |
| | ACE (%) | | Nave NO (3). Fachada Noreste (3I _a) | | | Nave NE (6). Fachada Noroeste (6I _a) | | | Nave NE (6). Fachada Sureste (6I _a) | | | Nave SE (5). Fachada Noreste (5I _a) | | |
| | | Total | Expuestas | Protegidas | Total | Expuestas | Protegidas | Total | Expuestas | Protegidas | Total | Expuestas | Protegidas | |
| INDIRECTAS | Total | \bar{X} | 30,30 | 21,59 | 46,66 | 26,05 | 19,58 | 38,20 | 23,76 | 14,90 | 40,43 | 27,75 | 18,99 | 44,20 |
| | | Std | 22,14 | 20,04 | 15,79 | 18,81 | 17,27 | 15,31 | 21,73 | 17,29 | 19,40 | 23,03 | 19,92 | 19,25 |
| | Niveles | | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | \bar{X} | 14,49 | 14,49 | x | 3,68 | 3,68 | x | 18,75 | 18,75 | x | 10,67 | 10,67 | x |
| | | Std | 9,81 | 9,81 | x | 12,88 | 12,88 | x | 22,47 | 22,47 | x | 12,22 | 12,22 | x |
| | 1 | \bar{X} | 29,26 | 25,31 | 51,27 | 30,65 | 27,33 | 43,15 | 26,54 | 24,17 | 39,72 | 37,06 | 35,42 | 46,17 |
| | | Std | 20,48 | 19,40 | 9,83 | 15,49 | 14,23 | 8,30 | 15,88 | 15,82 | 8,19 | 14,28 | 14,69 | 6,96 |
| | 2 | \bar{X} | 30,62 | 15,88 | 49,35 | 26,72 | 13,79 | 29,28 | 23,43 | 4,79 | 47,11 | 26,07 | 4,61 | 53,33 |
| | | Std | 22,38 | 17,46 | 11,00 | 17,13 | 9,34 | 16,54 | 25,07 | 11,61 | 15,73 | 26,50 | 10,12 | 11,12 |
| | 3a | \bar{X} | 50,31 | 22,11 | 45,21 | 40,46 | 19,63 | 10,00 | 32,76 | 8,26 | 43,23 | 39,53 | 10,72 | 35,95 |
| | Std | 21,71 | 23,37 | 22,48 | 21,92 | 18,16 | 13,54 | 12,96 | 12,39 | 8,53 | 14,37 | 17,80 | 6,37 | |
| 3b | \bar{X} | 29,30 | x | 29,30 | 10,00 | x | 10,00 | 3,07 | x | 3,07 | 2,23 | x | 2,23 | |
| | Std | 24,83 | x | 24,83 | 13,54 | x | 13,54 | 6,11 | x | 6,11 | 5,97 | x | 5,97 | |

Nuevamente, las fachadas con disposición directa muestran un comportamiento muy diferente, muy diferente a su vez entre sus cuerpos centrales y laterales. En los primeros se aprecia la mayor separación de los valores entre las zonas expuestas y protegidas así como más similitud de los valores para las protegidas. Sin embargo, en los cuerpos laterales se observa el solape de ambas zonas, presentando además las zonas protegidas mayor variabilidad en los valores de $\bar{X}ACE\%$. Para la portada de la iglesia, las zonas expuestas en el nivel 3 muestran menor $\bar{X}ACE\%$, resultando significativamente bajo en el subnivel 3b de los cuerpos laterales (6,18%). En estos cuerpos laterales, los valores de los niveles 0 (63,76%) y 1 (52,11%) en sus zonas expuestas prácticamente se solapan con los de las protegidas en los niveles 0 (63,87%) y 2 (53,23%), respectivamente. En la fachada a la calle Maudes el nivel 0 (con medidas sólo en las zonas expuestas) muestra los menores valores de $\bar{X}ACE\%$.

En el cuerpo central resultan los mayores valores de ACE% para los niveles 2 y 3a, tanto en las zonas expuestas (56,60 y 52,75%) como protegidas (56,66% y 59,29%), solapándose en el nivel 2. En los cuerpos laterales, los valores de $\bar{X}ACE\%$ en las zonas protegidas de los niveles superiores (3a y 3b) resultan muy similares a los calculados para las zonas expuestas en los niveles 1-3a y 0, en torno a 43-44% y 26-27% respectivamente.

En las fachadas de las naves, las zonas expuestas presentan valores de $\bar{X}ACE\%$ menores (en general <30%) y algo más agrupados, especialmente en la fachada 3I_R, que en las fachadas directas. Por un lado, en las zonas expuestas del nivel 1 las cuatro fachadas presentan valores de $\bar{X}ACE\%$ similares (en torno a 25-27%), salvo para la fachada 5I_A (35,42%). Por otro, en el nivel 0 de la fachada 6I_R y niveles 2 de las fachadas 6I_A y 5I_A los valores de $\bar{X}ACE\%$ resultan significativamente bajos (<5%). En las zonas protegidas de las fachadas indirectas, el subnivel 3b muestra en general los menores valores de $\bar{X}ACE\%$, en torno al 10% para la fachada 6I_R y <5% para las fachadas 6I_A y 5I_A, donde incluso resultan inferiores al valor de las zonas expuestas en el nivel 2. Los valores de $\bar{X}ACE\%$ resultan similares en las zonas protegidas de los niveles 1, 2 y 3a para las fachadas 3I_R y 6I_A. En las fachadas dirigidas a la calle Alenza (6I_A y 5I_A) se observa que en el nivel 2 resultan los mínimos valores de $\bar{X}ACE\%$ para las zonas expuestas (en torno al 4,5%) y los máximos para las protegidas (47,11% para 6I_A y 53,33% para 5I_A).

DISPOSICIÓN DIRECTA



DISPOSICIÓN INDIRECTA

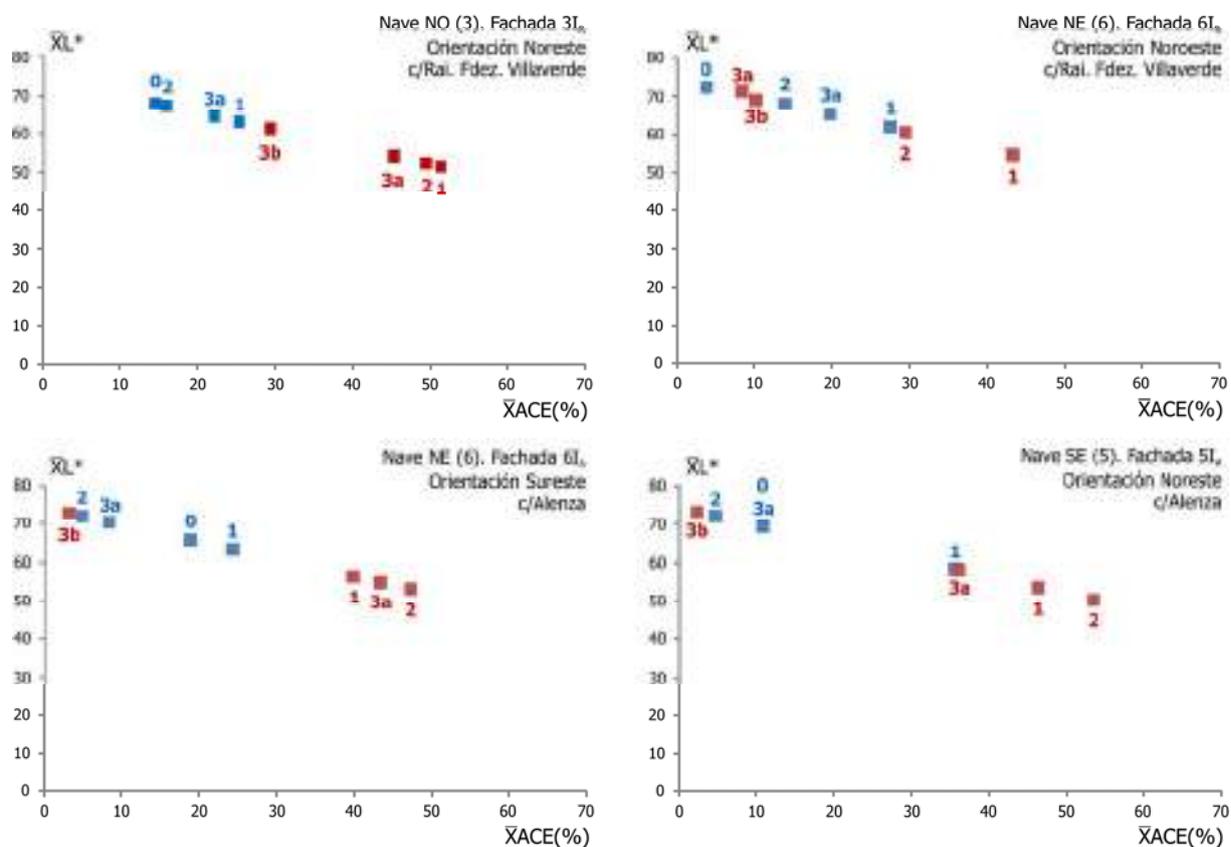


Fig.8.7. Relación por niveles $\bar{X}L^*/\bar{X}ACE\%$ para cada una de las fachadas y/o cuerpos considerados.

El valor medio $\bar{X}L^*/\bar{X}ACE\%$ se representa en azul para las zonas expuestas y en rojo para las protegidas.

8.4.2. Evolución de los patrones de color en el tiempo

8.4.2.a. Ensuciamiento final ($\Delta L^*_{n\%}$) como tasa de ensuciamiento entre 1986 y 2006

La figura 8.8 recoge el valor medio de ΔL^*_n expresado en porcentaje según la disposición de las fachadas y las calles a las que están dirigidas. En ambos casos se muestran igualmente los valores para cada uno de los niveles, considerando la totalidad de las fachadas (en negro) y separándolas por zonas expuestas (en azul) y protegidas (en rojo). En las fachadas directas, el descenso de luminosidad es algo mayor para las fachadas de los cuerpos dirigidos a la calle Maudes ($\Delta L^*_n = -26,3$) que a Raimundo Fernández Villaverde ($\Delta L^*_n = -24,71$). Además, en las primeras la diferencia entre zonas expuestas y protegidas resulta considerablemente menor ($\Delta L^*_{nE} = -25$ y $\Delta L^*_{nP} = -28$), mientras que en las segundas esta diferencia es casi de 9 puntos ($\Delta L^*_{nE} = -23,19$ y $\Delta L^*_{nP} = -32,18$). Para las fachadas con disposición indirecta, en aquellas dirigidas a Raimundo Fernández Villaverde el grado de ensuciamiento resulta algo mayor ($\Delta L^*_n = -16,9$) que para las orientadas a la calle Alenza ($\Delta L^*_n = -15,5$). La diferencia entre las zonas expuestas y protegidas supera los 13 puntos, resultando mayor esta diferencia en las fachadas dirigidas a la calle Alenza ($\Delta L^*_{nE} = -10,16$ y $\Delta L^*_{nP} = -25,39$). Atendiendo a los valores totales en las fachadas directas e indirectas, se observa que el descenso de luminosidad es del orden de 9 puntos mayor en las primeras ($\Delta L^*_{nDirectas} = -25,5$) que en las segundas ($\Delta L^*_{nIndirectas} = -16,18$). Además, mientras que en las directas la diferencia entre zonas expuestas y protegidas es de 5 puntos ($\Delta L^*_{nE} = -24,9$ y $\Delta L^*_{nP} = -30,10$), en las indirectas supera los 14 ($\Delta L^*_{nE} = -11,26$ y $\Delta L^*_{nP} = -25,42$).

A partir de los valores mostrados en la figura 8.8 se establece que en [1997-2006], por ejemplo, las fachadas directas se han ensuciado un 37% más que aquellas con disposición indirecta y mientras que para las primeras el descenso de luminosidad difiere un 17% entre las zonas expuestas y protegidas, en las fachadas indirectas supera el 55%. También, que las zonas expuestas del nivel 1 dirigidas a Raimundo Fernández Villaverde se han ensuciado prácticamente el doble en las directas ($\Delta L^*_n = -32,15$) que en las indirectas ($\Delta L^*_n = -15,79$). En las zonas expuestas se observa una diferencia de unos 10 puntos en el valor $\Delta L^*(\%)$ entre las fachadas directas e indirectas, mientras que en las zonas protegidas esta diferencia se reduce a menos de 5 puntos.

| DISPOSICIÓN DIRECTA | | | DISPOSICIÓN INDIRECTA | | | | | |
|--------------------------------------------------------------|--------|--------|-------------------------------------------|--------|------------------------|----------|----------|--------|
| CUERPOS 1D _{R2} -1D _{R1} -1D _{R3} | | | FACHADAS 3I _R -6I _R | | | | | |
| CUERPOS 2D _{M2} -2D _{M1} -2D _{M3} | | | FACHADAS 6I _A -5I _A | | | | | |
| -25,5 | 0 | -24,5 | -23,20 | -16,18 | 0 | -7,14 | -7,14 | |
| | | -28,16 | -28,59 | | | 1 | -18,53 | -16,83 |
| | | -31,05 | -29,09 | | | 2 | -16,03 | -5,86 |
| | 1 | -23,75 | -24,00 | | 3a | -24,46 | -9,11 | |
| | | -11,15 | -8,65 | | | 3b | -6,69 | -6,69 |
| | | -18,73 | -13,64 | | | 3c | x | x |
| | 2 | -23,75 | -26,79 | | c/Rai. Fdez Villaverde | | -17 | -12,35 |
| | | -11,15 | -8,65 | | | | c/Alenza | -15 |
| | | -18,73 | -13,64 | | | c/Maudes | | -26 |
| | 3a | -23,75 | -26,79 | | 0 | | | -5,45 |
| | | -11,15 | -8,65 | | | | 1 | -17,97 |
| | | -18,73 | -13,64 | | | 2 | -17,20 | -8,90 |
| 3b | -11,15 | -8,65 | 3a | -27,23 | -12,52 | | | |
| | -18,73 | -13,64 | | 3b | -11,79 | -11,79 | | |
| | x | x | | 0 | -8,83 | -8,83 | | |
| 3c | x | x | 1 | -19,08 | -17,88 | | | |
| | x | x | | 2 | -14,85 | -2,82 | | |
| | x | x | | 3a | -21,69 | -5,69 | | |
| x | x | x | 3b | -1,59 | -23,76 | | | |
| | x | x | | 3c | x | x | | |
| | x | x | | | x | x | x | |

Fig.8.8. Tasa de ensuciamiento $\bar{\Delta}L^*_n$ (%) según disposición, calles, exposición y altura.

Disposición directa en morado e indirecta en naranja; zonas expuestas en azul y zonas protegidas en rojo.

8.4.2.b. Relación de $\bar{X}L^*/\bar{X}ACE\%$ con el tiempo y grados de tolerancia estética

Los datos mostrados en la figura 8.7 se han representado separando las zonas expuestas de las protegidas para cada uno de los niveles en las diferentes fachadas y/o cuerpos considerados. Siguiendo el orden establecido, en las fachadas con disposición directa, se ha considerado por un lado los cuerpos centrales y, por otro, los laterales. En las fachadas de las naves, por un lado a las fachadas dirigidas a la calle Raimundo Fernández Villaverde ($3I_R$ y $6I_R$) y por otro a las orientadas hacia la calle Alenza ($6I_A$ y $5I_A$). Representados los valores, se ha confeccionado un modelo que establece la correspondencia del descenso de la $\bar{X}L^*$ /aumento de la $\bar{X}ACE\%$ con el tiempo así como su agrupación según cuatro grados de tolerancia o de percepción estética (figura 8.9).

Teniendo en cuenta que los valores de $ACE\%$ calculados han resultado para los 20 años transcurridos entre las dos principales intervenciones acometidas en el Antiguo Hospital, periodo [1987-2006], se ha dividido el rango de estos valores de $ACE\%$ en 20, siendo 0 el año 1987 y 20 el año 2006. Atendiendo de forma conjunta a todos los valores $\bar{X}L^*/\bar{X}ACE\%$ (figura 8.7) y a la tonalidad que mostraban *in situ* las superficies donde se han efectuado las medidas (principalmente claras, marrones y muy oscuras) se han establecido cuatro agrupaciones, asignando a cada una un grado de tolerancia o de percepción estética (figura 8.9). Para establecer las separaciones entre los cuatro grupos, se ha procedido del siguiente modo. Para la primera separación se han considerado los valores resultantes para la fachada indirecta orientada a la calle Raimundo Fernández Villaverde ($3I_R$), por resultar la fachada en donde los valores correspondientes a zonas expuestas y protegidas muestran mayor separación, quedando las zonas protegidas de los niveles 3a, 2 y 1 a la derecha y el resto a la izquierda (separación en $\bar{X}L^* \approx 55$ y $\bar{X}ACE\% \approx 43$).

Para la segunda separación se han considerado las zonas expuestas del nivel 3 del cuerpo central de la iglesia ($1D_{R2}$), de modo los subniveles 3a, 3b y 3c queden a la izquierda (separación en $\bar{X}L^* \approx 64$ y $\bar{X}ACE\% \approx 25\%$). La última separación se ha establecido a partir de la agrupación en los valores medios de $ACE\%$ comprendidos entre 0 y 10 que muestran diversos niveles, tanto en zonas expuestas como protegidas, en las fachadas indirectas dirigidas a la calle Alenza ($6I_A$ y $5I_A$), correspondiendo esta tercera separación con $\bar{X}L^* \approx 68$ y $\bar{X}ACE\% \approx 12\%$). Estas tres separaciones, cuyos límites presentan cierta flexibilidad, se han trasladado a la totalidad de las fachadas y/o cuerpos, quedando todos los valores $\bar{X}L^*/\bar{X}ACE\%$ separados en cuatro grupos.

De forma general se establece que en las zonas que quedan en el intervalo correspondiente al grado de tolerancia A la superficie de la caliza se percibe clara, en el B se empieza a percibir un ligero oscurecimiento, en el C el oscurecimiento comienza a percibirse como deterioro estético y en el D resulta intolerable. También, de forma general, los grados de tolerancia estética A-B y C-D corresponden con "zonas blancas" y con "zonas negras", respectivamente, existiendo en las fachadas más zonas oscuras que claras⁸. La relación de las agrupaciones A y D con las tonalidades claras y las oscuras, respectivamente, resulta bastante definida. Sin embargo, en el intervalo C las superficies muestran diferentes tonalidades marrones, resultando su ensuciamiento ciertamente dispar, y en el intervalo D la modificación de la percepción estética resulta también gradual, mostrando las superficies una tonalidad muy oscura y estando cubiertas en su práctica totalidad especialmente a partir de valores de $L^* < 50$. Estos aspectos señalan la transición que existe entre los grados de tolerancia B, C y D, dividiéndose en el modelo planteado el grado de tolerancia B en B_1 (superficies en las que el oscurecimiento se percibe sin causar molestia) y B_2 (ligero oscurecimiento que causa cierta molestia), que viene a suponer una transición o interfase entre los grados B y C.

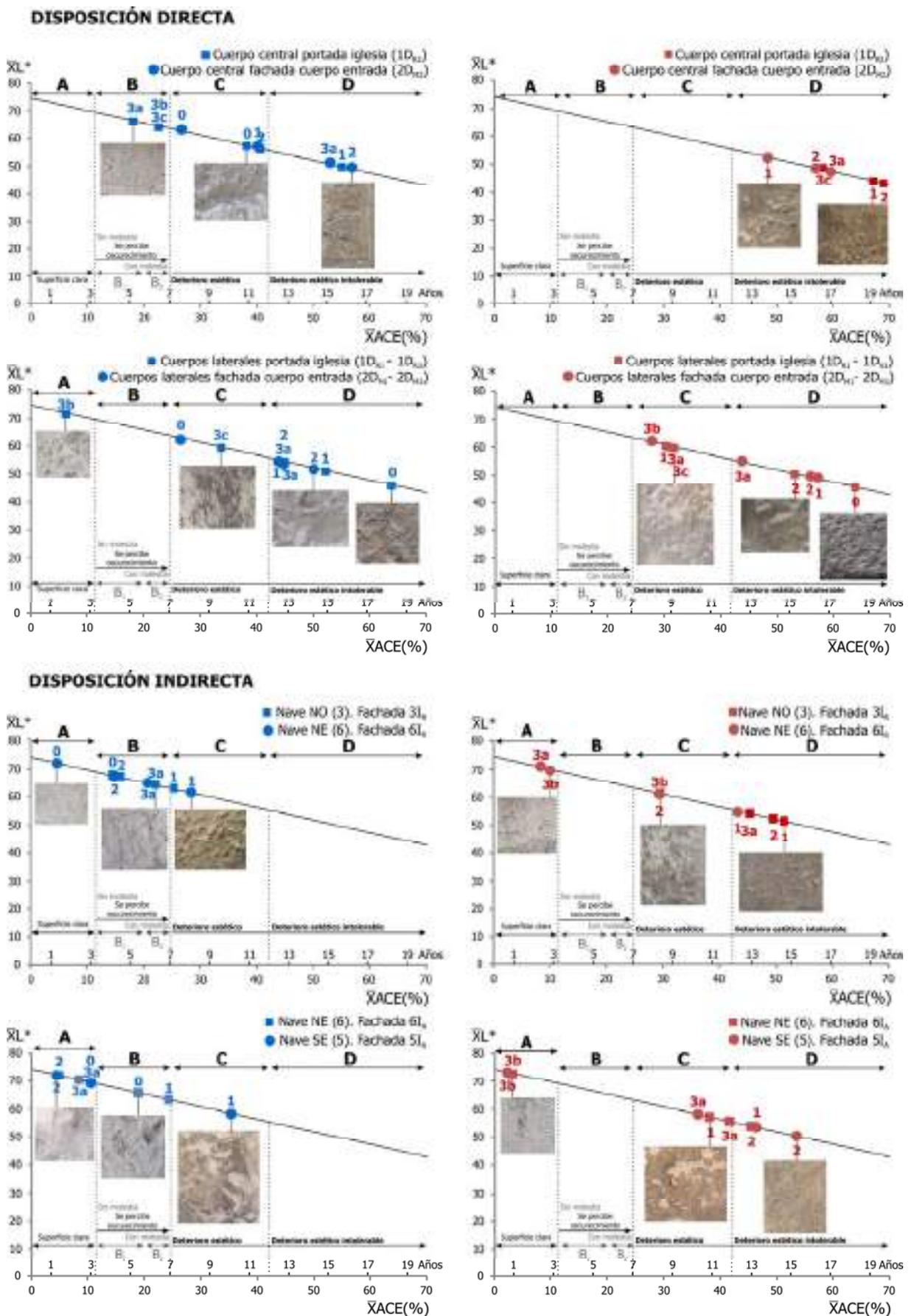
⁸ A este respecto debe tenerse en cuenta que en el modelo no quedan incluidos los puntos de media con valores de $L^* > 74$, localizados principalmente en zonas elevadas (anexo A), donde la caliza está expuesta a la acción del agua de lluvia y se produce el blanqueamiento de su superficie debido a procesos de carbonatación.

El modelo plantea que una vez limpiada la piedra en 1986 ($t_0 = 0$, $L^*_0 = 74$) su superficie empezó a ensuciarse a la vez en todos los niveles, zonas y fachadas. Conforme avanzaba el tiempo, aumentaba la ACE% y descendía la L^* , dejando la piedra de ensuciarse una vez que la representación de la relación $\bar{X}L^*/\bar{X}ACE\%$ intercepta la recta sobre la que los valores quedan representados.

Desde entonces, se considera que la superficie de la piedra ha mostrado un aspecto similar al observado en el 2006. De este modo, hasta unos 3 años después de la limpieza, la superficie de la piedra apenas experimentó descenso de su luminosidad (grado de tolerancia A), manteniéndose desde entonces principalmente en algunos niveles de las fachadas indirectas. Menos en estos niveles, 3 años después de la limpieza la superficie de la caliza mostraba unos valores de $\bar{X}L^* \approx 68$ y $\bar{X}ACE\% \approx 12\%$, comenzando a percibirse su oscurecimiento (inicio del grado de tolerancia B_1 : oscurecimiento no causa molestia), progresivamente más intenso hasta alcanzarse a los 7 años unos valores de $\bar{X}L^* \approx 64$ y $\bar{X}ACE\% \approx 25\%$ (fin del grado de tolerancia B_2 : oscurecimiento resulta molesto). En este intervalo de tiempo de 4 años (grado de tolerancia B: inicio de B_1 y final de B_2) dejaron de ensuciarse, por ejemplo, muchas de las zonas expuestas de las fachadas indirectas que estuvieron ensuciándose durante los 3 primeros años después de la limpieza de 1986.

En aquellas zonas donde la superficie de la caliza continuó ensuciándose, unos 7 años después de la limpieza su oscurecimiento empezaba a percibirse propiamente como deterioro estético hasta resultar intolerable unos 12 años después (grado de tolerancia C), mostrando entonces la superficie de la caliza unos valores de $\bar{X}L^* \approx 55$ y $\bar{X}ACE\% \approx 43\%$. Por ejemplo, durante este periodo de tiempo de 5 años (grado de tolerancia C), en las zonas expuestas y protegidas de algunos niveles de las fachadas directas, que habían estado progresivamente ensuciándose hasta entonces, la luminosidad de la superficie de la piedra ya no descendió más. Finalmente, a partir de unos 12 años después de la limpieza, en muchos niveles de las zonas expuestas de las fachadas directas y en otras tantas protegidas de directas e indirectas el intolerable deterioro estético en la caliza siguió aumentando (grado de tolerancia D), en algunos niveles hasta que empezó la limpieza del año 2006.

En general, el año 2006, en las zonas protegidas, salvo en los subniveles 3a y 3b de las fachadas indirectas, el oscurecimiento de la caliza se percibía como deterioro estético o deterioro estético intolerable, percibiéndose con un grado de tolerancia C y D, respectivamente. Respecto a las expuestas, la piedra mostraba los cuatro grados de tolerancia en las fachadas directas, mientras que en las indirectas mayoritariamente presentaba un grado de tolerancia A y B.



8.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El estudio realizado revela la importancia de los factores de diseño analizados en los patrones de color que se generan en las fachadas del Antiguo Hospital. Se cuantifica la distribución del color producida durante los 20 años transcurridos entre la finalización de la limpieza efectuada los años 80 y el inicio de la intervención acometida en 2006-2008 en los paramentos, según los niveles de contaminación y condiciones climáticas analizadas en el capítulo 7. Se destaca por un lado que, teniendo en cuenta el valor de luminosidad de referencia tomado ($L^*_0 = 74$), en las zonas, niveles y/o fachadas analizadas la superficie de la caliza ha experimentado el descenso generalizado de su luminosidad, incluso en superficies donde la caliza muestra una tonalidad clara. Este descenso se traduce principalmente en diferentes tonalidades marrones que llegan a alcanzar un oscurecimiento muy intenso en algunas zonas (alcanzando un valor mínimo de $L^*_n = 32$), correspondientes a diversos estadios de ensuciamiento que implicarán o no un daño material en la superficie de la piedra. Por otro, el máximo nivel de ensuciamiento de la piedra se había alcanzado en las zonas protegidas de los niveles inferiores del cuerpo central de la portada de la iglesia ($1D_{R2}$) y el mínimo en las zonas expuestas de la fachada indirecta dirigida a la calle Alenza ($6I_A$), revelándose la disposición directa, la menor altura y la localización protegida como los principales factores que favorecen el ensuciamiento de las superficies.

8.5.1. Influencia de los factores de diseño en los patrones de color observados en el año 2006

La disposición de las fachadas respecto a la retícula urbana supone el factor de diseño que en mayor medida favorece el descenso de la luminosidad, resultando más significativo en las fachadas con disposición directa, en tanto que principalmente están más expuestas a las emisiones procedentes del tráfico, siendo por tanto mayor el grado de ensuciamiento generalizado que presentan. Es en las zonas expuestas donde más se acusa la disposición de las fachadas, pues como las zonas protegidas tienden por defecto a oscurecerse los valores resultan en general más similares. A partir de cierta altura, la influencia de la disposición deja de resultar tan determinante a la hora de favorecer el ensuciamiento.

La disposición influye de forma importante en la heterogeneidad de los patrones de color, observándose que una disposición indirecta aumenta el ensuciamiento diferencial de fachadas, favoreciendo que en los patrones de color las zonas claras y oscuras queden más contrastadas. De este modo, entre las zonas expuestas y protegidas de las fachadas indirectas se observa una significativa diferenciación en la relación $\Delta L^*/\Delta b^*$ (figura 8.4), en los valores medios de luminosidad ($\bar{X}L^*$), de ensuciamiento final ($\bar{X}\Delta L^*$) y del área cubierta efectiva ($\bar{X}ACE\%$) para cada uno de los niveles (tablas 8.2 y 8.3), y la diferencia del $\Delta L^*(\%)$ resulta más del doble (figura 8.8, 11,3 para zonas expuestas y 25,4 para las protegidas). La disposición condiciona la tonalidad dominante en los niveles, zonas y/o fachadas. Así, comparando el plano principal en los niveles inferior (1) y medio (2) de los cuerpos laterales de la fachada a Maudes ($2D_{M1}$ y $2D_{M3}$) con el del nivel medio (2) de la fachada a Alenza de la nave Noreste ($6I_A$), niveles a la similar altura y con cierta similitud de diseño, para el primero la homogeneidad en la distribución de color se corresponde principalmente con zonas oscuras (figura 8.1.b) y para el segundo más con zonas claras (figuras 8.1.f y 8.1.h).

El tipo de exposición influye especialmente en la variabilidad de los valores, siendo su rango menor en las zonas protegidas, pues su ensuciamiento en general es más homogéneo que en las expuestas. Efectivamente, las zonas expuestas introducen una mayor dispersión de los valores, bien porque no todas sean lavadas por igual, bien porque al no estar necesariamente en zonas de escorrentía la superficie de la caliza muestra diversas tonalidades marrones. Por tanto, para establecer comparativas de la distribución de color entre las diferentes fachadas resulta más apropiado atender al grado de ensuciamiento que presentan las zonas expuestas.

La altura minimiza el grado de ensuciamiento de las fachadas, al resultar por lo general mayores los valores de luminosidad en las zonas más elevadas, pues se ensucian menos y están más expuestas a la acción del agua de lluvia y/o del viento. Considerando el intervalo completo de niveles, el valor medio del ensuciamiento final ($\bar{X}\Delta L^*$) desciende con la altura (figura 8.6), aumentando con ello la variabilidad del valor medio de luminosidad ($\bar{X}L^*$) (figura 8.5). La altura también favorece la heterogeneidad de los patrones de color, de modo que el menor ensuciamiento de los niveles más altos hace que la distribución de color quede marcada por un eje horizontal, sobre el que predominan las zonas claras, en disposiciones directas (figura 8.1.a) e indirectas (figura 8.1.e).

Los gráficos $\bar{X}L^*/\bar{X}ACE\%$ mostrados en la figura 8.7 resultan muy intuitivo para visualizar el ensuciamiento de las fachadas, estando las zonas más limpias cuanto más a la izquierda queden. Por ejemplo, las zonas expuestas están más limpias en las fachadas indirectas, el cuerpo central de la iglesia ($1D_{R2}$) es el que presenta mayor ensuciamiento (menos las zonas expuestas del nivel superior) y la fachada $6I_A$ la que menos, o en algunos niveles de los cuerpos laterales de las fachadas directas las zonas expuestas están casi tan sucias como las protegidas.

El estudio realizado también ha permitido establecer que a mayor superficie expuesta (exenta de vanos), más homogéneos resultan los patrones de color, correspondan en gran medida bien con zonas oscuras bien con zonas claras. De este modo, para algunos niveles de los cuerpos laterales de las fachadas directas, su disposición directa e importante superficie exenta que presentan favorecen que en zonas expuestas y protegidas los valores de $\bar{X}\Delta L^*$ resulten muy similares (figura 8.6) o que los valores de $\bar{X}ACE\%$ casi se solapen (figura 8.7). Que los valores en las zonas expuestas se aproximen a los de las zonas protegidas, con un elevado grado de ensuciamiento, implica el ensuciamiento generalizado de la fachada y su distribución homogénea. Siguiendo con estos cuerpos laterales, la mayor agrupación de los valores medios de luminosidad ($\bar{X}L^*$), de ensuciamiento final ($\bar{X}\Delta L^*$) y del área cubierta efectiva ($\bar{X}ACE\%$) para cada uno de los niveles en las zonas expuestas y protegidas en la fachada a la calle Maudes ($2D_{M1}$ y $2D_{M3}$), responde principalmente a su mayor superficie expuesta.

También la existencia de planos de avance introduce en los patrones marcadas diferencias en la horizontal. Por un lado, las zonas expuestas del nivel zócalo y/o basamento (0), planos adelantados, corresponden en su práctica totalidad a superficies con tonalidades claras, midiéndose una $\bar{X}L^* \approx 62$ en la fachada a Maudes y $\bar{X}L^*$ entre 65 y 72 en las fachadas indirectas (tabla 8.2 y figura 8.5). Por otro, el subnivel cornisa (3a) supone un claro elemento diferenciador en los patrones de color observados, principalmente en las fachadas que presentan menor grado de ensuciamiento. Así, en las fachadas indirectas dirigidas a la calle Alenza ($5I_A$ y $6I_A$) los niveles medio (2) y balaustrada (3b) marcan dos franjas horizontales predominantemente blancas entre las que queda una franja fundamentalmente oscura (subnivel cornisa 3a). Además, la importante separación entre los valores de $ACE\%$ en zonas expuestas y protegidas en este subnivel 3a revela que la distribución de color entre ambas zonas resulta especialmente heterogénea. Al estar formado por tres líneas de imposta que se adelantan progresivamente y a su vez constituido por numerosas piezas (figura 8.1.i), el diseño de la cornisa favorece tanto el progresivo ensuciamiento de la piedra como su lavado a favor de las abundantes juntas. De este modo, si bien en los niveles inferior (1) y medio (2) también se observa la importante separación entre los valores de $ACE\%$ en zonas expuestas y protegidas, debe tenerse en cuenta la considerablemente menor superficie de piedra que abarca este subnivel cornisa (3a), resultando la heterogeneidad de tonalidad es más marcada.

Por tanto, aunque un elemento pétreo se localice en zonas expuestas y próximas a las emisiones procedentes del tráfico rodado, si forma parte de un plano adelantado respecto al principal de fachada, presumiblemente experimentará un escaso descenso en su valor de luminosidad, menor todavía si presenta una disposición indirecta. Además, especialmente para disposiciones indirectas, aún en alturas elevadas, sucesivos planos de avance favorecen tanto un mayor ensuciamiento como unos patrones de color heterogéneos.

A partir de la distribución de color en la portada de la iglesia, además de su exposición directa y proximidad al intenso tráfico de la calle Raimundo Fernández Villaverde, otros factores de diseño favorecen el ensuciamiento. Estos son, el ligero adelantamiento del cuerpo central ($1D_{R2}$) y la abundancia de vanos que presenta así como la diferente morfología del nivel basamento (0, equivalente al muro perimetral), constituido por elementos pétreos unidos mediante juntas rehundidas (capítulo 3, figuras 3.16.h y 3.16.i) y no un plano de avance continuo como en las naves diagonales. La influencia de estas juntas queda igualmente reflejada en los valores medios de los diversos parámetros calculados para el nivel basamento (0) de los cuerpos laterales de la iglesia ($1D_{R1}$ y $1D_{R3}$), influye también la línea de imposta ligeramente adelantada que asienta sobre el mismo (figura 3.8.a), al posibilitar la existencia de zonas protegidas en este nivel basamento (0). Así, por ejemplo, el valor de $\bar{X}ACE\%$ (figura 8.7) resulta muy elevado y prácticamente el mismo en las zonas expuestas y protegidas ($\approx 63\%$).

8.5.2. Procesos de amarillamiento en la superficie de la caliza con el tiempo

Como para materiales claros el aumento de la coordenada cromática b^* revela procesos de amarillamiento (Grossi y Brimblecombe 2007), al estar inversamente relacionada con la luminosidad, cuanto más oscuras estén las superficies menos notorio resultará su amarillamiento. A partir de las gráficas $\Delta L^*/\Delta b^*$ (figura 8.4), los patrones de color del 2006 corresponderían con tres estadios principales de ensuciamiento, diferenciándose subestadios a su vez. En un primer estadio, las zonas expuestas de las fachadas indirectas ($3I_{RE}-6I_{RE}-6I_{AE}-5I_{AE}$), con el menor descenso de luminosidad, señalando el mayor aumento de la coordenada b^* para aquellas orientadas a Alenza ($6I_{AE}-5I_{AE}$), que se han ensuciado menos que las dirigidas a Raimundo Fernández Villaverde ($3I_{RE}-6I_{RE}$). A continuación, las zonas protegidas de las fachadas indirectas ($3I_{RP}-6I_{RP}-6I_{AP}-5I_{AP}$) y las expuestas y protegidas de la fachada a la calle Maudes ($2D_{M1E}-2D_{M2E}-2D_{M3E}$ y $2D_{M1P}-2D_{M2P}-2D_{M3P}$), con similar descenso de la luminosidad y progresivo menor aumento de la b^* . En un tercer estadio, la portada de la iglesia, primero las zonas expuestas de los cuerpos laterales ($1D_{R1E}-1D_{R3E}$), luego las del cuerpo central ($1D_{R2E}$) y las protegidas de los laterales ($1D_{R1P}-1D_{R3P}$), y finalmente, con mayor descenso de luminosidad y un incremento de la b^* que más se aleja del amarillo (+60) y más se aproxima al azul (-60), las zonas protegidas del cuerpo central ($1D_{R2P}$).

Dada la tonalidad clara de la caliza es en los primeros estadios del ensuciamiento cuando más notorio es su amarillamiento, resultando más rápido que su oscurecimiento (Grossi et al. 2007). Conforme avanza el ensuciamiento de la caliza, el grado de amarillamiento condiciona sensiblemente la percepción del oscurecimiento, correspondiendo similares descensos de la luminosidad con incrementos de la b^* considerablemente diferentes y presentando la superficie diversas tonalidades marrones. Con el tiempo y especialmente en las zonas protegidas y en la portada de la iglesia, esta tonalidad marrón va oscureciéndose, descendiendo el aumento de la coordenada b^* que se había producido. Como el amarillamiento deja de percibirse según las partículas se van acumulando (Alonso et al. 2004, Lefèvre et al. 2007), el amarillamiento que durante un tiempo en los 20 años considerados mostraría la caliza en las zonas protegidas no se percibía en el año 2006.

En la figura 8.4 se observa un comportamiento diferencial para la portada de la iglesia, respondiendo su menor aumento de la coordenada b^* a la intensa tonalidad oscura que mostraba su ensuciamiento. Como en las demás fachadas esta tonalidad resultaba más marrón, el aumento de la coordenada b^* era mayor. Para las naves, se observa que las fachadas $3I_R$ y $5I_A$ son las que presentan mayor grado de ensuciamiento, cuando cabría esperar que se hubiera alcanzado en las dirigidas a la calle Raimundo Fernández Villaverde ($3I_R$ y $6I_R$). Esto responde en gran medida a la orientación Noreste de las fachadas $3I_R$ y $5I_A$, que favorece la deposición de partículas por la acción del viento pues la dirección de vientos dominantes en la zona es S-SO (capítulo 7). También influye en este aspecto el sentido de circulación del tráfico, especialmente en la fachada $5I_{Av}$ más expuesta que la fachada $6I_A$ a las emisiones del tráfico en la calle Alenza, de sentido de circulación Norte.

8.5.3. Evolución de los patrones de color con el tiempo y medidas de protección

El cálculo del ensuciamiento total expresado en porcentaje $\Delta L^*(\%)$ permite establecer la tasa de ensuciamiento para el intervalo de tiempo considerado, periodo [1987-2006]. La figura 8.8 supone una matriz que posibilita comparar cuantitativamente, y en valores relativos, el grado de ensuciamiento de las fachadas y/o cuerpos analizados, tanto según su disposición y calles a las que están dirigidos como según el tipo de exposición y altura de la zona considerada. De este modo, tomando el valor de referencia de luminosidad considerado ($L^*_0 = 74$), a partir de la tasa de ensuciamiento calculada ($\Delta L^*(\%)$) se podrá extrapolar la luminosidad que presentará la superficie de la caliza 20 años después de la limpieza finalizada en el 2008, según dónde se localice el elemento pétreo que configure. Ciertamente se trata de una extrapolación pues debe tenerse en cuenta las modificaciones en las concentraciones de los contaminantes atmosféricos y en las condiciones climáticas (cambio climático) que se produzcan entre 2008 y 2028, además de las actuaciones que se pudieran efectuar en el entorno del inmueble (se recuerda la sustitución del puente elevado por el subterráneo actual) o en las propias fachadas (aplicación de tratamientos de protección), que influirán en los nuevos patrones de color.

8.5.3.a. Relación de $\bar{X}L^*/\bar{X}ACE\%$ con el tiempo y grados de tolerancia estética

Mientras que el progresivo descenso de la luminosidad con el paso del tiempo es exponencial (Grossi y Brimblecome 2002), a partir de la relación de $\bar{X}L^*/\bar{X}ACE\%$ con el tiempo (figura 8.9) el modelo plantea la evolución del ensuciamiento de la caliza en las fachadas y/o cuerpos analizados con el tiempo según una progresión lineal, conforme a la relación inversa que guardan los parámetros L^* y $ACE\%$ entre sí. Para los 20 años transcurridos entre las dos operaciones de limpieza, el modelo establece aproximadamente desde cuándo las zonas expuestas y protegidas para cada uno de los niveles mostraban el aspecto observado en el año 2006.

Mientras que en las zonas protegidas la acumulación de partículas posibilita el aumento progresivo en los valores de $ACE\%$, en las zonas expuestas la acción del agua y/o del viento dificulta que vayan acumulándose. Por tanto, en estas zonas expuestas, por mucho tiempo que pase (siempre que las condiciones medioambientales no cambien sustancialmente), la no deposición de partículas y/o su continua eliminación impedirá que la superficie de la piedra apenas experimente mayor descenso de su luminosidad, mientras que en las zonas protegidas seguirá ensuciándose. En el modelo, los valores representados más a la izquierda de la recta corresponden a zonas en donde tiene lugar la eliminación de las partículas una y otra vez y/o prácticamente no se depositan, mientras que los representados más a la derecha a zonas en donde se acumulan, aumentando el valor de $ACE\%$ con el tiempo, quedando más a la derecha cuanto mayor descenso de la L^* hayan experimentado las superficies.

El modelo señala que los factores de diseño analizados (y las calles a las que están dirigidas las fachadas) influyen decisivamente en el intervalo de tiempo que en los diferentes niveles, tanto en sus zonas expuestas como en las protegidas, el oscurecimiento de la superficie de la piedra dejó de aumentar. Por ejemplo, en las zonas expuestas del nivel inferior (1) en la fachada indirecta $5I_A$, desde 1986 el valor de $ACE\%$ en la superficie de la piedra estuvo 10 años aumentando. A partir de entonces, su localización en una fachada con disposición indirecta (dirigida además a la calle Alenza, con un grado de circulación medio-bajo), en el nivel inferior (1) y en zona expuesta permitió que su $ACE\%$ dejara de aumentar, manteniéndose desde entonces y hasta el año 2006 en un valor del 36% y mostrando un grado de tolerancia C. Que las zonas protegidas de los niveles inferior (1) y medio (2) del cuerpo central de la iglesia ($1D_{R2}$) queden tan a la derecha significa que presentan el máximo nivel de ensuciamiento de todas las analizadas, siendo las más vulnerables o las que presentan mayor riesgo de deterioro por procesos de sulfatación y consiguiente formación de costras negras. Además de su posición protegida, la disposición directa de esta fachada y la altura a la que se localizan han permitido que estos niveles hayan seguido ensuciándose desde que finalizó la limpieza en 1986 hasta que empezó la del 2006.

Ahora bien, para los niveles que en 2006 presentaban un grado de tolerancia C y D, el modelo no permite establecer cuándo la piedra mostraba un grado A y/o B y, desde 1986, en algún momento tuvo que presentarlos, a diferentes tiempos según su localización en las fachadas. Bonazza et al. (2007) señalan que los materiales dejan de oscurecerse cuando alcanzan una $L^* \approx 35$, de modo que aunque las partículas carbonáceas se sigan depositando sobre la superficie de la piedra, existe un valor de ACE% a partir del cual su progresivo ensuciamiento deja de ser percibido (valor límite). Puesto que en el modelo planteado una $L^* = 35$ equivale a un ACE% de 85%, el modelo señalaría que durante los 20 años considerados en ninguna de las zonas protegidas se alcanzó este valor límite de ACE%⁹. De no haberse efectuado la limpieza de 2006, el progresivo ensuciamiento de las zonas protegidas habría ido acompañado de un aumento en su valor de ACE%. Representando el punto (85%, 35) este valor límite de ACE% se habría alcanzado unos 25 años después de 1986, presumiblemente sólo en las zonas protegidas de los niveles 1 y 2 del cuerpo central de la iglesia (1D_{R2}).

La rugosidad de las superficies de medida se revela como un factor que influye en la percepción del deterioro estético (Benavente et al. 2003, Urosevic et al. 2013), especialmente para las superficies que muestran un grado de tolerancia C y aquellas incluidas en el intervalo D hasta valores de $L^* \approx 50$, pues por debajo de este valor las superficies están cubiertas en su práctica totalidad. Por otro lado, debe tenerse en cuenta que los valores medios de L^* representados en el modelo se han calculado a partir de medidas puntuales, condicionando en gran parte la rugosidad que la percepción estética de la zona de medida resulte sensiblemente diferente a la que correspondería según el valor puntual de luminosidad medido. Se considera que en el Antiguo Hospital el acabado superficial de los elementos pétreos supone un retardador del deterioro estético, proporcionando una sensación de sombras que no tiene por qué corresponderse con ensuciamiento. No ocurre así en las superficies correspondientes a niveles con $\bar{X}ACE\% > 40\%$, pues su grado de deterioro estético intolerable hace que el acabado rugoso quede prácticamente camuflado. Por tanto, el acabado rugoso de la caliza otorga cierta heterogeneidad a los patrones de color en fachadas aunque a menor escala, a nivel de elemento constructivo, más bien como factor intrínseco al material (capítulo 10) y no como variable de diseño.

8.5.3.b. Medidas para minimizar y/o ralentizar el deterioro estético

En función de cómo se percibe el aspecto de la superficie de la piedra, los grados de tolerancia o de percepción estética establecidos se pueden relacionar con una actuación de limpieza que se efectuara en base a criterios estéticos (tabla 8.4 y figura 8.10). De este modo, se considera que en la superficie de la piedra percibida clara (grado de tolerancia A) y donde el oscurecimiento es percibido pero sin causar molestia (grado de tolerancia B₁) no es necesario efectuar limpieza alguna. En las zonas donde el oscurecimiento se percibe y empieza a resultar molesto (grado de tolerancia B₂), se recomienda la limpieza de la superficie de la piedra.

El oscurecimiento de la piedra correspondiente a un grado de tolerancia C (deterioro estético) y deterioro estético para el grado de percepción D, señala que una actuación de limpieza resulta necesaria y completamente necesaria en base a criterios estéticos, respectivamente. Superficies con un grado de percepción estética D presentarán posiblemente un importante deterioro físico-químico, efectuándose su limpieza también en base a criterios de daños. Sin embargo, para grados de tolerancia estética B₂ y C, debe establecerse si la piedra presenta un daño material, pues proceder con una limpieza en base únicamente a criterios estéticos no justifica una limpieza.

⁹ Se recuerda que en el modelo propuesto se consideran los valores medios de L^* en las zonas expuestas y protegidas para cada uno de los niveles en las diferentes fachadas y/o cuerpos considerados, si bien atendiendo a las tablas incluidas en el anexo A puntualmente se han medido valores de $L^*_n < 35$.

Tabla 8.4. Correspondencia entre los grados de tolerancia estética establecidos con los valores de L* y ACE%, tiempo que la superficie tarda en alcanzar dicho grado, percepción y actuación de limpieza.

| Grado tolerancia | L* | ACE% | Años | Cómo se percibe la superficie de la piedra | Limpieza (criterio estético) | |
|------------------|--------------------------|-------|-------|--------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------|
| A | 74-68 | 0-12 | 0-3 | Superficie clara | No intervenir | |
| B | B ₁ | 68-65 | 12-20 | 3-5,8 | Se percibe oscurecimiento (sin molestia) | No intervenir |
| | B ₂ Interfase | 65-64 | 20-25 | 5,8-7 | Se percibe oscurecimiento (con molestia) | Recomendable-Necesaria |
| C | 64-55 | 25-43 | 7-12 | Deterioro estético | Necesaria | |
| D | < 55 | >43 | >12 | Deterioro estético intolerable | Completamente necesaria | |

El modelo indica que si, por ejemplo, en el 2006 todas las zonas protegidas de los cuerpos centrales de las fachadas directas analizadas mostraban un ACE% >43%, unos 7 años después de la limpieza de 1986 ya mostraban un grado de tolerancia C, siendo necesaria por tanto su limpieza en base a criterios estéticos. Existe una interfase o rango de valores de L* y/o ACE%, así como su correspondiente intervalo de tiempo, en el que el oscurecimiento de la caliza pasa de provocar cierta molestia a empezar a considerarse propiamente deterioro estético. Según el modelo planteado, este cambio tendría lugar para unos valores de ACE% del 20-25% (interfase B₂) y entre unos 5,8 y 7 años después de la limpieza, pudiendo considerarse para esta interfase tanto recomendable como necesaria una limpieza de la superficie de la piedra en base a criterios estéticos.

Una vez limpia la superficie de la piedra, el modelo planteado permite establecer el periodo de tiempo a partir del cual la percepción de su deterioro estético indicara la necesidad nuevamente de su limpieza así como qué niveles, tanto en sus zonas expuestas como protegidas, deberían limpiarse. De este modo, una vez que alguno de los niveles que en el 2006 presentaban un grado de tolerancia estético C y D alcanzara un valor de L* y/o ACE% que señalara la necesidad de su limpieza, se limpiaran también todos los demás que igualmente presentaban ambos grados de tolerancia. En la tabla 8.5 se recoge cada cuánto tiempo y en cuántos de todos los niveles de cada unas de las fachadas y/o cuerpos considerados sería necesaria una operación de limpieza. En las zonas expuestas de las fachadas indirectas, se observa que muy pocos niveles requerirán una limpieza. Para la mayoría de los niveles a limpiar (con grados de tolerancia C y D en el 2006), una limpieza sería necesaria entre cada 7-10 años, aconsejándose limpiar al menos cada 7-8 años en las fachadas directas así como en las indirectas dirigidas a Raimundo Fernández Villaverde (en zonas expuestas y protegidas) y al menos cada 10 años en las indirectas dirigidas a la calle Alenza, igualmente en ambas zonas.

Tabla 8.5. Limpieza de los niveles con un grado de tolerancia C y D en el 2006 a partir del modelo planteado.

| Fachadas y/o cuerpos considerados | | Zonas expuestas | | Zonas protegidas | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------|---------|------------------|---------|
| | | Intervalo | Niveles | Intervalo | Niveles |
| Directas | Cuerpos centrales | ±7 años | 7/10 | ±7 años | 6/6 |
| | Cuerpos laterales | ±7 años | 9/10 | ±8 años | 9/9 |
| Indirectas | Dirigidas a c/ Rai. Fdez. Villaverde | ±7 años | 2/6 | ±8,5 años | 6/8 |
| | Dirigidas a c/ Alenza | ±10 años | 1/8 | ±10 años | 6/8 |

Este modelo puede trasladarse una vez se realicen nuevas operaciones de limpieza, comenzando la piedra a partir de entonces a ensuciarse a la vez en todos los niveles, zonas y fachadas. Con el tiempo, dejará o seguirá ensuciándose según la fachada en la que se localiza y la posición que ocupa. Ahora bien, aunque sólo se limpiaran las zonas más vulnerables o de mayor riesgo, estos periodos pueden resultar algo inviables, debiéndose comprobar que las superficies a limpiar también presentan un deterioro físico-químico, de modo se actuara siempre en base a criterios estéticos y de daños. Para ralentizar el deterioro estético de la superficie de la piedra, dilatando con ello los intervalos de limpieza, se recomienda valorar la posible aplicación de hidrofugantes, esto es, tratamientos de protección que minimizan la humedad retenida en la superficie de la piedra, ralentizando los procesos de sulfatación y dificultando la retención de partículas (capítulo 10).

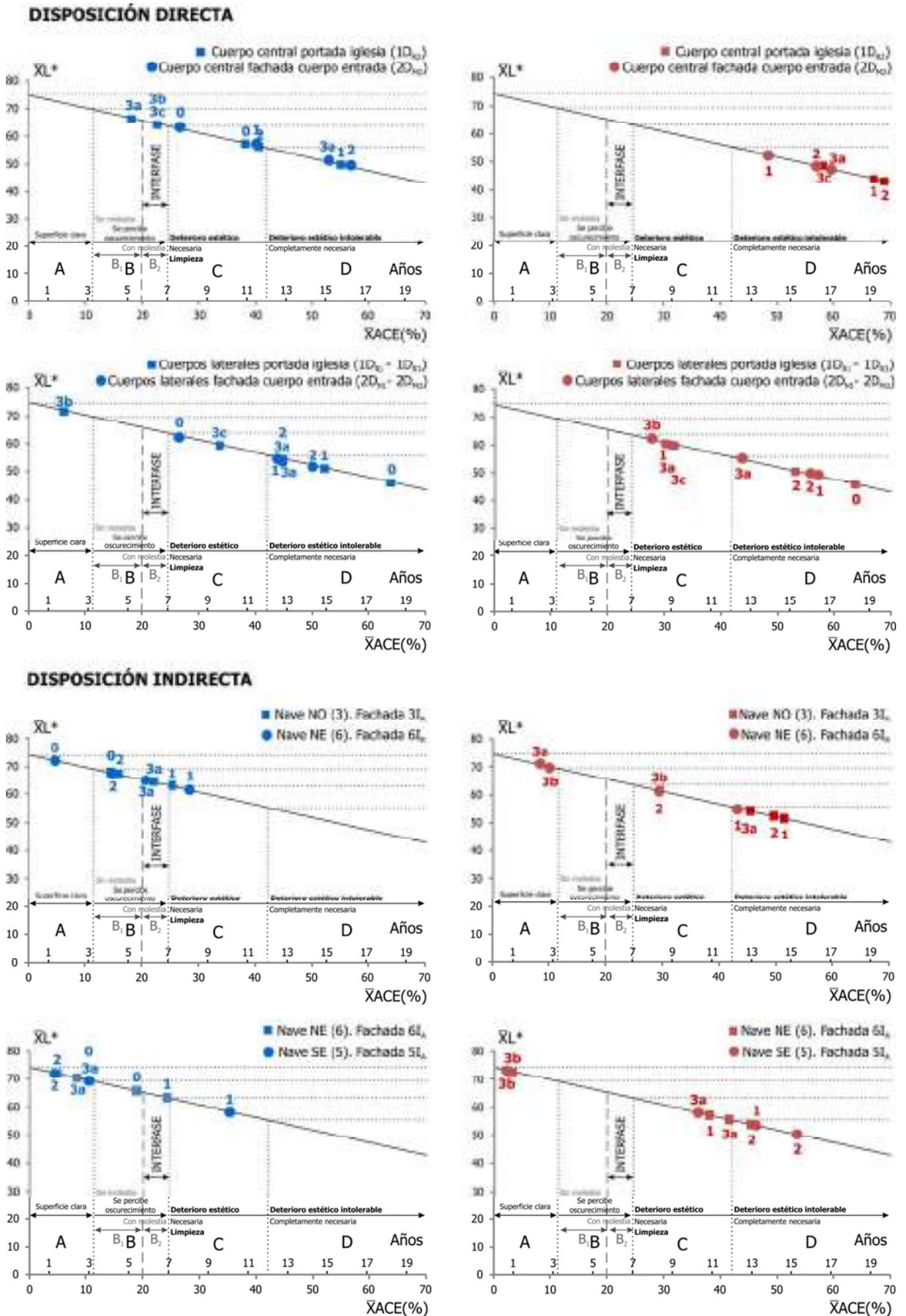


Fig.8.10. Relación por niveles $\bar{X}L^*/\bar{X}ACE\%$ con el tiempo, grados de tolerancia estética y actuaciones de limpieza en base a criterios estéticos.

Zonas expuestas en azul y zonas protegidas en rojo.

Además de la hidrofugación de las superficies deben considerarse las progresivas reducciones en las emisiones de partículas carbonáceas así como la modificación de su tamaño y color (más finas y menos oscuras). Del mismo modo se observaba en el año 2006 respecto al año 1986, tras la limpieza de los paramentos finalizada en el 2008 el ensuciamiento de las fachadas presentará tonalidades más amarillentas, modificándose con ello el descenso de la luminosidad de la caliza y, por tanto, su deterioro estético, redundando igualmente estas reducciones en la ampliación de los periodos de limpieza y en el menor deterioro físico-químico de la caliza.

Puesto que el diseño de las fachadas permanece constante, presumiblemente todos los niveles alcanzarán con el paso del tiempo el mismo grado de tolerancia estética que en el 2006 de acuerdo al modelo planteado. Ahora bien, con las medidas a tomar, como la reducción en la emisión de partículas y/o la hidrofugación de la piedra, además de una modificación en la tonalidad del ensuciamiento hacia tonalidades más pardo-amarillentas, es de esperar que en cada uno de los niveles la piedra alcance su grado de tolerancia correspondiente algo más tarde que según lo indicado por el modelo. Para comprobar la efectividad que supondría hidrofugar la superficie de la piedra, en tanto que ralentizara el deterioro estético de las fachadas al retrasar el tiempo a partir del cual el oscurecimiento de la superficie de la piedra empiece a percibirse como deterioro estético, se recomienda medir anualmente a partir del séptimo año desde 2008 (año 2015) la luminosidad de la piedra en todos los niveles que en el año 2006 mostraban un valor medio de $L^* < 64$, $ACE\% > 25\%$ (grados de tolerancia C y D), siendo de esperar que este valor medio sea alcanzado más tarde y, por tanto, pueda ampliarse el periodo a partir del que la limpieza de la piedra en estos niveles resulte necesaria.

Teniendo en cuenta que el color claro de la caliza participa en la mayor percepción del ensuciamiento de las fachadas, que el inmueble se localiza en un entorno urbano que a pesar de las reducciones en las emisiones seguirá presentando importantes niveles de contaminación y que el diseño de sus paramentos en gran parte favorece la retención de las partículas depositadas, se propone la protección de las fachadas combinando operaciones de limpieza y la aplicación de hidrofugantes, con la intención de minimizar y/o dilatar estas actuaciones de conservación, tanto para reducir costes como el posible impacto negativo que pudieran generar en la superficie de la piedra. Esto es, tras la limpieza de la piedra, se apuesta por el mantenimiento preventivo de las fachadas, tratando de dilatar en la medida de lo posible el tiempo a partir del cual las superficies alcancen un deterioro estético y, con ello, ralentizando el deterioro físico-químico de la caliza, aunque su oscurecimiento sea percibido e incluso pueda resultar molesto y estéticamente fuera recomendable su limpieza.

Entonces, conocido el nuevo intervalo de tiempo a partir del cual en algunos de los niveles que en el 2006 presentaban un grado de tolerancia C y D se mida un valor de luminosidad inferior a 64 ($ACE\% > 25\%$), para el mantenimiento preventivo de las fachadas se aconseja intervenir al menos cada ese nuevo periodo de años. En esta intervención, se considera que no sería necesario aplicar hidrofugantes ni efectuar operaciones de limpieza en todos los niveles donde en el 2006 la piedra mostraba un grado de tolerancia A, pues teniendo en cuenta las condiciones medioambientales a las que había estado expuesta durante 20 años (capítulo 7), por mucho tiempo que pase presumiblemente estos niveles no se ensucien mucho más.

Se recomienda hidrofugar de nuevo las zonas que en el 2006 mostraban un grado de tolerancia B y C, pues la capacidad de los hidrofugantes se pierde con el paso del tiempo, siendo deseable que con su aplicación se minimizara la percepción de un oscurecimiento que resulte molesto ($ACE\%$ entre 20-25%). Además, una limpieza será necesaria en todos aquellos niveles que en el 2006 mostraban un grado C y D. Debe tenerse en cuenta que los hidrofugantes pueden favorecer la retención de las partículas depositadas, llegando a ensuciarse más las superficies que han sido hidrofugadas (Fort et al. 2002), y que pueden resultar permeables a los gases (Simionescu et al. 2011), por lo que es esencial su evaluación previa, de modo se aplique el producto adecuado.

Pasado de nuevo este intervalo de tiempo, se aconseja repetir estas actuaciones en las mismas zonas y así sucesivamente. Mediante la realización de estas actuaciones periódicas en las zonas indicadas se reduciría considerablemente la cantidad de superficie pétreo a limpiar y/o hidrofugar. De este modo, a partir del modelo planteado, en la figura 8.11 se observa que, por ejemplo, atendiendo a todas las fachadas sólo en un 52,8% de las zonas expuestas habría que limpiar la piedra o en un 29% de las protegidas se aconsejaría aplicar hidrofugantes. Considerando sólo a las fachadas directas, por ejemplo, habría que efectuar operaciones de limpieza en base a criterios estéticos en un 80% de las zonas expuestas y en la totalidad de las protegidas.

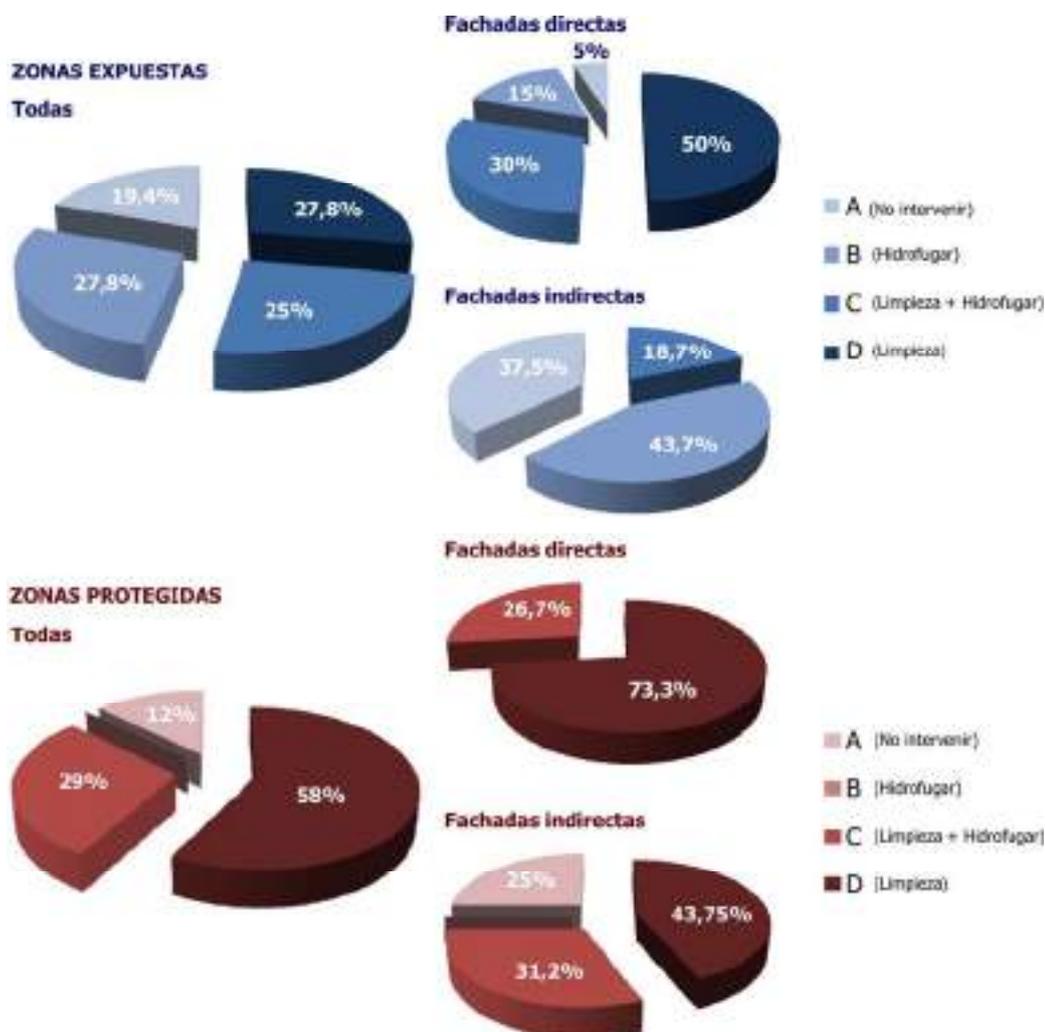


Fig.8.11. Intervención en base a criterios estéticos para el mantenimiento preventivo de las fachadas.

Porcentaje de niveles donde se recomienda la hidrofugación de la superficie de la piedra y/o resulta necesaria su limpieza, según el grado de tolerancia que la piedra presente periódicamente. A la izquierda se representan la totalidad de los niveles, en zonas expuestas y protegidas, y a la derecha separando además según la disposición de las fachadas.

Se recomienda además medir anualmente la luminosidad e instalar captadores de la concentración de contaminantes atmosféricos (principalmente de SO₂ y MP) en las zonas que en el 2006 la piedra mostraba un nivel de tolerancia estética C y D. Esta monitorización permitirá, por ejemplo, comparar la evolución de la contaminación ambiental en el entorno del Antiguo Hospital entre 1986-2006 y 2008-2028 o el grado de deterioro estético percibido en el 2006 y en el 2028. Además, se podrá determinar la efectividad de las medidas tomadas en aras de minimizar el ensuciamiento de las fachadas, siendo deseable que gracias en gran parte a la reducción en las emisiones de contaminantes y a los tratamientos de protección aplicados fueran menos las zonas y/o niveles que en el 2015 (7 años después de 2008) mostraran un grado de tolerancia estética C y, por tanto, en menos zonas fuera necesaria la limpieza de la piedra en base a criterios estéticos.

8.6. CONCLUSIONES

8.6.1. Influencia de los factores de diseño en los patrones de color

- El estudio realizado se considera novedoso en cuanto a la cuantificación de los patrones de color en fachadas localizadas en ambientes urbanos con importantes niveles de contaminación y construidas con calizas de tonos claros, pudiéndose trasladar a fachadas de inmuebles patrimoniales con similar problemática.
- El estudio refleja la importancia de los factores de diseño en tanto que, principalmente, bien permiten la progresiva acumulación de las partículas depositadas, bien favorecen su eliminación por la acción de la lluvia y/o del viento. Una disposición directa, una menor altura y una localización protegida favorecen los procesos de ensuciamiento, siendo en estas zonas la piedra más vulnerable al deterioro estético.
- La disposición de las fachadas supone el factor de diseño que en mayor medida condiciona la distribución de color, resultando considerablemente más elevado el ensuciamiento de las fachadas con disposición directa. En las zonas expuestas es donde más se acusa la disposición y a partir de cierta altura este factor deja de favorecer de forma tan determinante el ensuciamiento. La disposición influye también en la mayor o menor variabilidad de los patrones de color. Para una disposición directa, las zonas expuestas resultan casi tan sucias como las protegidas, y la disposición indirecta favorece el ensuciamiento diferencial de las fachadas.
- Una mayor superficie expuesta posibilita que los patrones de color sean más homogéneos, condicionando la disposición de la fachada la tonalidad dominante. El ensuciamiento de la superficie de la piedra resulta en general más homogéneo en las zonas protegidas que en las expuestas. De este modo, para establecer comparativas de la distribución de color entre las diferentes fachadas resulta más apropiado atender a las zonas expuestas, pues la percepción de los patrones de color observados está principalmente condicionada por el diferente grado de ensuciamiento que presentan estas zonas.
- La altura, además de resultar una variable de diseño que en general dificulta el ensuciamiento de las superficies, supone un factor que otorga una heterogeneidad añadida a los patrones de color. Así, en la portada de la iglesia, con mayor altura, la distribución de color queda marcada además por un eje horizontal, por encima del cual predominan las "zonas blancas".
- La diferencia entre los valores de los parámetros considerados, tanto los medidos *in situ* como los calculados, condicionan la percepción del deterioro estético de las fachadas, de modo que cuanto más dispares resulten estos valores en los niveles y/o zonas para una misma fachada en mayor medida es percibido el ensuciamiento que presentan. El malestar del ensuciamiento se incrementa cuanto más contrastes se generen en el conjunto de las fachadas, pudiendo no existir percepción del ensuciamiento si todo se ensucia por igual, pues no hay patrón de comparación. En este sentido, las "zonas blancas" participan en el deterioro estético de los paramentos, en tanto que son parte esencial de los patrones de color heterogéneos.
- A tenor de la similar distribución de color en los paramentos antes de la intervención de los años 80 y en el 2006 (capítulo 7), es de esperar que se repitan unos patrones de color parecidos, con la correspondiente modificación en la tonalidad del ensuciamiento, pues las variables de diseño se mantendrán constantes.
- El estudio realizado permite además establecer qué aspectos deben evitarse y/o favorecerse a la hora de construir edificios con materiales claros de composición carbonática en zonas urbanas con importantes niveles de contaminación, para minimizar el ensuciamiento de sus fachadas. Por un lado se deben evitar fachadas dirigidas en paralelo a la dirección de circulación del tráfico, orientando las fachadas teniendo en cuenta el sentido de circulación así como la dirección de los vientos dominantes en la medida de lo posible.

- Por otro, prescindir de diseños en los que superficies con disposición directa queden retranqueadas, pues suponen una caja contenedora en la que resulta difícil la eliminación de los contaminantes. Para minimizar el lavado diferencial, debe reducirse el empleo de sucesivos planos de avance así como evitar elementos en voladizo constituidos por piezas de pequeño tamaño que favorecen la existencia de numerosas juntas por donde percolará el agua de lluvia. En la medida de lo posible igualmente, debe apostarse por diseños en los que predominen disposiciones indirectas, de las fachadas en su totalidad o parcialmente, y que alejen las fachadas de los focos de emisión de contaminantes así como protegerlas con un muro u otros elementos. También, deben favorecerse paramentos que presenten una superficie exenta de vanos en un mismo plano.
- Deben evitarse dos aspectos que no han sido abordados en este capítulo pero cuya existencia favorece de forma importante el ensuciamiento de los paramentos. Por un lado, las juntas rehundidas empleadas principalmente en el nivel basamento para unir piezas pétreas, que introducen superficies horizontales y zonas protegidas, recomendándose efectuar alguna de las medidas de protección indicadas. Por otro, los gruesos morteros de junta existentes en la totalidad de las fachadas hasta el año 2006, que contribuían de forma significativa al deterioro estético, retirándose en la intervención acometida entre 2006-2008.
- El estudio permite extrapolar los resultados al deterioro estético del muro perimetral. De este modo, el elevado grado de ensuciamiento que mostraba su zona retranqueada se corresponde con un grado de tolerancia estética D ($L^* < 55$), resultando en la práctica totalidad de la hoja externa del muro los patrones de color muy contrastados pues otras muchas zonas presentan un grado A, superando posiblemente el valor $L^*_0 = 74$ debido principalmente al lavado que experimentan sus superficies (figura 3.8).

8.6.2. Ensuciamiento de las fachadas con el tiempo y el mantenimiento preventivo

- El modelo planteado simula la evolución del ensuciamiento de la caliza durante los años 1986 y 2006, dadas las condiciones medioambientales analizadas en el capítulo 7, estableciéndose aproximadamente desde cuándo las zonas expuestas y protegidas para cada uno de los niveles mostraban el aspecto observado en el año 2006. Este aspecto se corresponde con un grado de tolerancia estética en la superficie de la piedra, que se mantiene en el tiempo una vez que es alcanzado y que señala la necesidad o no de su limpieza en base a criterios estéticos, resultando la separación entre las zonas donde una limpieza resulta o no necesaria en unos valores de $L^* \approx 64$ y $ACE\% \approx 25\%$.
- Los valores representados más a la izquierda de la recta corresponden a zonas que dificultan la deposición de las partículas y/o en donde tiene lugar su eliminación sucesivamente, mientras que los representados más a la derecha a zonas donde permanecen retenidas, presentando la superficie de la caliza mayor riesgo a su deterioro estético e implicando posiblemente un deterioro físico-químico, con la formación de costras negras.
- Los factores de diseño, y también las calles a las que están dirigidas las fachadas, influyen decisivamente en el momento que en los diferentes niveles, en sus zonas expuestas y en las protegidas, el oscurecimiento de la superficie de la piedra dejó de aumentar. El modelo señala que, a pesar del importante deterioro estético que mostraba el inmueble en el 2006, tras 20 años de exposición a las condiciones medioambientales analizadas en el capítulo 7 la luminosidad de la superficie de la piedra no había descendido hasta el punto de que su progresivo ensuciamiento dejara de ser percibido ($L^* \approx 35$), si bien era especialmente bajo ($L^* \approx 32$) en muy puntualmente en las fachadas con disposición directa (anexo A).
- Tras la limpieza de la piedra, el modelo señala entre cada 7 y 10 años como el tiempo a partir del que una nueva limpieza en base a criterios estéticos resulta necesaria, indicando además los niveles que deberían limpiarse debido al deterioro estético que presentarían (debiéndose comprobar previamente que implica un

daño material). Puesto que el diseño de las fachadas permanece constante, presumiblemente todos los niveles alcanzarán el grado de tolerancia estética mostrado de acuerdo al modelo planteado, procurando con la aplicación de hidrofugantes en algunos niveles dilatar las operaciones de limpieza.

- Una vez determinado el nuevo intervalo de tiempo a partir del cual resulte necesaria la limpieza en determinados niveles, se aconseja efectuar actuaciones de conservación periódicamente en las fachadas. Estas actuaciones de protección incluyen la hidrofugación y/o limpieza de la superficie de la piedra cada este nuevo periodo de tiempo en los niveles establecidos a partir del modelo. Debe tenerse en cuenta que también las progresivas reducciones en la emisión de ciertos contaminantes favorecerán dilatar estas intervenciones de protección, debiéndose considerar a la hora de estimar dicho intervalo de tiempo.
- Así, se reduciría de forma importante la superficie pétreo a limpiar y/o hidrofugar, pudiéndose actuar de forma más puntual y, por ejemplo, mediante trabajos verticales. Esto reducirá costes y el posible impacto negativo que estas actuaciones generan en la superficie de la piedra, apuntando igualmente hacia la adecuada gestión del inmueble.
- Por tanto, además la sustitución del paso elevado por el subterráneo actual en el entorno próximo del Antiguos Hospital así como de las convenientes reducciones y/o modificaciones en las emisiones de contaminantes que favorecen el ensuciamiento de fachadas, para minimizar su deterioro estético así como para su mantenimiento preventivo, las actuaciones de conservación (limpieza e hidrofugación) deben prestar especial atención al diseño de los paramentos.
- El modelo propuesto posibilita monitorizar el ensuciamiento en tanto que permite conocer las zonas donde resultaría más necesario intervenir para ralentizar el deterioro estético y, con ello, también el deterioro físico-químico que implicara, así como más adecuada la medida de la luminosidad y/o la colocación de captadores de la concentración de contaminantes atmosféricos, suponiendo una apuesta por el mantenimiento preventivo de las fachadas.
- Por tanto, tras la limpieza de la piedra se apuesta por el mantenimiento preventivo de las fachadas, actuando conforme a criterios de protección y mínima intervención, tratando de evitar que el deterioro estético genere daños físico-químicos en el soporte pétreo.
- De este modo, se podrá establecer para la superficie de la caliza estudiada a partir de qué valor de luminosidad (medida *in situ*) su oscurecimiento es percibido, empieza a resultar molesto y/o estéticamente es recomendable su limpieza. También, conocer dónde resulta más recomendable medir la luminosidad o colocar captadores de la concentración de contaminantes atmosféricos. Igualmente, tras una limpieza se podrá extrapolar (en tanto que presumiblemente las condiciones medioambientales irán variando) cuándo se producirán estas variaciones, estableciéndose cuándo y dónde son recomendables operaciones de limpieza y/o protección.
- El modelo planteado supone una apuesta por la monitorización del ensuciamiento de los paramentos y, con ello, establecer las medidas de protección más adecuadas para ralentizar en la medida de lo posible los procesos de deterioro en la superficie de la caliza.

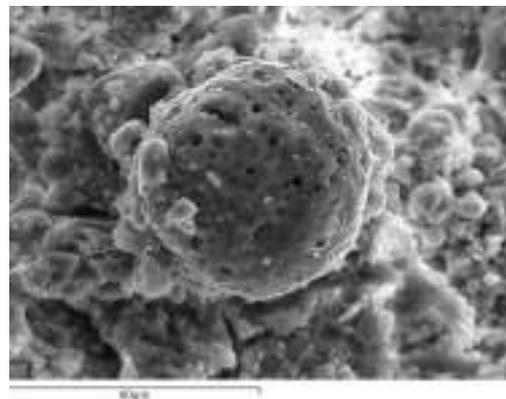
CAPÍTULO 9. DETERIORO FÍSICO-QUÍMICO DE LA CALIZA Y MORTEROS DE FÁBRICA EN LOS PARAMENTOS DEL ANTIGUO HOSPITAL

Analizados los principales factores medioambientales y de diseño que intervienen en los patrones de color que presentaban los paramentos del Antiguo Hospital en el año 2006 y provocaban su deterioro estético, se aborda el estudio del daño material que presentan las superficies de la caliza y de los morteros de fábrica. Para ello, mediante las técnicas MOP, DRX, MEB-EDS (en modo ES o ER) y/o Cromatografía Iónica se caracteriza el deterioro físico-químico de ambos materiales, se estudia la superficie de la caliza según el grado de tolerancia estética que presenta y se analizan los depósitos acumulados en la superficie de la caliza.

Las superficies de la caliza y morteros de fábrica con un importante grado de ensuciamiento presentan la formación de costras negras de sulfatación, mostrando además los morteros localizados en zonas elevadas el desarrollo de biofilms o películas microbianas. La distribución de color de los paramentos se corresponde con los procesos de deterioro que tienen lugar en la superficie de la caliza, que resultan más o menos intensos según la altura considerada y el grado de protección de las superficies, estableciéndose un valor de luminosidad por debajo del cual el deterioro estético implica un daño material en la superficie de la caliza. La presencia de materia particulada, constituida principalmente por aluminio, silicio y hierro, es la principal causa responsable del ensuciamiento de las superficies, suponiendo además un importante aporte de yeso y de otros productos de alteración. Los materiales de construcción y las propias costras de sulfatación, el aerosol atmosférico y la contaminación antrópica, especialmente el tráfico y las calderas domésticas, son las principales fuentes de emisión de los depósitos responsables del ensuciamiento de la caliza.

Con vistas igualmente a la restauración integral de los paramentos efectuada entre 2006-2008, se consideraba necesario establecer en qué medida su impacto visual negativo implicaba el deterioro físico-químico de sus materiales, de modo que las intervenciones a realizar se efectuaran en base a criterios estéticos y de daños. Las costras negras desarrolladas sobre la caliza y morteros de fábrica, además de contribuir al oscurecimiento de los paramentos, son fuente de azufre y atrapan materia particulada, generando un daño material en las superficies y considerándose por tanto su eliminación necesaria en base a sendos criterios.

Apostando por la conservación de los paramentos y reducir su deterioro, para la caliza se considera que una operación de limpieza resultaría la intervención más adecuada y se estima necesaria la retirada de los morteros de fábrica, especialmente los empleados en la hoja externa del muro y en las zonas elevadas de las fachadas.



Descamación de la caliza relacionada con el desarrollo de costras negras en su superficie e intenso grado de oscurecimiento del mortero de fábrica en el muro perimetral (izda.) y partícula esférica carbonosa de aspecto esponjoso, responsable del ensuciamiento de superficies (dcha).

9.1. INTRODUCCIÓN

9.1.1. Deterioro físico-químico de materiales en áreas contaminadas: costras negras y biofilms

En ambientes con elevados niveles de contaminación atmosférica los materiales de composición carbonática se ven especialmente afectados por procesos de sulfatación, con el desarrollo de costras de sulfatación que generalmente van progresivamente oscureciéndose debido a la acumulación de materia particulada, constituyendo las denominadas costras negras (Winkler 1966, Del Monte et al. 1981, Sabbioni et al. 2001, Bonazza et al. 2005, Cultrone et al. 2008). Estas costras, producto de una transformación superficial y formadas a partir de la interacción material-humedad-contaminantes, constituyen una capa de material coherente cuya naturaleza físico-química es parcial o totalmente distinta a la del soporte sobre el que se desarrollan (Ordaz y Esbert 1988). Suelen presentar una tonalidad oscura, pues la rugosidad de estas costras favorece la retención de los depósitos superficiales responsables del ensuciamiento. Las costras negras se desarrollan en capas y pueden alcanzar varios milímetros de espesor, presentando normalmente una zona interna, en contacto con el soporte y constituida por morfologías cristalinas con un importante desarrollo, y otra externa con menor grado de cristalización en la se deposita la materia particulada (Pérez-Monserrat et al. 2011).

El yeso autigénico o de neoformación¹ es la principal fase mineral constituyente de estas costras negras; puesto que el yeso es mucho más soluble que la calcita (casi 100 veces más) y a su vez ocupa más volumen, la sulfatación de las superficies suele implicar la aparición de otras formas de deterioro, favorecidas por los frecuentes cambios de volumen que experimentan las sales debido a contrastes climáticos. Principalmente, pérdida de material por disolución (Reddy et al. 1986) y la formación de ampollas, descamados y desplazados (Pérez-Bernal y Bello 2003), resultando los procesos de disgregación especialmente significativos en los morteros (Sabbioni et al. 1998). La reactividad de los morteros al SO₂ es mayor que para la caliza (Zappia et al. 1994), pues por su porosidad y rugosidad facilitan la retención de partículas y de humedad, favoreciendo la sulfatación (Grossi et al. 1998). Además, en los morteros de cal, los carbonatos reaccionan con el SO₂ para formar yeso; en los de cemento, los carbonatos y las otras fases minerales presentes en el ligante participan también de los procesos de sulfatación (Sabbioni et al. 2001).

Esbert et al. (2001) indican que el yeso puede formarse por reacción entre la materia particulada y el soporte o entre las partículas sin la participación del sustrato. Además de su directa implicación en los procesos de ensuciamiento de las superficies, que resultan apreciables desde los primeros meses de exposición de un material a un ambiente contaminado (Grossi et al. 1998), las partículas tiene una fuerte incidencia en el deterioro de calizas y morteros (Sabbioni y Zappia 1992, Cultrone et al. 2008), pues absorben el SO₂ atmosférico y favorecen su oxidación a sulfato (Novakok et al. 1974). Esta reacción se ve intensificada por la presencia de NO₂ y O₃ (Johansson et al. 1988, Haneef et al. 1992), por catalizadores como las partículas carbonáceas (Fassina 1992, Cultrone et al. 2008) y por la elevada humedad relativa (Tartarelli et al. 1978, Spiker et al. 1992). Los elementos metálicos que suelen formar parte de las partículas carbonáceas (Fe, Mn, Cu, Zn, V, Cr, Ni, Pb, Mn) actúan también como catalizadores en la reacción de oxidación del SO₂ (Yocom 1979, Urone et al. 1968, Cheng et al. 1987). Igualmente, debido a su elevada superficie específica actúan como catalizadores en la transformación de SO₂ a ácido sulfúrico (Sabbioni 1992). Sin embargo, Hutchinson et al. (1992) establecen que no aceleran necesariamente la formación de yeso, pues su efecto en las reacciones de sulfatación es mínimo, y Sabbioni et al. (1996) señalan que estas partículas otorgan cierto grado de protección al cubrir las superficies, si bien en el interior los procesos de deterioro siguen actuando (Winkler 1994).

¹ Autigénico (o neoformado): dícese del mineral que se ha originado en una roca ya formada.

La materia particulada presenta muy diversa naturaleza, siendo principalmente de composición metálica, carbonosa o sulfurada y con diferente cantidad de elementos sólidos (Ca, Si, Al, Na, Fe, Mg, Pb, Ni, Cu, Zn, V o Mn). Las emisiones procedentes de los motores diesel y de gasolina están principalmente constituidas por partículas carbonáceas ricas en azufre y en elementos metálicos, resultando muy significativo el contenido en hierro y azufre en las primeras (Lanting 1986, Rodríguez-Navarro y Sebastián 1996) y predominando las partículas ricas en bromo y plomo en las de gasolina (Fisher et al. 1976, Hildeman et al. 1991, Díaz-Pache et al. 1996), cuya concentración de azufre ha disminuido en las últimas décadas. Los motores diesel suponen importantes generadores de hollín, materia carbonosa principal responsable del ensuciamiento de fachadas (Grossi y Brimblecombe 2002) y rica en elementos metálicos (Fe, Mn, V y Cu), que actúan como catalizadores en la reacción de oxidación del SO₂ a sulfato (Sabbioni 1992, Sáiz-Jiménez 1992, Cultrone et al. 2008), sobre todo si son ricas en hierro (Grossi y Brimblecombe 2002). El tamaño de las partículas oscila entre 0,001 - 100 µm; las inferiores a 10 µm se originan sobre todo en la combustión de hidrocarburos e incluyen el hollín y las de mayor tamaño (>10 µm) están principalmente originadas por procesos industriales y por el tráfico rodado. Las comprendidas entre 0,1-10 µm son las que más afectan al deterioro físico-químico de los materiales pétreos (Winkler 1994), especialmente las inferiores a 0,3 µm por su elevada superficie específica (Grossi et al. 1998).

Los materiales especialmente porosos, como los morteros de fábrica, presentan además una elevada biorreceptividad, en tanto que su textura y composición facilitan el crecimiento de colonias microbianas litobióticas, especialmente en zonas horizontales pues favorecen la retención de humedad (Guillitte 1995, Sáiz-Jiménez y Ariño 1995, Lisci et al. 2003, De los Ríos et al. 2009), constituyendo películas microbianas o biofilms. Estas películas ejercen una acción física en los morteros, provocando su disgregación (Ortega-Calvo et al. 1991), y química, acelerando su disolución (Ariño y Sáiz-Jiménez 1996). Las comunidades litobióticas engloban gran variedad de microorganismos (bacterias, cianobacterias, algas y hongos de vida libre) y otros organismos más complejos (líquenes, musgos y plantas superiores). Estas colonias microbianas son responsables de los procesos físicos y químicos que originan el biodeterioro² de los materiales, jugando la interfase organismo-sustrato un papel fundamental (Bech-Andersen 1983, Ascaso et al. 2002, De los Ríos et al. 2004, De los Ríos y Ascaso 2005), aunque también les otorgan cierta protección (Ariño et al. 1995, Chen et al. 2000).

Los líquenes, asociaciones simbióticas entre un hongo (micobionte) y un alga y/o cianobacteria (fotobionte), son los organismos colonizadores por excelencia y suponen un agente muy agresivo en el biodeterioro de materiales (Lisci et al. 2003). Aunque en áreas contaminadas no suelen desarrollarse, la deposición de contaminantes favorece la colonización liquénica (Zanardini et al. 2000). Los hongos, que ejercen acciones físicas muy intensas, presentan ventajas ecológicas favorables pues toleran la ausencia de agua y pueden prosperar con un escaso aporte de nutrientes (Hirsch et al. 1995), adaptándose a las variaciones medioambientales (Dornieden et al. 2000). Estas comunidades otorgan la coloración al biofilm, que si bien puede realzar la belleza de las fachadas normalmente contribuye de forma significativa a su deterioro estético (Viles y Gorbushina 2003, De los Ríos et al. 2009, Pérez-Monserrat et al. 2013), mostrando las películas microbianas desarrolladas en áreas urbanas un aspecto similar al de las costras negras (Arnold y Zehnder 1990) y atrapando partículas a su vez (Sáiz-Jiménez y Ariño 1995). En décadas recientes, el descenso en la concentración de SO₂ y el aumento de compuestos orgánicos y de nitrógeno han incrementado la actividad biológica en las fachadas. Los compuestos actuales, ricos en materia orgánica, representan un potencial para la actividad biológica y la oxidación a largo plazo. En el futuro, los nuevos patrones de color se verán favorecidos por la diferente actividad biológica, resultante del cambio climático y de los diferentes tipos de contaminantes (Grossi y Brimblecombe 2008).

² El término biodeterio incluye los procesos de alteración originados a partir de la actividad biológica en los materiales (De los Ríos et al. 2009).

9.1.2. Ensuciamiento y otras formas de deterioro en la caliza y morteros de fábrica del Antiguo Hospital (2006)

Como se indicaba en el capítulo anterior, en los patrones de color que mostraban los paramentos en el año 2006 la caliza presentaba diferentes grados de oscurecimiento, correspondientes a diversas tonalidades marrones que alcanzaban una tonalidad muy oscura en determinadas zonas de las fachadas y de forma generalizada en el muro perimetral (grados de tolerancia estética C y D, figuras 9.1.b - 9.1.d). En zonas donde la piedra mostraba un intenso grado de blanqueamiento, generalmente en zonas elevadas y/o especialmente expuestas bien a la acción del agua de lluvia o viento bien a las emisiones del tráfico rodado, los elementos pétreos mostraban buen estado de conservación, presentando en ocasiones cierto suavizado de su acabado rugoso (figuras 9.1.f y 9.1.g), acompañado por una ligera disgregación y/o descamación superficial. Este suavizado resultaba significativo en elementos localizados junto a superficies horizontales, al verse afectados por el golpeteo del agua.

El oscurecimiento de los morteros de fábrica participaba también en el deterioro estético de los paramentos, de forma especialmente significativa en el muro (figuras 9.1.c y 9.1.d). Además de la porosidad y rugosidad propias de este tipo de material, también la forma en la que originariamente fue aplicado³ permitía la existencia de una importante superficie favorable para la retención de la humedad y la deposición de partículas. Mostraban además el intenso desarrollo de biofilms, especialmente en las zonas con orientación Norte, Oeste y Noroeste de los subniveles cornisa (3a) y balaustrada (3b), tanto en las fachadas como en el muro (figuras 9.1.e y 9.1.f).

Por la función contenedora de tierras que desempeña el muro perimetral, en algunos paños la humedad rezumaba por las juntas e incluso a través de la superficie de la piedra, aspecto que contribuía notablemente a su ensuciamiento y a la formación puntual de verdín (figura 9.1.g). También los morteros de junta del trasdós del muro presentaban biofilms (figura 3.10.c), debido a la percolación del agua de lluvia en su interior.

A pesar de los diversos grados de ensuciamiento que mostraba la caliza, su superficie presentaba en general buen estado de conservación y un elevado grado de cohesión. Ahora bien, en algunas zonas con intenso grado de oscurecimiento, especialmente en el muro perimetral, se observaba la formación de descamados y ampollas (figura 9.1.h). Otras formas de deterioro, principalmente relacionadas con los caracteres texturales y composicionales de las diversas variedades pétreas empleadas en la construcción de los paramentos, algunos relativos a improntas de karstificación (capítulo 4), eran disgregación superficial, formación de desplazados, fisuraciones y erosión diferencial (figuras 9.1.i - 9.1.j), implicando una ligera pérdida de material. Estas formas de alteración se observaban principalmente en los subniveles cornisa (3a) y balaustrada (3b) y en el muro perimetral, donde se emplearon las variedades pétreas texturalmente más heterogéneas y con mayor contenido arcilloso, además de estar muy expuestas a los agentes de deterioro.

También en la superficie de los elementos pétreos se observaba el crecimiento de musgo, sobre todo en zonas elevadas orientadas al Norte, Oeste y Noroeste, tanto en superficies verticales como horizontales, aprovechando para su sujeción las fisuras y el acabado rugoso superficial de la piedra (figura 9.1.k). Además del intenso ensuciamiento y desarrollo de biofilms, los morteros de junta mostraban disgregaciones y la formación de eflorescencias salinas (figuras 9.1.l y 9.1.m), especialmente en los paños del muro que rezumaban humedad, llegando a desprenderse y quedando las gruesas juntas muy expuestas a la entrada de los agentes de deterioro.

³ Mediante llagas muy rehundidas y amplios rebordes que cubren parcialmente la superficie de los elementos pétreos, aplicado de forma irregular en las fachadas (figura 3.16.a) y siguiendo un perfecto trazado ortogonal en el muro (figura 6.3.e). Se recuerda que, en las fachadas, esta aplicación se corresponde con la original ideada por Palacios, mientras que los morteros que sellaban las juntas en las balaustradas (sin llagas rehundidas) así como los existentes hasta el año 2008 en la hoja externa del muro fueron aplicados posteriormente, con una técnica distinta a la original. En las figuras 2.4.c y 2.5.c puede observarse que en los primeros años del Antiguo Hospital la distribución de color en los paramentos era homogénea, dominando las "zonas blancas", y que el rejuntado ya marcaba el despiece de los paramentos tanto en fachadas como en el muro.



Fig.9.1. Principales formas de deterioro observadas en la caliza y morteros de fábrica en los paramentos del Antiguo Hospital (año 2006).

9.2. OBJETIVOS

Son tres los objetivos planteados en el presente capítulo; estudiar el deterioro físico-químico de la caliza y establecer su comparativa con el estético, analizar los principales depósitos acumulados en la superficie de la caliza⁴ así como establecer su posible procedencia y caracterizar el deterioro físico-químico de los morteros de junta. Los objetivos perseguidos y las técnicas empleadas se sintetizan en el esquema inferior.

9.2.1. Deterioro físico-químico de la caliza y su comparativa con el deterioro estético

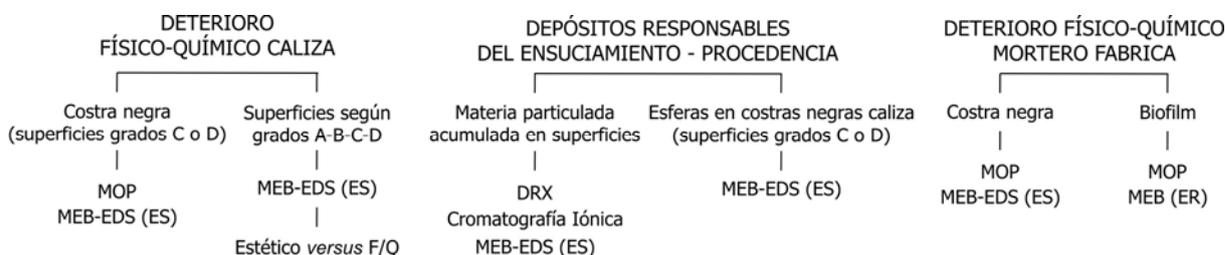
- Caracterización de las costras negras desarrolladas en superficies pétreas que mostraban grados de tolerancia estética C o D mediante MOP y MEB-EDS, observando también a la interfase costra-piedra.
- Análisis mediante MEB-EDS de la superficie de la caliza según los grados de tolerancia estética, estableciendo la comparativa entre el deterioro físico-químico de las superficies analizadas y el estético.

9.2.2. Principales depósitos superficiales y su procedencia

- Caracterización de la materia particulada acumulada en superficies pétreas horizontales de los paramentos mediante DRX, Cromatografía Iónica y MEB-EDS.
- Caracterización con MEB-EDS de las partículas esféricas, o cuya morfología presenta una tendencia esférica, atrapadas en costras negras desarrolladas sobre superficies pétreas con grados C o D principalmente.

9.2.3. Deterioro físico-químico de los morteros de fábrica

- Caracterización mediante MOP y MEB-EDS de las costras negras desarrolladas sobre morteros que mostraban diverso grado de oscurecimiento, atendiendo igualmente a la interacción costra-mortero.
- Estudio mediante MEB (ER) del biofilm desarrollado sobre el mortero así como a su interfase con el mismo.



Analizado el deterioro estético de los paramentos (capítulo 8), previamente a la intervención de limpieza efectuada entre 2006-2008, resultaba esencial conocer el deterioro físico-químico que mostraba la superficie de la caliza, de modo que su limpieza se efectuara en base a criterios estéticos y de daños. En la medida que los procesos de sulfatación no siempre implican la formación de costras negras, que la acumulación de materia particulada no provoca necesariamente un daño material en la caliza y que en los paramentos del Antiguo Hospital en la superficie de la caliza también tienen lugar procesos de disolución y carbonatación, resultaba igualmente importante establecer en qué medida y dónde el deterioro estético que mostraban los paramentos en el año 2006 implicaba un daño material en la superficie de la piedra. Por otro lado, y con vistas también a la restauración integral de las fachadas acometida en 2006-2008, resultaba necesario conocer el daño material que mostraba la superficie de los morteros de junta, de modo se decidiera cómo proceder igualmente en base a criterios estéticos y de daños.

⁴ El estudio de los depósitos superficiales se aborda analizando separadamente la materia particulada y las partículas esféricas embebidas en la costra negra desarrollada sobre la piedra, tomando para ello diferentes tipologías de muestra, muestras MP (polvo) y muestras SP (fragmentos y descamados superficiales) respectivamente.

9.3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

9.3.1. Toma de muestras

El muestreo se realiza en base a los objetivos planteados, estableciéndose para ello seis grupos de muestras (tabla 9.1 y figura 9.2). Para la estudio de la costra negra sobre caliza (CN_C) se han tomado 2 muestras, para la caracterización de la superficie de la caliza según los grados de tolerancia estética y su comparativa con el deterioro estético (NIV) se han tomado 20 muestras, de la materia particulada (MP) se han tomado 2 muestras, para la caracterización de las esferas atrapadas en la costra negra desarrollada sobre la caliza (SP) se han tomado 12 muestras, para el estudio de la costra negra sobre el mortero de fábrica (CN_M) se han tomado 2 muestras y para la caracterización del biofilm desarrollado sobre el mortero de junta (BIO) se ha considerado 1 muestra. En las muestras CN_C se ha medido la luminosidad de las superficies muestreadas, considerándose para las muestras NIV y SP los valores mostrados en la tabla 8.2. A la hora de tomar las muestras CN_C, NIV y SP, se ha procurado muestrear la variedad pétreo más ampliamente representada en la totalidad de los paramentos (variedad crema-homogénea, capítulo 4). Además, las muestras NIV se han tomado de modo su aspecto visual concuerde con el valor medio de luminosidad resultante en su nivel correspondiente.

- muestras CN_C: se han tomado fragmentos superficiales de caliza en el plano principal, en zonas que mostraban un grado de tolerancia estética C (tonalidad marrón) o D (intensa tonalidad oscura), en fachadas y muro respectivamente, pues en estas zonas el aspecto que mostraban las superficies muestreadas (figura 9.2) señalaba el desarrollo de costras negras sobre la caliza.
- muestras NIV: pequeños fragmentos y/o descamados superficiales de caliza de los niveles establecidos en la vertical en la portada de la iglesia, tanto en zonas expuestas como protegidas. Se ha seleccionado esta fachada por su importancia en el conjunto del inmueble, porque en la misma quedan representados los cuatro grados de tolerancia estética establecidos y porque incluye paramentos de fachada y del muro⁵.
- muestras MP: se ha tomado polvo acumulado en las superficies horizontales de las juntas rehundidas en la fábrica pétreo, tanto en las fachadas como en el muro perimetral.
- muestras SP: se han tomado pequeños fragmentos y/o descamados superficiales del nivel basamento (0) de las fachadas directas y del plano principal de fachada en el nivel inferior (1) de las indirectas analizadas en el capítulo anterior, con grados de tolerancia estética C y D principalmente. En estas zonas presumiblemente también se desarrollen costras negras sobre la caliza, existiendo por tanto esferas embebidas en las costras.
- muestras CN_M: se han tomado fragmentos superficiales del mortero de junta, en zonas del plano principal (en fachadas y muro) que presentaban un importante oscurecimiento, pues del mismo modo el aspecto que mostraban las superficies muestreadas (figura 9.2) señalaba la existencia de costras negras. Según la clasificación establecida en el capítulo 6, se ha seleccionado la tipología principal de mortero de junta empleado en el plano principal de fachada (MJE₁) y del muro perimetral (MJM₁), mortero mixto de cal y cemento y mortero de cemento respectivamente, ambos con áridos de composición silíceo principalmente.
- muestra BIO: se ha tomado de las fachadas un fragmento de mortero de junta⁶ localizado en una superficie horizontal con orientación Norte, en la unión del subnivel cornisa (3a) con el nivel balaustrada (3b).

⁵ Si bien el muro perimetral no se consideró a la hora de analizar el deterioro estético de los paramentos (capítulo 8), se recuerda que el nivel basamento (0) de los cuerpos laterales de la portada de la iglesia (fachadas 1D_{R1} y 1D_{R3}), con un grado de tolerancia estética D (L* <55, figura 8.9 y tabla 8.4), forma parte del muro y que por comparativa visual con la totalidad del muro se ha extrapolado este grado de tolerancia al plano principal de la hoja externa del muro.

⁶ La muestra BIO presenta en su zona interna (sin biofilm) L* = 77 y en su zona externa (con biofilm) de L* <48 (Pérez-Monserrat et al. 2013).

9.3.2. Técnicas de caracterización

Microscopía Óptica de Polarización (MOP): para observar la morfología y grado de desarrollo de las costras negras así como a su interacción con el sustrato infrayacente (caliza y mortero).

Difracción de Rayos X (DRX): identificación de las fases minerales constituyentes de la materia particulada.

Cromatografía iónica: para la determinación del contenido iónico soluble presente en la materia particulada. Debido a la reacción de la caliza y los morteros de fábrica con la contaminación atmosférica, se generan sales solubles que pueden provocar un importante deterioro en los materiales. Los productos de reacción más frecuentes son los sulfatos, seguidos de cloruros y nitratos; siendo calcio, sodio, magnesio y potasio los cationes más comunes (Lazzarini y Laurenzi-Tabasso 1986, Grossi et al. 1998).

Microscopía Electrónica de Barrido con microanálisis por Energía Dispersiva de Rayos X (MEB-EDS) en modo electrones secundarios (ES): en muestras correspondientes a fragmentos (vistos en planta o de perfil), se ha observado el grado de desarrollo de las costras negras y su interacción con el soporte sobre el que se desarrollan, efectuando análisis zonales o puntuales. También, se ha relacionado la superficie de la caliza con el nivel de tolerancia estética que presenta, atendiendo especialmente a los aspectos morfológicos y composicionales (presencia de aluminio, silicio y azufre principalmente) relativos a los principales procesos que operan en los paramentos del inmueble (sulfatación-ensuciamiento y/o disolución-carbonatación). Se ha detectado la composición química elemental de la materia particulada (muestras en polvo) efectuando además mapas de distribución elemental, y se ha caracterizado individualmente la morfología y el tamaño de las partículas esféricas identificadas en las costras negras, determinando cualitativamente su composición química elemental⁷. Debido principalmente a su pequeño tamaño, la técnica MEB-EDS ofrece buenos resultados para la caracterización de esferas procedentes principalmente de la contaminación ambiental (Sabbioni 1992, Díaz-Pache et al. 1996, Ausset et al. 2000, Esbert et al. 2001, Bonazza et al. 2003, Cultrone et al. 2004), permitiendo conocer sus posibles fuentes de emisión, aspecto importante a considerar en la conservación de inmuebles patrimoniales.

Microscopía Electrónica de Barrido en modo electrones retrodispersados (MEB-ER): caracterización del biofilm desarrollado sobre el mortero de junta observando secciones transversales a su interfase con el soporte. Para el estudio del comportamiento de las comunidades litobióticas es esencial considerar el ambiente que les rodea (Brock 1987), de ahí la importancia de las técnicas de examen por microscopía *in situ*. En estas técnicas, no destructivas, las colonias microbianas se mantienen unidas al material sobre el que se han desarrollado, pudiendo observar conjuntamente a ambos y estudiar también el comportamiento de los organismos endolíticos, muy implicados en el biodeterioro de los materiales (De los Ríos et al. 2004, De los Ríos y Ascaso 2005).

Si bien mediante el examen en muestra de mano pueden observarse los efectos que la colonización biológica genera en los materiales, para el estudio de la interfase organismo-sustrato, tanto en medios naturales como en las construcciones, el empleo de técnicas microscópicas han proporcionado los mejores resultados (Ascaso y Wierzchos 1995). Entre las diversas técnicas, el MEB en modo electrones retrodispersados (ER) permite el examen *in situ* sin extraer los organismos del sustrato sobre el que se desarrollan, pudiendo estudiar su interacción con el sustrato y sus rasgos ultraestructurales gracias a la elevada resolución de la técnica (Wierzchos y Ascaso 1994).

⁷ Como las muestras analizadas se han evaporado con grafito (ver aspectos metodológicos), se ha confirmado la composición de esferas carbonosas (ricas en carbono) comparando el espectro obtenido al analizar la esfera con el resultante al analizar otro punto próximo en la misma muestra.

Tabla 9.1. Muestreo realizado para los estudios abordados.

| Estudio | Nº | Paramento | L* | (1) | Localización | Nivel/subnivel | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------|----|----------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------|
| Costra negra caliza (2 muestras) | CN _{C1} | Fachada | 57 | C | Nave NO (3). Fachada 3I _T | Inferior (1) | |
| | CN _{C2} ⁽²⁾ | Muro | 46 | D | Lienzo Oeste (hoja externa) | Medio (2) | |
| Superficie caliza según grados tolerancia y deterioro estético <i>versus</i> físico-químico (20 muestras) ⁽³⁾ | NIV ₁ | Fachada | 66 | B ₁ | Cuerpo central portada iglesia (1D _{R2}) | Cornisa (3a) | |
| | NIV ₂ | Fachada | 64 | B ₂ | | Balaustrada (3b) | |
| | NIV ₃ | Fachada | 64 | B ₂ | | Balaustrada (3c) | |
| | NIV ₄ | F/M | 57 | C | | Basamento (0) | |
| | NIV ₅ | Fachada | 56 | C | | Medio (2) | |
| | NIV ₆ | Fachada | 50 | D | | Inferior (1) | |
| | NIV ₇ | Fachada | 49 | D | Cuerpo central portada iglesia (1D _{R2}) | Balaustrada (3c) | |
| | NIV ₈ | Fachada | 44 | D | | Inferior (1) | |
| | NIV ₉ | Fachada | 44 | D | | Medio (2) | |
| | NIV ₁₀ | Fachada | 71 | A | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R1}) ⁽⁴⁾ | Balaustrada (3b) | |
| | NIV ₁₁ | Fachada | 59 | C | | Balaustrada (3c) | |
| | NIV ₁₂ | Fachada | 54 | D | | Medio (2) | |
| | NIV ₁₃ | Fachada | 54 | D | | Cornisa (3a) | |
| | NIV ₁₄ | Fachada | 51 | D | | Inferior (1) | |
| | NIV ₁₅ | F/M | 46 | D | | Basamento (0) | |
| | NIV ₁₆ | Fachada | 61 | C | | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R1}) | Inferior (1) |
| | NIV ₁₇ | Fachada | 60 | C | | | Cornisa (3a) |
| | NIV ₁₈ | Fachada | 60 | C | | | Balaustrada (3c) |
| | NIV ₁₉ | Fachada | 51 | D | | | Medio (2) |
| | NIV ₂₀ | F/M | 46 | D | Basamento (0) | | |
| Materia particulada (2 muestras) | MP ₁ | Fachada | - | - | Fachada NO cuerpo entrada | Zócalo (0) | |
| | MP ₂ | F/M | - | - | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R1}) | Basamento (0) | |
| Costra negra en caliza para identificar esferas (12 muestras) | SP ₁ | F/M | 46 | D | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R1}) | Basamento (0) | |
| | SP ₂ | F/M | 57 | C | Cuerpo central portada iglesia (1D _{R2}) | Basamento (0) | |
| | SP ₃ | F/M | 57 | C | Cuerpo central portada iglesia (1D _{R2}) | Basamento (0) | |
| | SP ₄ | F/M | 46 | D | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R3}) | Basamento (0) | |
| | SP ₅ | Fachada | 55 | C | Cuerpo lateral cuerpo entrada (2D _{M1}) | Basamento (0) | |
| | SP ₆ | Fachada | 57 | D | Cuerpo central cuerpo entrada (2D _{M2}) | Basamento (0) | |
| | SP ₇ | Fachada | 57 | D | Cuerpo central cuerpo entrada (2D _{M2}) | Basamento (0) | |
| | SP ₈ | Fachada | 55 | C | Cuerpo lateral cuerpo entrada (2D _{M3}) | Basamento (0) | |
| | SP ₉ | Fachada | 63 | C | Nave NO (3). Fachada 3I _R | Inferior (1) | |
| | SP ₁₀ | Fachada | 62 | C | Nave NE (6). Fachada 6I _R | Inferior (1) | |
| | SP ₁₁ | Fachada | 64 | B ₂ | Nave NE (6). Fachada 6I _A | Inferior (1) | |
| | SP ₁₂ | Fachada | 59 | C | Nave SE (5). Fachada 5I _A | Inferior (1) | |
| Costra negra mortero (2 muestras) | CN _{M1} ≈ MJE ₁ | Fachada | - | - | Nave NO (3). Fachada 3I _T | Inferior (1) | |
| | CN _{M2} ≈ MJM ₁ | Muro | - | - | Lienzo Oeste (hoja externa) | Medio (2) | |
| | BIO | Fachada | - | - | Nave NO (3). Fachada 3I _R | Cornisa (3a) | |

⁽¹⁾ Grado de tolerancia estética.

⁽²⁾ La muestra CN_{C2} incluye mortero de junta (aplicado mediante amplios rebordes sobre la caliza, figura 6.3.e y nota 4 capítulo).

⁽³⁾ En azul zonas expuestas y en rojo zonas protegidas. Se recuerda que el nivel basamento (0) de la portada de la iglesia forma parte del muro perimetral, de ahí se indique en el paramento F/M (Fachada/Muro).

⁽⁴⁾ Sólo se han tomado muestras del cuerpo 1D_{R1} de la portada de la iglesia, si bien la comparativa se efectúa con los grados de tolerancia estética resultantes a partir del tratamiento conjunto de los datos medidos en los dos cuerpos laterales, 1D_{R1} y 1D_{R3} (capítulo 8).

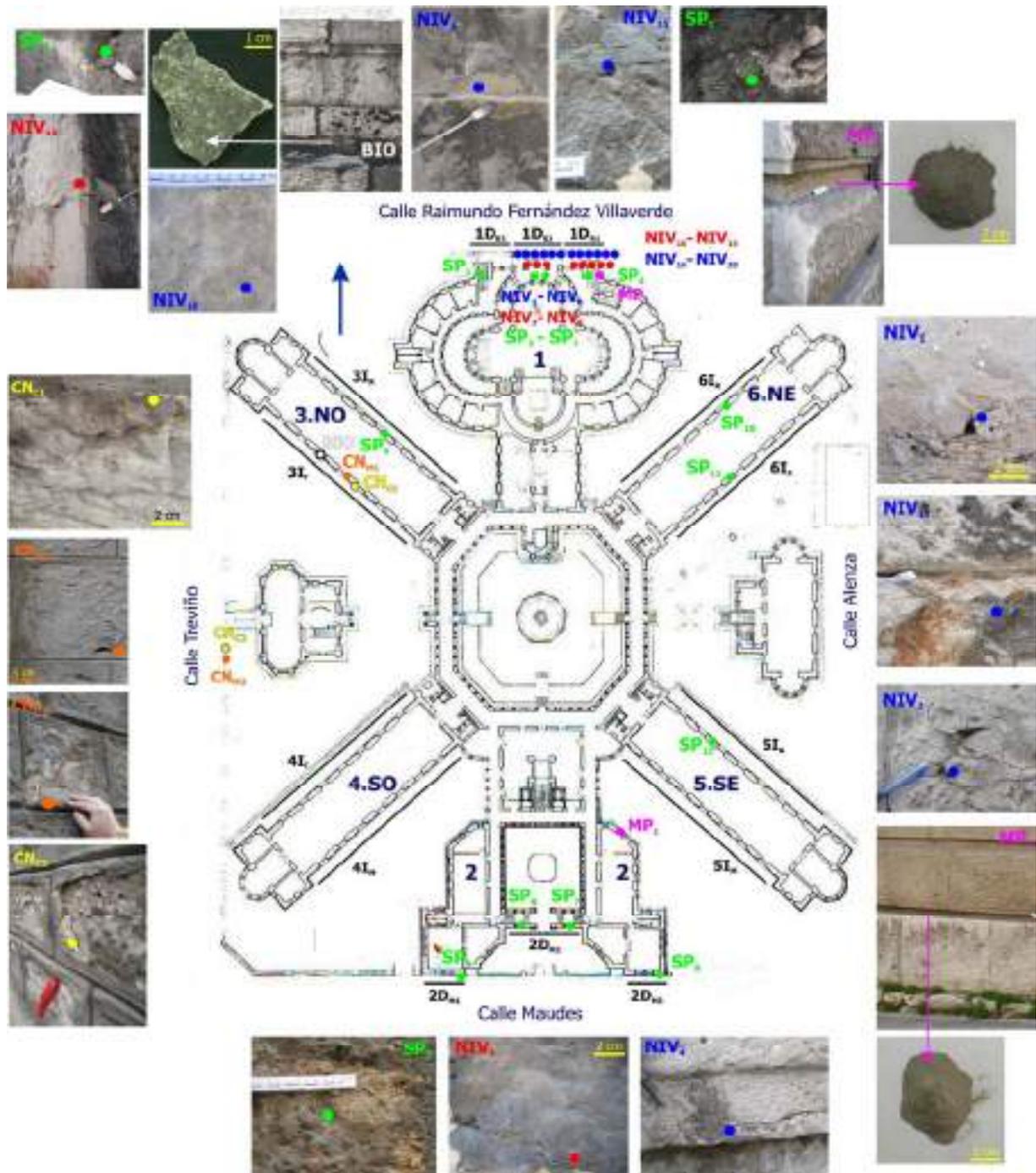


Fig.9.2. Localización de las muestras analizadas y aspecto visual de algunas en los paramentos.

Costra negra sobre caliza: muestras CN_C (en amarillo).

Superficie caliza según grados tolerancia estética y deterioro F/Q *versus* estético: muestras NIV (en azul zonas expuestas y en rojo zonas protegidas). La muestra NIV₄, tomada del nivel Basamento (0), con un grado de tolerancia C, incluye superficie clara y oscura.

Materia particulada: muestras MP (en rosa).

Esferas en costra negra sobre caliza: muestras SP (en verde).

Costra negra sobre mortero junta: muestras CN_M (en naranja).

Biofilm sobre mortero: muestra BIO (en blanco).

9.4. RESULTADOS

9.4.1. Deterioro físico-químico de la caliza y su comparativa con el deterioro estético

9.4.1.a. Costras negras sobre la piedra caliza (muestras CN_C)

Mediante MOP, en las superficies que mostraban un grado de tolerancia estética C (muestra CN_{N1}) sobre la caliza se observa una capa microcristalina de coloración beige que se dispone tapizando las irregularidades superficiales de la piedra, introduciéndose en huecos y fisuras (figuras 9.3.a). En esta capa se distingue una zona externa (1) y otra interna (2), mostrando la primera una tonalidad ligeramente más oscura y en la que se observan abundantes partículas opacas (figura 9.3.b). La superficie de la caliza presenta un aspecto compacto y su contacto con la costra es neto y continuo, identificándose una franja con una coloración ocre intensa (3).

En las superficies con un grado de tolerancia D (muestra CN_{N2}), la costra negra muestra diverso grado de desarrollo y la piedra presenta abundantes fisuras, precipitando en su interior yeso microcristalino (figuras 9.3.c - 9.3.h). En algunas zonas la costra se dispone de forma discontinua sobre la superficie fisurada de la caliza, mostrando un espesor heterogéneo (figura 9.3.c). En la costra se identifican del mismo modo una capa externa (1), oscura y con partículas opacas, y otra interna (2), con tonalidad clara y constituida principalmente por yeso microcristalino, que igualmente precipita en el interior de las fisuras que conectan con la costra (figura 9.3.d). En otras zonas la costra negra se dispone ortogonalmente al sentido de fisuración de la caliza, presenta una fuerte tonalidad ocre y alcanza el milímetro de espesor (figura 9.3.g); se observa una película superficial oscura constituida principalmente por partículas opacas y en la zona de contacto con el soporte pétreo la costra muestra un aspecto más compacto y una tonalidad más oscura (3). En algunas zonas se puede observar el mortero de junta que cubre parcialmente la superficie de la caliza y la costra negra desarrollada sobre el mismo, así como la intensa fisuración que también muestra internamente la caliza (figuras 9.3.e y 9.3.f). Estas fisuras son pseudoparalelas a la superficie de la piedra, si bien algunas atraviesan el mortero y conectan el interior de la piedra con la costra negra (figura 9.3.f). En la práctica ausencia de costra negra, se observa igualmente la intensa fisuración de la caliza así como su descamado superficial, precipitando en el interior de las fisuras del mismo modo yeso microcristalino, transversalmente a la dirección de las mismas (figura 9.3.h).

El estudio mediante MEB permite observar que la costra alcanza mayor espesor en superficies con un grado de tolerancia estética D (muestra CN_{N2}), pudiéndose diferenciar igualmente dos zonas (figura 9.4.c), una más superficial (1) con aspecto grumoso y otra más interna (2) donde se identifican cristales de yeso lanceolados. Los microanálisis revelan la presencia más significativa de aluminio (Al), silicio (Si) y hierro (Fe) en la zona externa, además de cloro (Cl), titanio, (Ti), magnesio (Mg) y potasio (K), resultando especialmente notoria la presencia de azufre (S) y calcio (Ca) en la zona interna. En la figura 9.4.b puede observarse la gradación de la costra en profundidad. De este modo, se observa la abundancia de partículas en la superficie (1), una zona intermedia con cristales tabulares de yeso entre los que quedan atrapadas partículas y una zona más profunda (2) constituida en su práctica totalidad por cristales de yeso con morfología tabular. A partir de los espectros obtenidos se observa la importante presencia de silicio (Si) en la zona más superficial de la costra, resultando más significativa la presencia de azufre (S) y calcio (Ca) en el interior. En la figura 9.4.d se observa cómo los cristales lanceolados de yeso cubren la superficie de la caliza, favoreciendo estas morfologías el atrapamiento de partículas hasta quedar tapizados, constituyendo la capa externa de la costra de sulfatación. Del mismo modo, los espectros señalan la mayor presencia de aluminio (Al), silicio (Si) y hierro (Fe) en la superficie de la costra así como la presencia más significativa de azufre (S) y calcio (Ca) en la zona más interna.

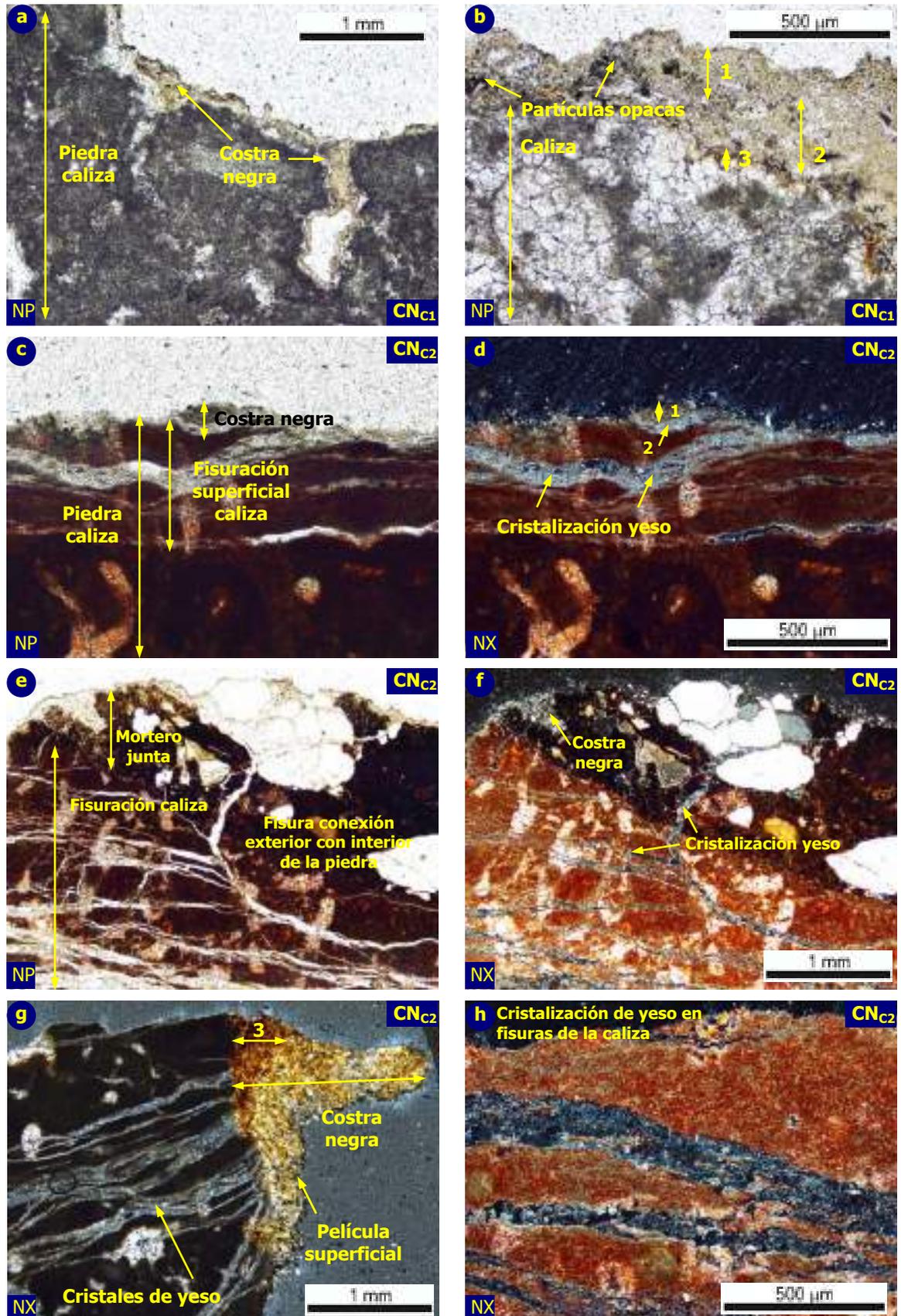


Fig.9.3. Aspecto observado al microscopio petrográfico de polarización (MOP) de las costras negras desarrolladas sobre la caliza. Nícoles paralelos (NP), nícoles cruzados (NX).

a - b. Superficies con grado de tolerancia estética C, ensuciamiento marrón (muestra fachadas CN_{C1}).

c - h. Superficies con grado de tolerancia estética D, ensuciamiento intensamente oscuro (muestra muro CN_{C2}).

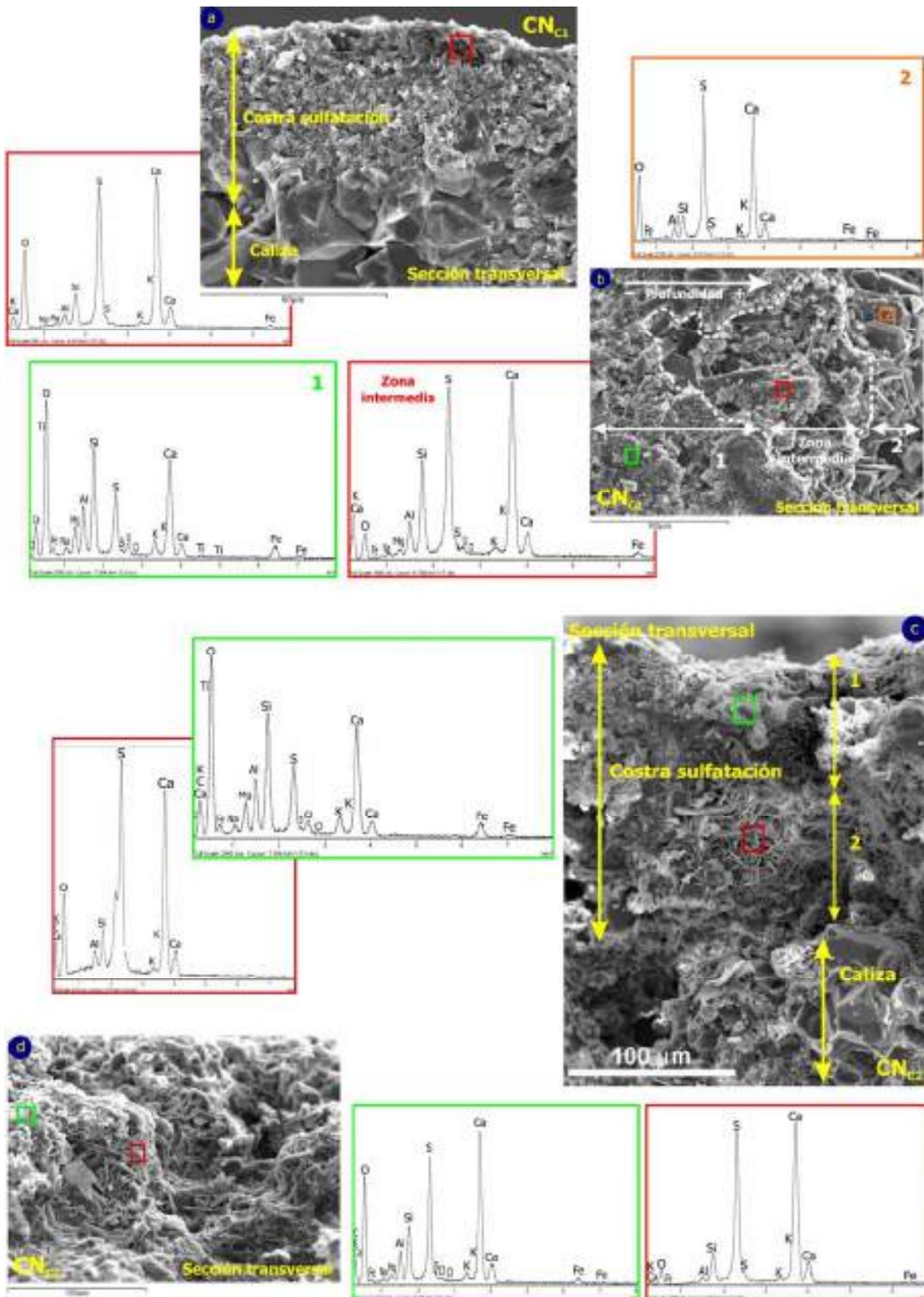


Fig.9.4. Costras negras desarrolladas sobre caliza en superficies que mostraban un grado de tolerancia estética C o D observadas al MEB (modo ES) y microanálisis EDS.

a - b. Superficies con grado de tolerancia estética C, ensuciamiento marrón (muestra fachadas CN_{C1}).

c - d. Superficies con grado de tolerancia estética D, ensuciamiento intensamente oscuro (muestra muro CN_{C2}).

Los análisis mostrados se corresponden con las zonas recuadradas en las imágenes.

9.4.1.b. Deterioro físico-químico versus estético (muestras NIV)

En las figuras 9.5 y 9.6 se incluyen los resultados obtenidos mediante MEB-EDS al observar en planta las muestras de caliza tomadas en cada uno de los niveles de la portada de la iglesia, incluyendo las zonas expuestas y las protegidas. En la parte superior de las figuras se indica el grado de tolerancia estética de cada uno de los niveles muestreados, establecidos en el capítulo anterior a partir de la media de los valores de luminosidad (L^*) medidos. Para los resultados obtenidos en las superficies con grados de tolerancia C o D, se aconseja considerar conjuntamente a la información incluida en la figura 9.4.

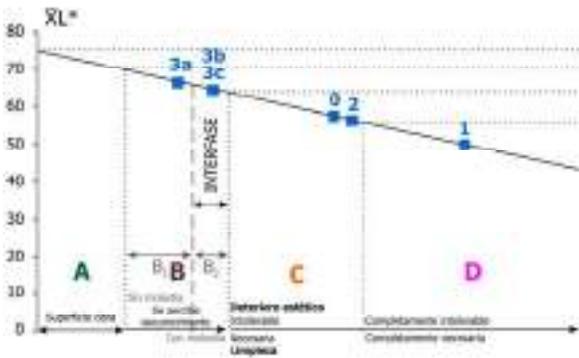
Los resultados para las superficies que presentaban grados de tolerancia estética A y B, sólo en zonas expuestas de las zonas más elevadas (nivel 3), son muy similares, mostrando los cristales de calcita morfologías redondeadas y cierta disgregación (figuras 9.5.a, 9.5.b y 9.6.a). Los espectros EDS revelan la presencia dominante de calcio (Ca), la presencia de aluminio (Al) y silicio (Si) poco significativa, y la práctica ausencia de azufre (S).

En las superficies donde la caliza mostraba un grado de tolerancia estética C, se observa una importante variabilidad para las zonas expuestas en función de la altura considerada. De este modo, la presencia de aluminio (Al) y silicio (Si) así como la de azufre (S) disminuye conforme se asciende en altura, comparar espectros de las figuras 9.5.c (nivel 0), 9.5.e (nivel 2) y 9.6.b (subnivel 3c). En el nivel basamento (0) se observan zonas donde los niveles de azufre (S), aluminio (Al) y silicio (Si) resultan muy significativos (figura 9.5.c) así como zonas con cristales de yeso lanceolados y en ausencia total de aluminio (Al) y silicio (Si) (figura 9.5.d). En las zonas protegidas, para superficies que muestran un grado de tolerancia estética muy similar se observa la importante diferencia en el contenido de azufre (S), respondiendo nuevamente esta diferencia a la altura considerada. Así, mientras que la presencia de aluminio (Al) y silicio (Si) en las superficies analizadas resulta muy similar, el azufre (S) es mucho más significativo en los niveles inferiores, comparar espectros figuras 9.6.f (nivel 1) y 9.6.g (subnivel 3c).

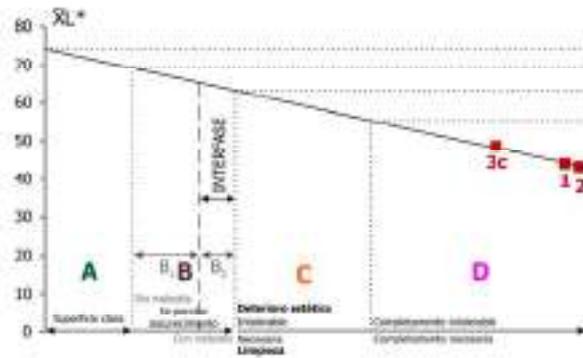
En las superficies donde la piedra mostraba un grado de tolerancia D, los análisis revelan la presencia significativa de aluminio (Al) y silicio (Si) tanto en zonas expuestas como en protegidas. En superficies expuestas, el contenido de ambos elementos desciende con la altura, comparar espectros de las figuras 9.6.c (nivel 2), 9.5.f - 9.6.d (nivel 1) y 9.6.e (nivel 0). En los niveles más inferiores se observa la importante acumulación en las superficies analizadas de depósitos ricos igualmente sendos elementos (figuras 9.5.f y 9.6.e). En las zonas protegidas, la presencia de aluminio (Al) y silicio (Si) resulta también significativa en zonas elevadas (espectro figura 9.5.g, subnivel 3c). Respecto al azufre (S), los espectros señalan su presencia también muy significativa, tanto en zonas expuestas como en protegidas, descendiendo con el aumento de la altura, comparar espectros de las figuras 9.5.h (nivel 1), 9.5.i (nivel 2) y 9.5.g (subnivel 3c). En casi todas las superficies tomadas de zonas protegidas, se puede observar la abundancia de cristales de yeso principalmente con morfología en lanza (figuras 9.5.h y 9.6.i), también lenticulares (figura 9.6.h), presentando los cristales mayor definición y grado de desarrollo cuanto menos significativo resulta el contenido de aluminio (Al) y silicio (Si).

DISPOSICIÓN DIRECTA: CUERPO CENTRAL DE LA IGLESIA (1D_{R2})

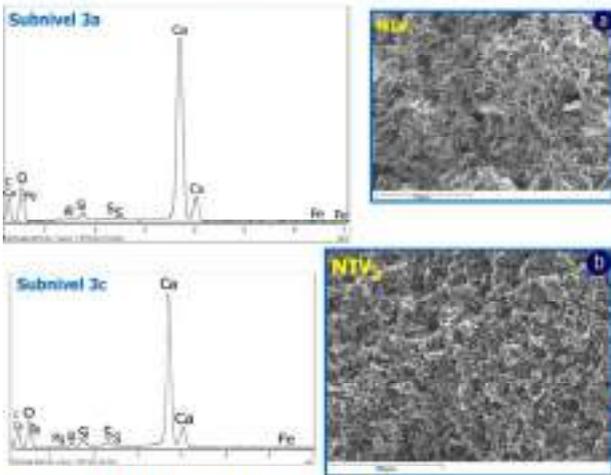
DISPOSICIÓN DIRECTA: zonas expuestas ■



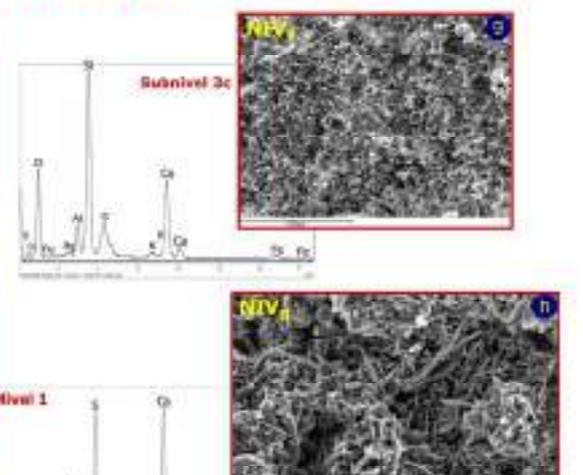
DISPOSICIÓN DIRECTA: zonas protegidas ■



GRADO DE TOLERANCIA ESTÉTICA B



GRADO DE TOLERANCIA ESTÉTICA D



GRADO DE TOLERANCIA ESTÉTICA C

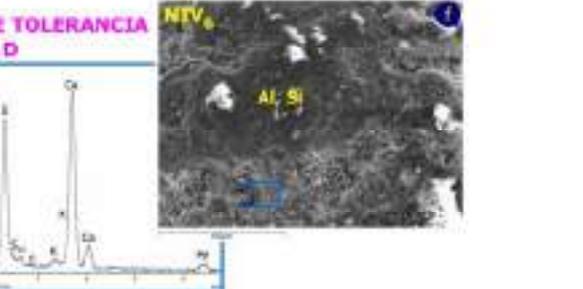
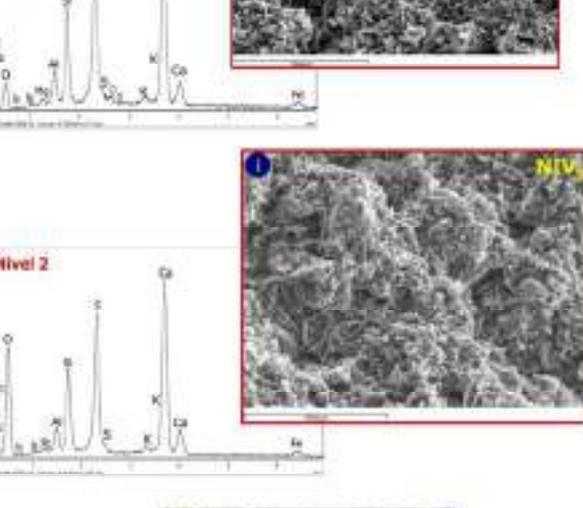
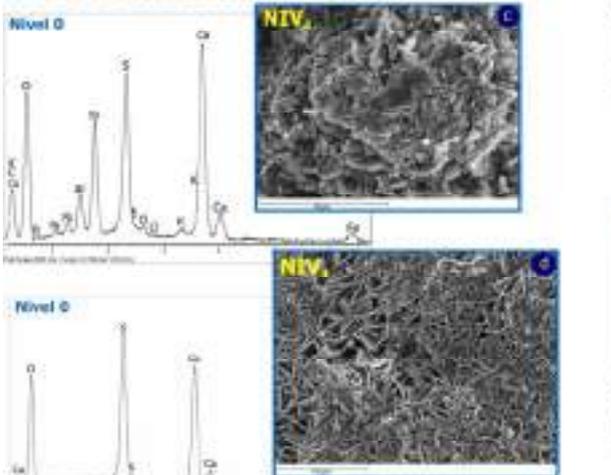
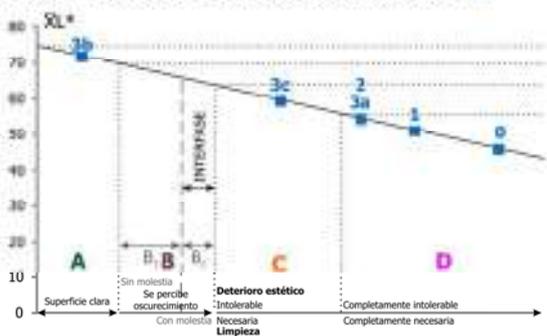


Fig.9.5. Imágenes obtenidas con MEB-ES y microanálisis EDS de las muestras tomadas en cada uno de los niveles del cuerpo central (1D_{R2}) de la portada de la iglesia y su grado de tolerancia estética.

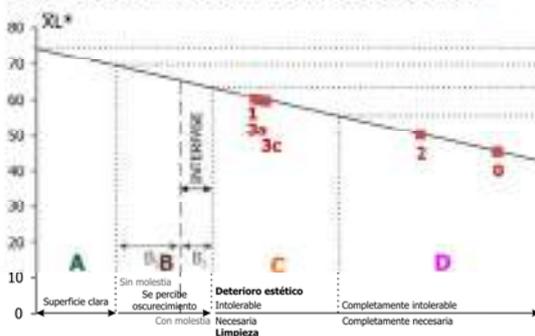
Las imágenes corresponden a la superficie de la piedra vista en planta y los espectros a análisis zonales de la imagen total, salvo para la figura 9.5.f, que se trata de un análisis puntual de la zona recuadrada.

DISPOSICIÓN DIRECTA: CUERPOS LATERALES DE LA IGLESIA (1D_{R1} - 1D_{R3})

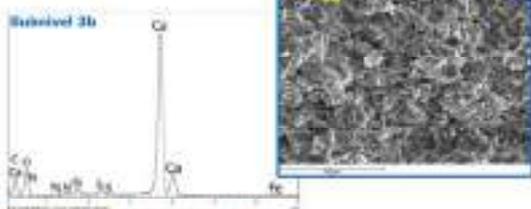
DISPOSICIÓN DIRECTA: zonas expuestas



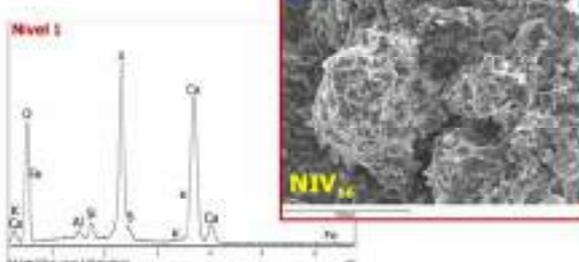
DISPOSICIÓN DIRECTA: zonas protegidas



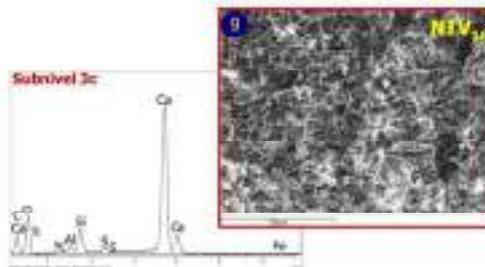
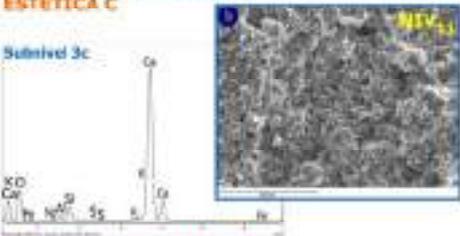
GRADO DE TOLERANCIA ESTÉTICA A



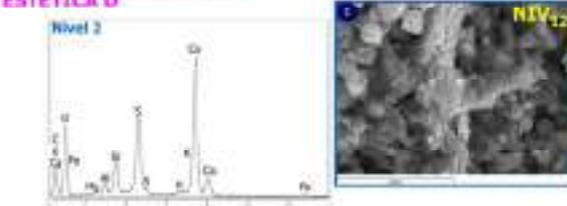
GRADO DE TOLERANCIA ESTÉTICA C



GRADO DE TOLERANCIA ESTÉTICA C



GRADO DE TOLERANCIA ESTÉTICA D



GRADO DE TOLERANCIA ESTÉTICA D

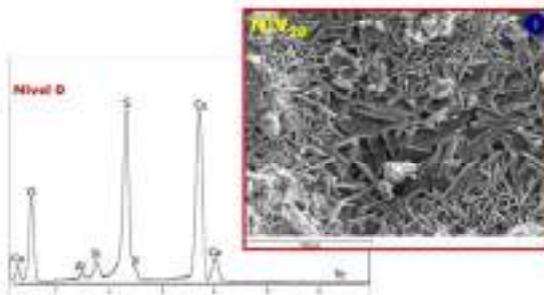
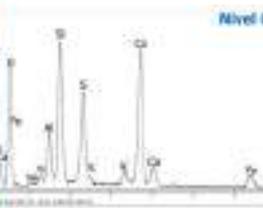
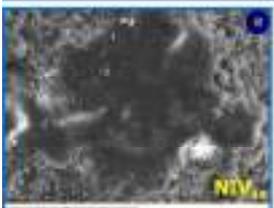
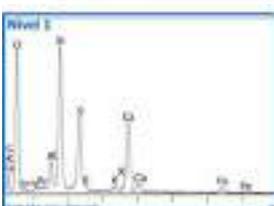
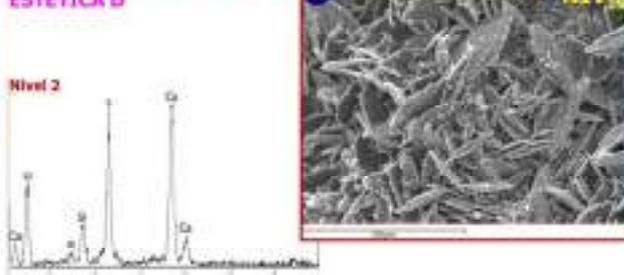


Fig.9.6. Imágenes obtenidas con MEB-ES y microanálisis EDS de las muestras tomadas en cada uno de los niveles de los cuerpos laterales (1D_{R1} - 1D_{R3}) de la portada principal de la iglesia y su grado de tolerancia estética.

Las imágenes corresponden a la superficie de la piedra vista en planta y los espectros a análisis zonales de la imagen total, salvo para la figura 9.6.d, que se trata de un análisis puntual de la zona recuadrada.

9.4.2. Análisis de los principales depósitos superficiales

9.4.2.a. Materia particulada (muestras MP)

En la figura 9.7 se observan los difractogramas de las muestras correspondientes a la materia particulada acumulada en superficies pétreas horizontales de los paramentos, en las fachadas (MP₁) y en el muro perimetral (MP₂). En ambos casos la mineralogía identificada resulta prácticamente la misma, correspondiente a yeso, cuarzo y calcita principalmente, además de albita, ortosa y biotita. En la muestra MP₂ se identifica también microclina y anhidrita y la presencia de albita resulta considerablemente significativa.

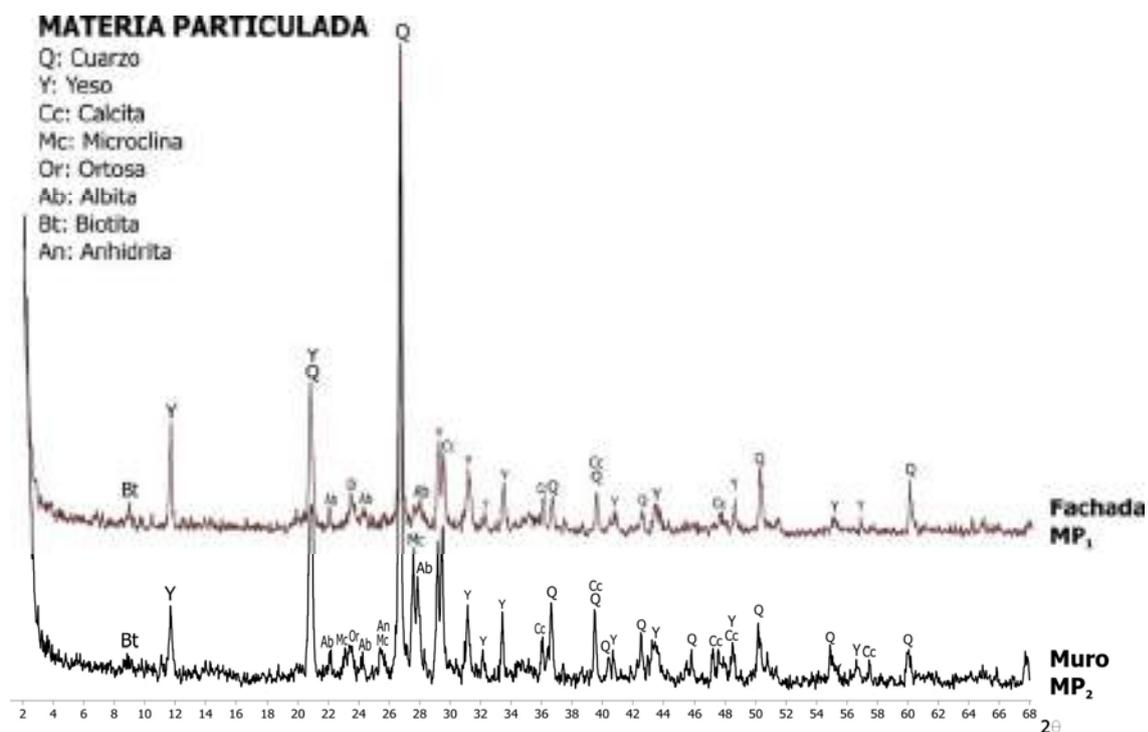


Fig.9.7. DRX de la materia particulada tomada de superficies horizontales en los paramentos.

En la tabla 9.2 se muestra el contenido iónico analizado mediante Cromatografía Iónica presente en la materia particulada acumulada en las superficies horizontales de los paramentos. Se observa que tanto en las fachadas como en el muro el contenido en sulfatos es ciertamente elevado, siendo mayor en la muestra tomada de la fachada (MP₁). Sin embargo, el contenido en cloruros y nitratos es considerablemente mayor para la materia particulada tomada del muro perimetral (MP₂). En cuanto al contenido en cationes, la presencia de calcio es del mismo modo muy significativa, mayor en la muestra tomada de las fachadas (MP₁), y el contenido en sodio resulta muy similar en ambas muestras.

Tabla 9.2. Contenido iónico soluble en la materia particulada.

| | Aniones (mg/l) | | | Cationes (mg/l) | | |
|---------------------------------|----------------|----------|----------|-----------------|----------|--------|
| | Cloruros | Nitratos | Sulfatos | Sodio | Magnesio | Calcio |
| Fachada (MP₁) | 20,46 | 73,73 | 1.152,36 | 22,52 | - | 563,00 |
| Muro (MP₂) | 55,92 | 107,88 | 940,21 | 27,49 | 11,35 | 442,71 |

En la figura 9.8 puede atenderse al aspecto observado mediante MEB-ES de la materia particulada acumulada en las superficies horizontales de las fachadas y del muro perimetral, muestras MP₁ y MP₂ respectivamente. Los espectros EDS revelan la misma composición elemental para ambas muestras, resultando silicio (Si), aluminio (Al), azufre (S) y calcio (Ca) los elementos mayoritarios y sodio (Na), magnesio (Mg), cloro (Cl), potasio (K) y hierro (Fe) los minoritarios. Los mapas de distribución de los elementos químicos detectados permiten establecer la existencia principalmente de partículas ricas en silicio (Si) y/o aluminio (Al) y partículas ricas en calcio (Ca) y azufre (S), observándose además puntualmente partículas ricas en hierro (Fe).

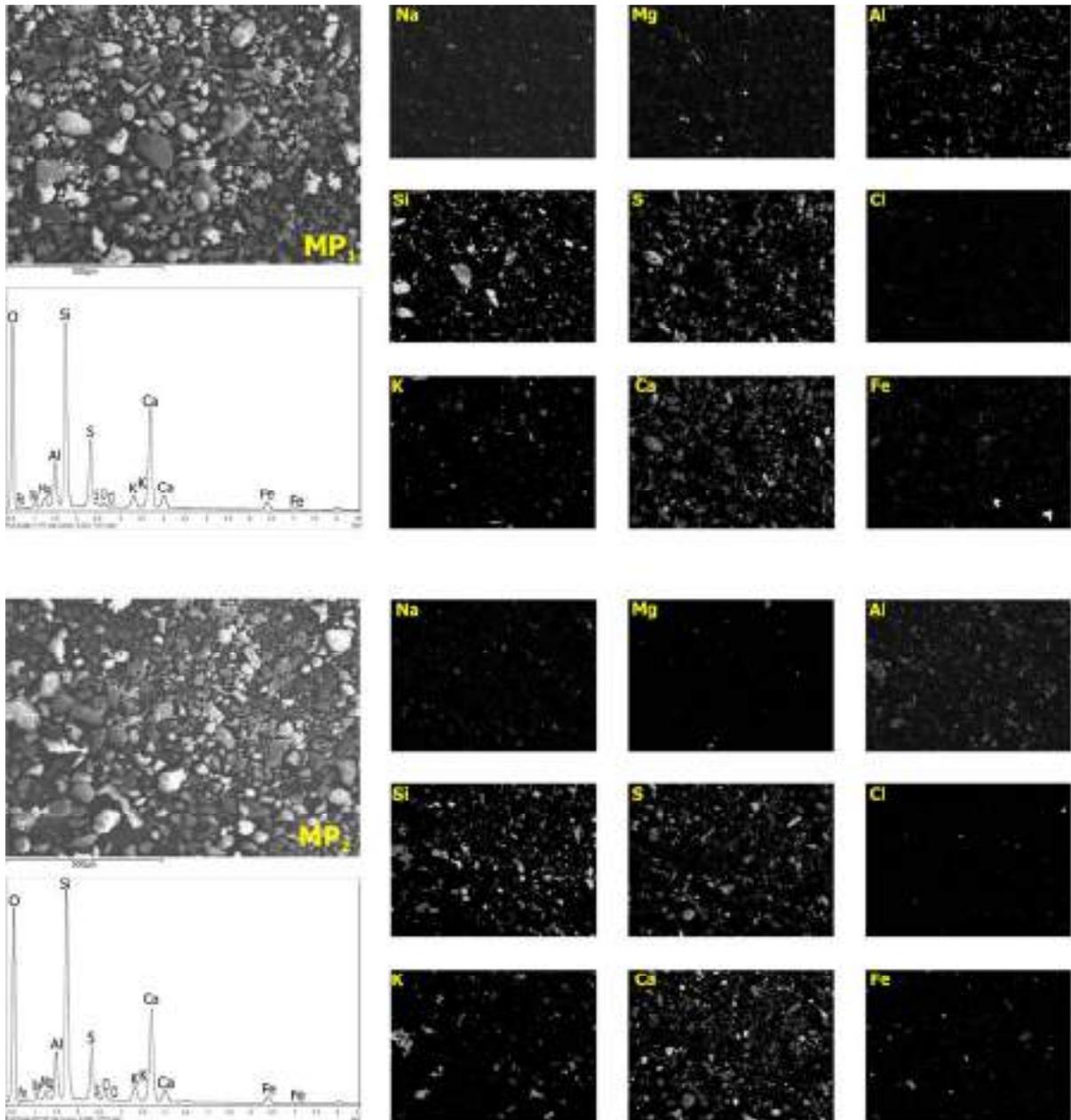


Fig.9.8. Imágenes al MEB (modo ES) de la materia particulada tomada de las fachadas y del muro, elementos químicos identificados mediante EDS y mapeado de su distribución.

9.4.2.b. Partículas esféricas en la costra negra sobre caliza (muestras SP)

Los principales elementos constituyentes de las esferas identificadas en las superficies de caliza muestreadas, con grados de tolerancia estética C o D principalmente, son aluminio (Al), silicio (Si), hierro (Fe), calcio (Ca), azufre (S) y carbono (C), siendo fundamentalmente las esferas de composición metálica y/o carbonosa (figuras 9.9, 9.10 y 9.11 y tabla 9.3).

De las 43 partículas esféricas identificadas, 14 están constituidas principalmente por silicio (Si) y aluminio (Al), 9 son especialmente ricas en hierro (Fe), 6 en carbono (C) y 5 en calcio (Ca) junto con otros elementos como hierro (Fe), titanio (Ti), silicio (Si) y/o azufre (S). En la práctica totalidad de las esferas también se detecta azufre (S) y calcio (Ca), siendo la presencia de ambos elementos especialmente importante en algunas esferas (esfera B en figura 9.10.l, esferas A y D en figura 9.10.m). Con frecuencia se detecta titanio (Ti), identificándose ocasionalmente esferas constituidas principalmente por este elemento, al igual que esferas especialmente ricas en silicio (Si), figuras 9.10.d y 9.11.i respectivamente. El magnesio (Mg) y potasio (K) se detectan en numerosas esferas, resultando su presencia importante de forma puntual (figura 9.11.ñ). Sodio (Na), cloro (Cl) y/o fósforo (P) también se identifican, siendo la presencia de este último puntualmente también significativa (esfera B en la figura 9.10.m), y en algunas esferas se ha detectado la presencia de cromo (Cr), manganeso (Mn), plomo (Pb), molibdeno (Mo) o zinc (Zn).

Las esferas constituidas fundamentalmente por silicio (Si) - aluminio (Al), hierro (Fe) o calcio (Ca) - azufre (S) presentan un aspecto compacto y una superficie lisa o rugosa. Las partículas esféricas en las que la presencia de carbono (C) es significativa, bien muestran morfologías algo irregulares y parecen huecas (figuras 9.11.m y 9.11.n), tendencia esférica, abundantes poros y/o aspecto esponjoso (B en figura 9.10.l y figura 9.11.d) o un aspecto orgánico (figura 9.11.e y las 3 esferas en racimo observadas en la figura 9.11.g, no analizadas).

De forma generalizada se han identificado esferas en todas muestras analizadas, tomadas de los niveles basamento (0 ≈ muro perimetral) o inferior (1) de las fachadas muestreadas. Casi todas las esferas identificadas en la portada de la iglesia (figura 9.9) están principalmente constituidas por aluminio (Al) y silicio (Si). En la fachada a la calle Maudes del cuerpo de entrada, muchas de las esferas identificadas igualmente son ricas en sendos elementos (figura 9.10), observándose también esferas constituidas principalmente por hierro (Fe), calcio (Ca), titanio (Ti) y/o calcio (Ca) - azufre (S). Respecto a las esferas identificadas en las muestras tomadas de las fachadas indirectas (figura 9.11), presentan una importante variabilidad composicional, siendo principalmente ricas en hierro (Fe) y silicio (Si) - aluminio (Al), y también en carbono (C), algunas con morfologías orgánicas.

En la parte derecha de la tabla 9.3 se muestran las partículas esféricas ordenadas según su tamaño, de menor a mayor, indicando igualmente sus principales elementos constituyentes. El diámetro de las esferas incluye desde los 4 hasta los 56 μm , abarcando entre los 4 y 24 μm un amplio espectro de tamaños. Las esferas ricas en titanio (Ti) muestran un tamaño inferior a 5 μm , las esferas ricas en silicio (Si) - aluminio (Al), hierro (Fe) y carbono (C) presentan una importante variabilidad de tamaños, y las esferas cuyo tamaño es mayor de 20 μm se corresponden con esferas ricas en silicio (Si) - aluminio (Al) y/o carbono (C). Se han establecido cinco intervalos de tamaños, que abarcan desde 0 hasta 25 μm (la esfera carbonosa de la figura 9.11.d no queda incluida en ninguno de estos rangos), observándose que casi el 60% de las partículas esféricas identificadas presentan un tamaño comprendido entre 0,1 y 10 μm (figura 9.12).

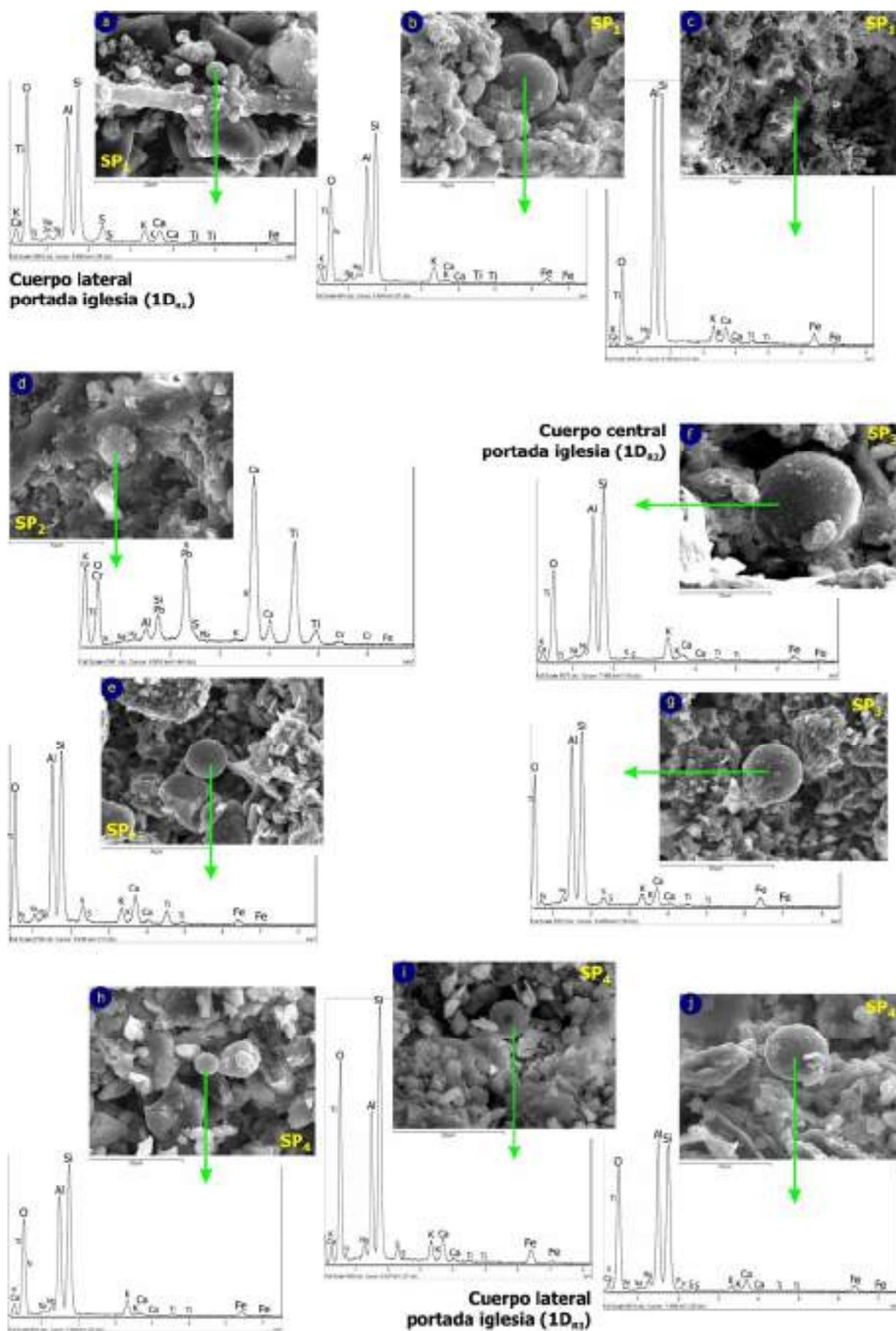


Fig.9.9. Imágenes de MEB-ES y microanálisis EDS de las partículas esféricas identificadas en las muestras SP tomadas en la portada de la iglesia (cuerpos 1D_{R1} - 1D_{R2} - 1D_{R3}).

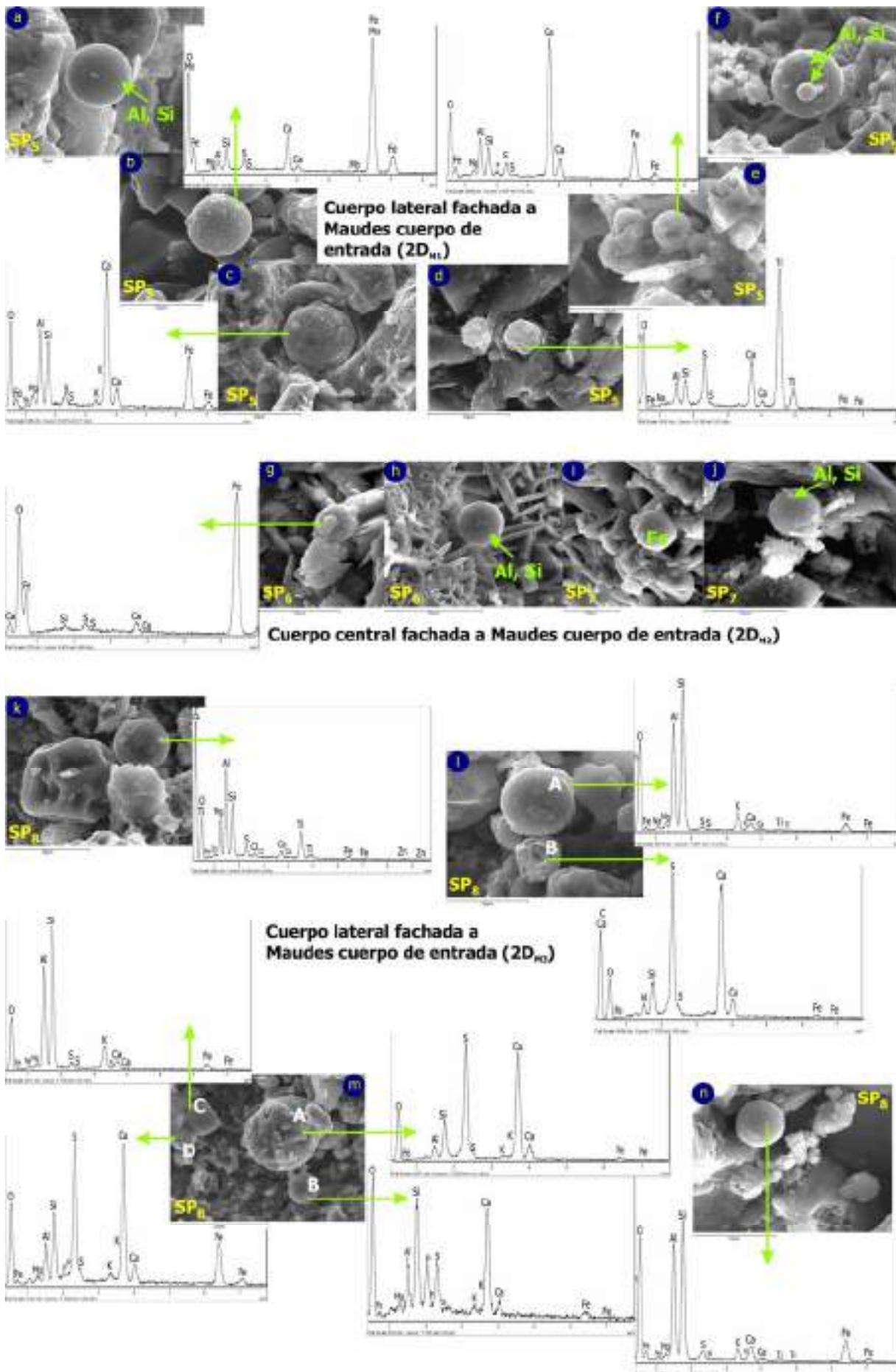


Fig.9.10. Imágenes de MEB-ES y microanálisis EDS de las partículas esféricas identificadas en las muestras SP tomadas en la fachada a la calle Maudes del cuerpo de entrada (cuerpos 2D_{M1} - 2D_{M2} - 2D_{M3}).

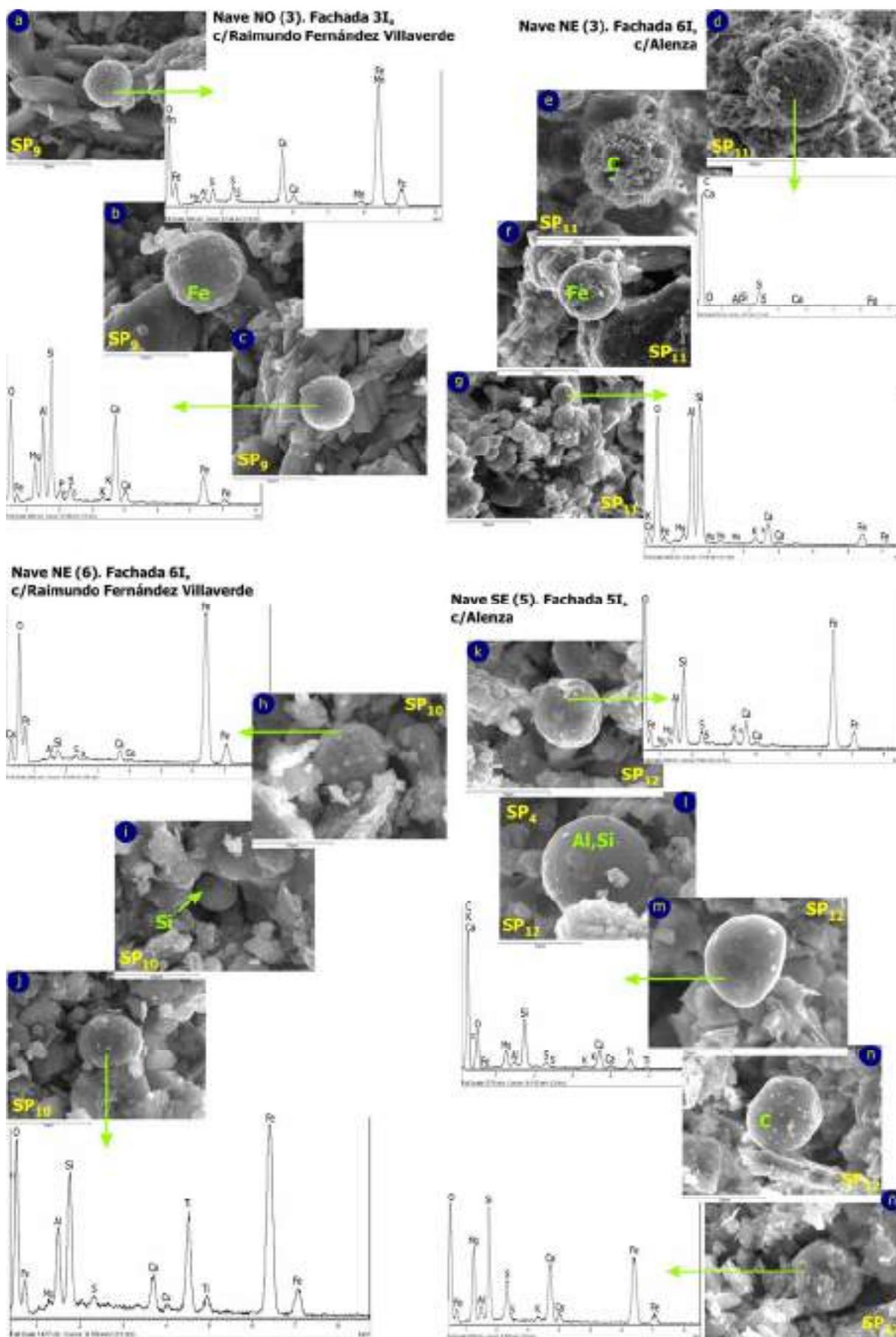


Fig.9.11. Imágenes de MEB-ES y microanálisis EDS de las partículas esféricas en las muestras SP tomadas en las fachadas indirectas dirigidas a las calles Raimundo Fernández Villaverde (3I_r y 6I_r) y Alenza (6I_r y 5I_r).

Tabla 9.3. Tamaño, forma y composición de las partículas esféricas identificadas.

| LOCALIZACIÓN | Tipo | Ø (µm) | Superficie | Elementos mayoritarios | Forma | Aspecto | Ø (µm) | Elementos mayoritarios | | |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|------------------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|------------|--------|
| I G L E S I A Fig. 9.9 | 1D _{R1} | a Metálica | 4,0 | Lisa | Si, Al | Esférica | Compacta | 4,0 | Si, Al | |
| | | b Metálica | 14,3 | Lisa | Si, Al | Esférica | Compacta | 4,3 | Ca, Ti | |
| | | c Metálica | 21,9 | Lisa | Si, Al | Esférica | Compacta | 4,6 | Ti | |
| | 1D _{R2} | d Metálica | 4,3 | Rugosa | Ca, Ti | Semiesférica | Semicompacta | 4,6 | Ca, Fe | |
| | | e Metálica | 15,2 | Lisa | Si, Al | Esférica | Compacta | 4,7 | Fe | |
| | 1D _{R2} | f Metálica | 24,2 | Lisa | C, Si, Al | Esférica | Compacta | 5,0 | C, Si | |
| | | g Metálica | 20,8 | Lisa | Si, Al | Esférica | Compacta | 5,1 | Si | |
| | 1D _{R3} | h Metálica | 5,0 | Lisa | C, Si | Esférica | Compacta | 5,6 | C | |
| | | i Metálica | 7,3 | Lisa | Si, Al | Esférica | Compacta | 6,0 | Si, Al, Fe | |
| | | j Metálica | 13,7 | Lisa | C, Si, Al | Esférica | Compacta | 6,0 | Fe | |
| | F A C H A D A M A U D E S Fig. 9.10 | 2D _{M1} | a Metálica | 8,0 | Lisa | Si, Al | Esférica | Compacta | 6,0 | Si, Al |
| | | | b Metálica | 7,6 | Rugosa | Fe | Esférica | Compacta | 6,4 | Si, Al |
| c Metálica | | | 18,0 | Rugosa | Fe, Ca | Esférica | Compacta | 6,9 | Si, Ca, Fe | |
| d Metálica | | | 4,6 | Rugosa | Ti | Semiesférica | Semicompacta | 7,0 | Si, Al | |
| e Metálica | | | 4,6 | Rugosa | Ca, Fe | Esférica | Compacta | 7,3 | Si, Al | |
| f Metálica | | | 18,0 | Lisa | Si, Al | Esférica | Compacta | 7,4 | Fe | |
| 2D _{M2} | | g Metálica | 4,7 | Lisa | Fe | Esférica | Compacta | 7,6 | Fe | |
| | | h Metálica | 19,0 | Lisa | Si, Al | Esférica | Compacta | 7,6 | Ca, Si | |
| | | i Metálica | 7,4 | Lisa | Fe | Esférica | Compacta | 7,9 | Fe | |
| 2D _{M3} | | j Metálica | 6,4 | Lisa | Si, Al | Esférica | Compacta | 7,9 | Fe | |
| | | k Carbonosa | 13,2 | Lisa | C | Semiesférica | Semicompacta | 8,0 | Si, Al | |
| | | l Metálica (A) | 7,0 | Algo rugosa | Si, Al | Esférica | Compacta | 8,3 | C | |
| | Carbonosa (B) | 5,6 | Rugosa | C | Semiesférica | Porosa | 8,3 | Fe, Si, Mg | | |
| | m Metálica (A) | 10,2 | Rugosa | Ca, S | Esférica | Compacta | 8,9 | Fe | | |
| | Metálica (B) | 7,6 | Algo rugosa | Ca, Si | Esférica | Compacta | 9,2 | Ca, Fe, S | | |
| I N D I R E C T A S Fig. 9.11 | 3I _R | a Metálica | 6,0 | Rugosa | Fe | Esférica | Compacta | 13,3 | Si, Al | |
| | | b Metálica | 10,4 | Rugosa | Fe | Esférica | Compacta | 13,7 | C, Si, Al | |
| | | c Metálica | 6,9 | Rugosa | Si, Ca, Fe | Esférica | Compacta | 14,3 | Si, Al | |
| | 6I _A | d Carbonosa | 56,3 | Rugosa | C | Semiesférica | Porosa | 15,0 | C | |
| | | e Carbonosa | 24,6 | Rugosa | C | Semiesférica | Porosa | 15,2 | Si, Al | |
| | | f Metálica | 15,4 | Rugosa | Fe | Esférica | Compacta | 15,4 | Fe | |
| | | g Metálica | 6,00 | Lisa | Si, Al | Esférica | Compacta | 18,0 | Fe, Ca | |
| | 6I _R | h Metálica | 8,9 | Rugosa | Fe | Esférica | Compacta | 18,0 | Si, Al | |
| | | i Metálica | 5,1 | Lisa | Si | Esférica | Compacta | 19,0 | Si, Al | |
| | | j Metálica | 7,9 | Rugosa | Fe | Esférica | Compacta | 20,8 | Si, Al | |
| | 5I _A | k Metálica | 7,9 | Rugosa | Fe | Esférica | Compacta | 21,9 | Si, Al | |
| | | l Metálica | 13,3 | Lisa | Si, Al | Esférica | Compacta | 22,9 | Si, Al | |
| m Carbonosa | | 8,3 | Lisa | C | Semiesférica | Semicompacta | 24,2 | C, Si, Al | | |
| n Carbonosa | | 15,0 | Lisa | C | Semiesférica | Semicompacta | 24,6 | C | | |
| ñ Metálica | 8,3 | Rugosa | Fe, Si, Mg | Esférica | Compacta | 56,3 | C | | | |

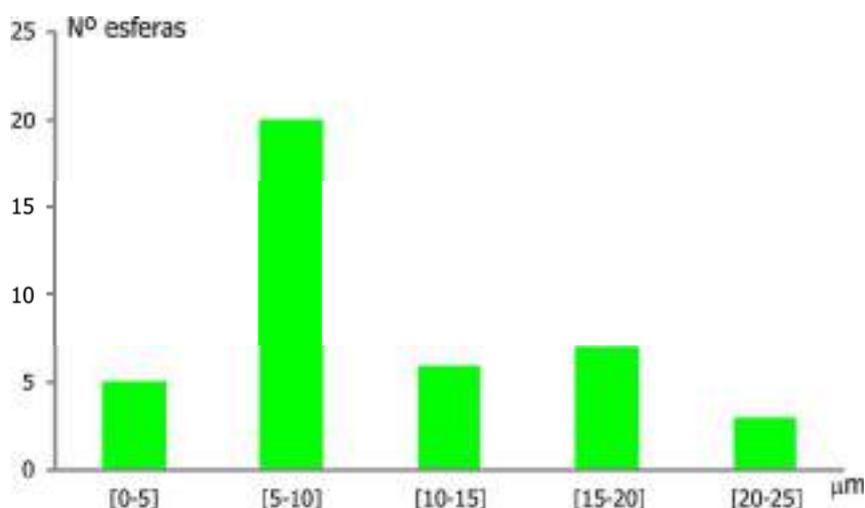


Fig.9.12. Agrupación por tamaños de las esferas identificadas (muestras SP).

Debido a su tamaño (56,3 µm), la esfera carbonosa mostrada en la figura 9.11.d no queda incluida en ninguno de estos rangos.

9.4.3. Deterioro físico-químico de los morteros de fábrica

9.4.3.a. Costras negras sobre el mortero (muestras CN_M)

Mediante MOP, se observa que la costra negra formada sobre el mortero tomado de las fachadas (muestra CN_{M1}) es microcristalina y homogénea, presenta una tonalidad clara y se acopla a la superficie irregular del mortero e incluso se introduce hacia el interior del ligante, provocando cierta disgregación superficial de sus áridos (figuras 9.13.a - 9.13.b). Sobre el mortero tomado del muro (muestra CN_{M2}), la costra negra presenta una tonalidad intensa, muestra una película superficial continua y oscura, se observa la presencia de yeso microcristalino en la interfase entre el mortero y la costra, que disgrega la superficie del mortero y cristaliza hacia el interior del ligante del mortero (figuras 9.13.c y 9.13.d).

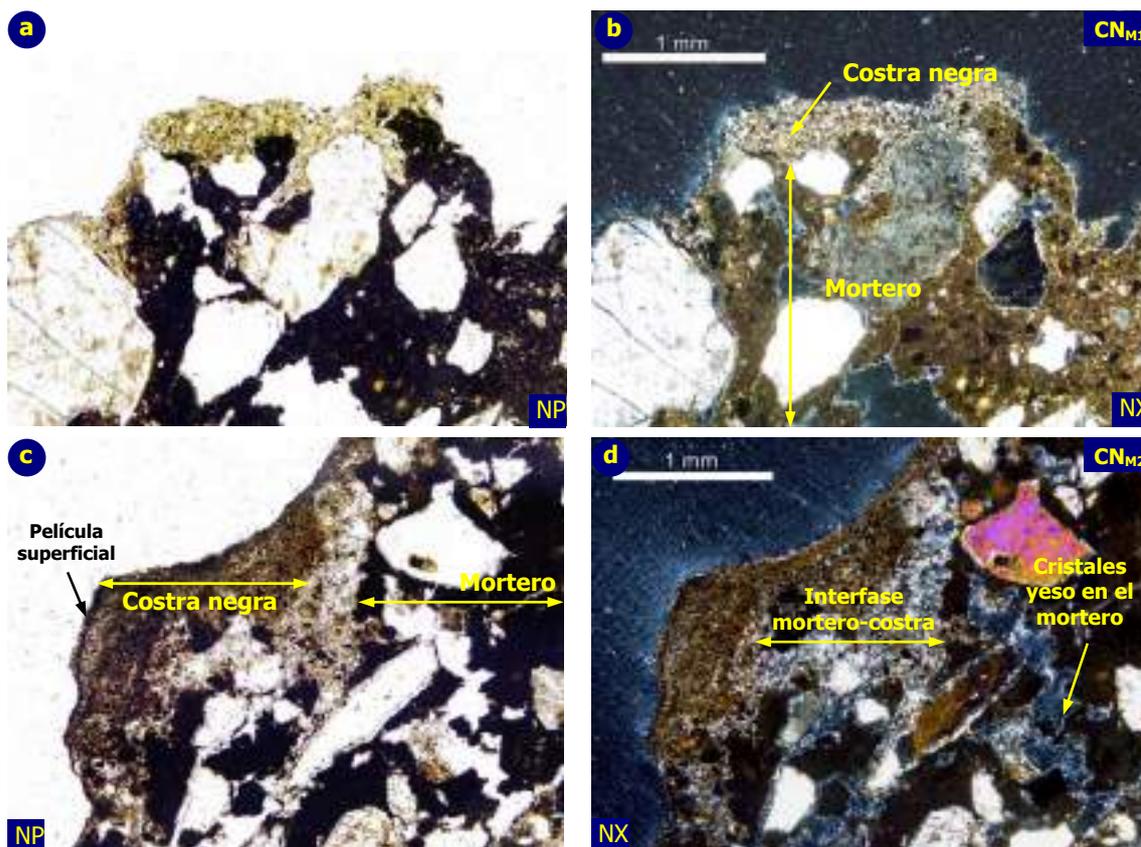


Fig.9.13. Aspecto observado al microscopio petrográfico de polarización de las costras negras desarrolladas sobre los morteros de junta. Nícoles paralelos (NP), nícoles cruzados (NX).

a - b. Mortero fachada (muestra CN_{M1} ≈ tipología MJE₁, mortero de cal y cemento).

c - d. Mortero muro (muestra CN_{M2} ≈ tipología MJM₁, mortero de cemento).

Mediante MEB-ES, se observa que la costra negra sobre el mortero de fachada se dispone heterogéneamente sobre el mortero, afectando la sulfatación en ocasiones al interior del mortero (figura 9.14.a). El análisis EDS permite su diferenciación, resultando significativa la presencia de azufre (S) en la costra y casi ausente en el mortero. La figura 9.14.b permite observar la superficie de la costra, observándose un tapiz constituido por la coalescencia de cristales de yeso y de partículas, siendo importante la presencia de silicio (Si), calcio (Ca) y azufre (S), identificándose además potasio (K), hierro (Fe), sodio (Na), magnesio (Mg), aluminio (Al), silicio (Si) y cloro (Cl). Respecto a la costra negra desarrollada sobre el mortero del muro, se observan abundantes cristales de yeso lanceolados (figura 9.14.c), mostrando los análisis un importante contenido en calcio (Ca) y azufre (S). En ocasiones, se observa igualmente una capa que se dispone sobre el mortero como un tapiz (figura 9.14.d) en donde además de azufre (S) y calcio (Ca) la presencia de silicio (Si) y aluminio (Al) es muy significativa, identificándose cristales lanceolados de yeso hacia el interior del mortero (figura 9.14.d).

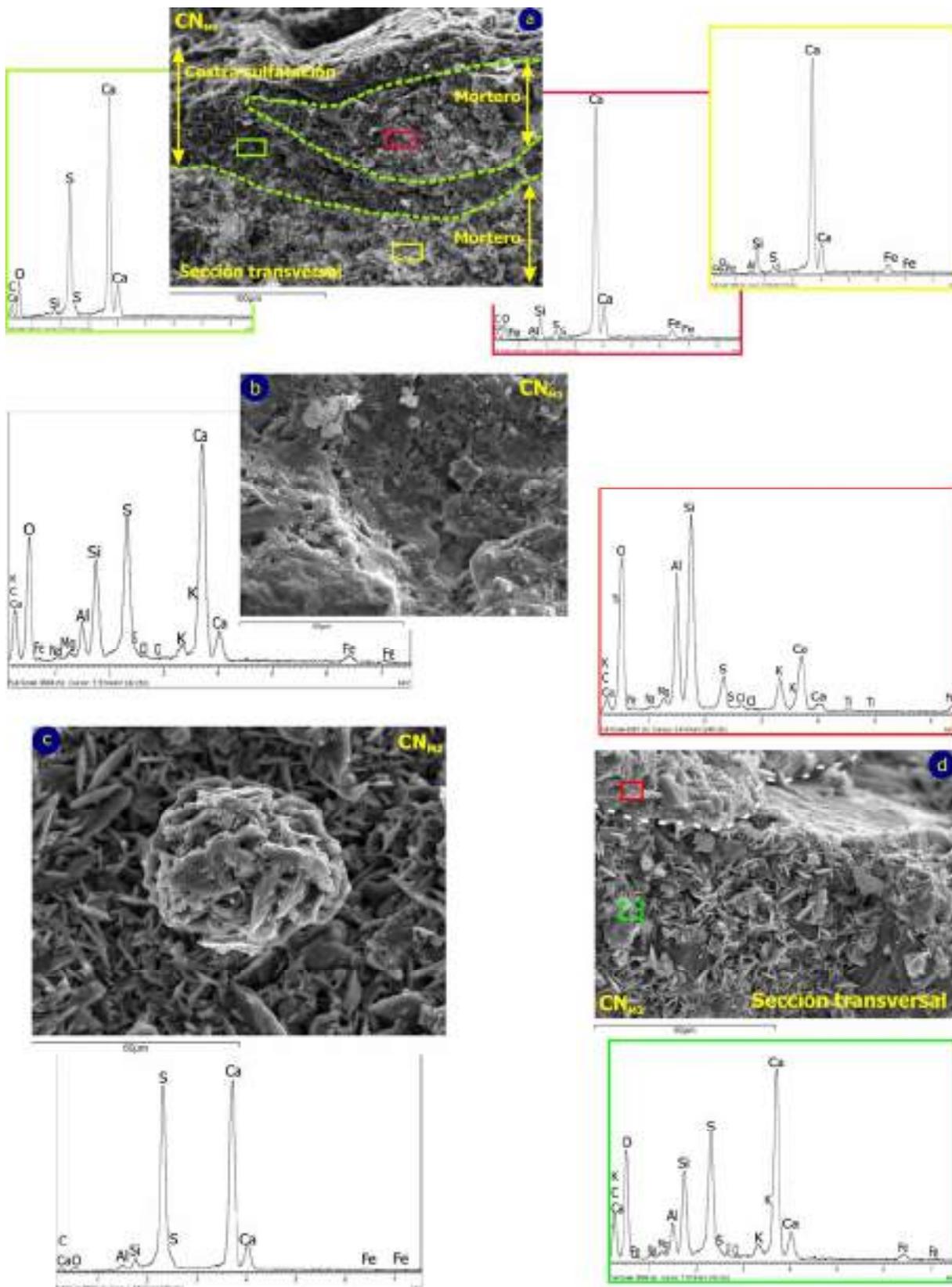


Fig.9.14. Imágenes de MEB-ES y análisis químico elemental de la costra negra desarrollada sobre las tipologías de morteros de junta más representativas en las fachadas y en el muro perimetral.

- a - b. Mortero fachada (muestra CN_{M1} ≈ tipología MJE₁, mortero de cal y cemento).
- c - d. Mortero muro (muestra CN_{M2} ≈ tipología MJM₁, mortero de cemento).

9.4.3.b. Biofilm sobre el mortero (muestra BIO)

Mediante MOP, el biofilm se observa como una película oscura homogénea que se acopla a la superficie del mortero y presenta una importante continuidad lateral, interrumpida cuando el árido del mortero sobresale de la superficie (figura 9.15). En ocasiones, bajo esta película oscura se observa una zona que presenta una tonalidad clara y, hacia el interior del mortero, puede atenderse a la colonización microbiana (figuras 9.15.c y 9.15.d). Por otro lado, el mortero presenta cierto grado de fisuración (figuras 9.15.e y 9.15.f).

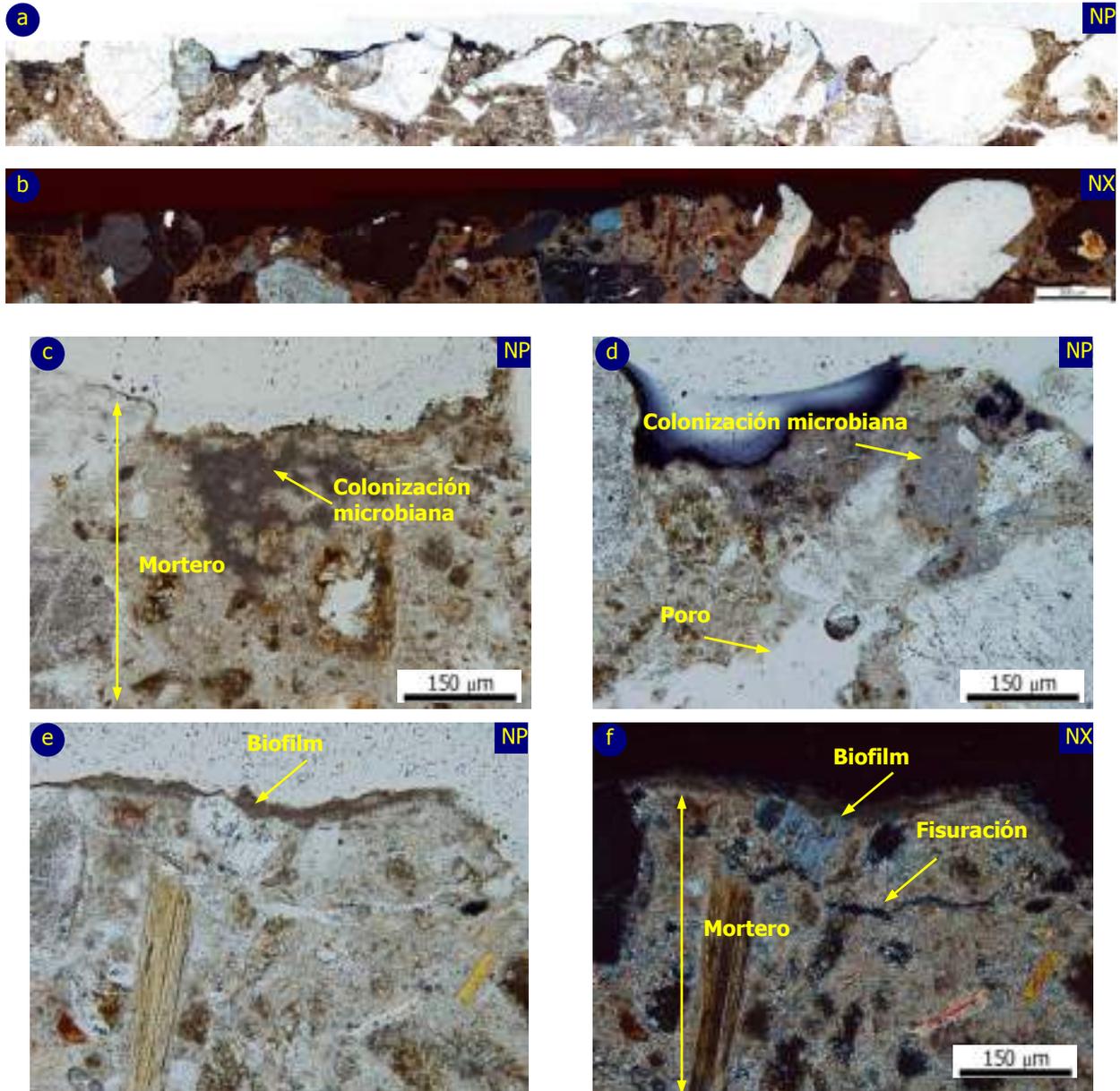


Fig.9.15. Imágenes obtenidas mediante microscopio petrográfico de polarización (MOP) del biofilm desarrollado sobre el mortero de fábrica (muestra BIO). Nícoles paralelos (NP) y nícoles cruzados (NX).

En las figuras 9.16 y 9.17 se observa la comunidad litobiótica desarrollada sobre el mortero de fábrica muestreado, analizada mediante MEB en modo electrones retrodispersados (ER). En general, la colonización se corresponde con líquenes crustáceos de morfología lobular que crecen directamente a partir del ligante, y líquenes chasmoendolíticos que se introducen en las fisuras y/o huecos existentes entre los áridos y el ligante⁸.

Puede atenderse tanto a la estructura macroscópica de los talos liquénicos epilíticos, constituida por el córtex superior, la capa algal y la médula, como a la interfase formada por el talo liquénico crustáceo y la superficie del mortero. Estos talos se disponen completamente adheridos al mortero (figuras 9.16.a, 9.16.b y 9.16.c), no pudiéndose en ocasiones establecer la profundidad que alcanza el liquen y dónde comienza el mortero (figura 9.16.b). Hacia la superficie del mortero se diferencia una zona superficial (1), donde el mortero queda englobado en los talos liquénicos, y otra zona más interna (2) donde se observa el inicio de la colonización (figura 9.16.a). En algunas zonas se observan los apotecios o cuerpos fructíferos del liquen (figura 9.16.c) y se aprecia cómo las hifas del micobionte se introducen en ligante (figuras 9.16.c y 9.16.d). Si bien los hongos endolíticos son principalmente chasmoendolíticos (figura 9.16.e), algunos parecen tener un nicho ecológico euendolítico, pues se introducen activamente en el mortero (figura 9.16.f).

La figura 9.17.a ofrece una visión general de una de las secciones transversales analizadas, indicándose mediante recuadros de colores la localización de las zonas analizadas con mayor grado de detalle. En la figura 9.17.b se puede observar la morfología lobular de los talos liquénicos epilíticos y en el mortero se diferencian dos zonas, una más externa (1) donde el mortero con elevado grado de disgregación queda englobado en los talos y otra zona más interna (2) en la que el mortero, con mejor estado de conservación, comienza a ser colonizado por los hongos (2). En ocasiones se observan colonias de cianobacterias asociadas a los talos liquénicos (figura 9.17.c). A favor de las fisuras se produce la colonización del mortero por hongos de tipo "black yeast", hongos en fase de levadura identificados por sus morfologías celulares redondeadas, las cuales aparecen agrupadas y dispuestas en forma de rosario⁹ (figuras 9.17.e, 9.17.f y 9.17.g). Se aprecia cómo estos hongos se introducen en huecos y/o fisuras conectados con el exterior, continuando su colonización por la fisuración del mortero.

⁸ Los microorganismos epilíticos son aquellos que se desarrollan en las zonas más superficiales del material, mientras que los endolíticos se introducen hacia el interior del mismo, diferenciándose, por ejemplo, los chasmoendolíticos, que colonizan fisuras del material conectadas con el exterior, o los euendolíticos, que penetran activamente en el sustrato (Golubic et al. 1981).

⁹ Los black yeast, referidos en Gorbushina (2007) como hongos microbiológicos negros, son hongos de crecimiento lento típicos de ambientes urbanos.

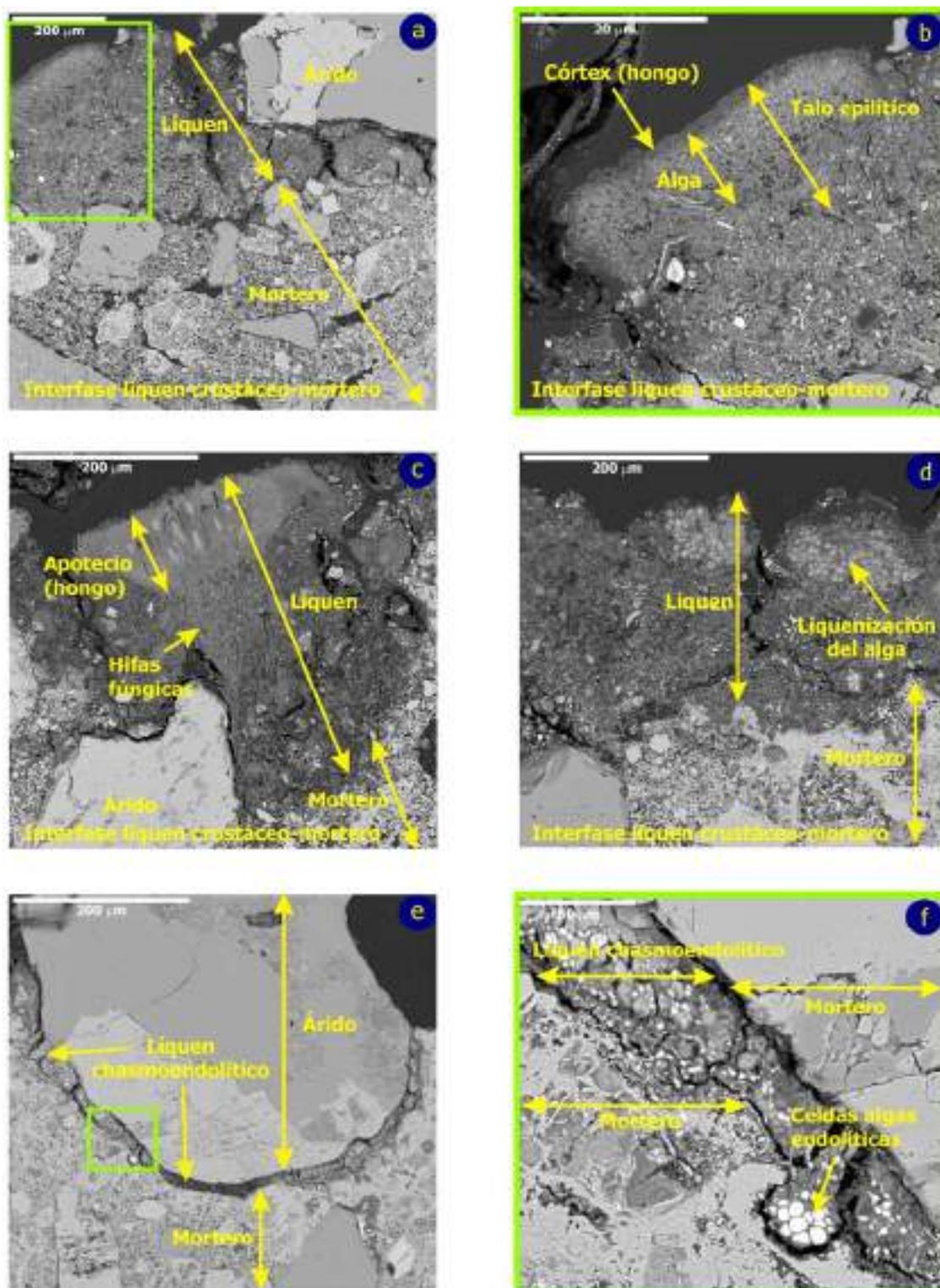


Fig.9.16. Imágenes de MEB-ER de los líquenes que colonizan el mortero de junta muestreado.

Las imágenes corresponden a secciones transversales.

Las figuras 9.16.b y 9.16.f se corresponden con las zonas recuadradas en las figuras 9.16.a y 9.16.e, respectivamente.

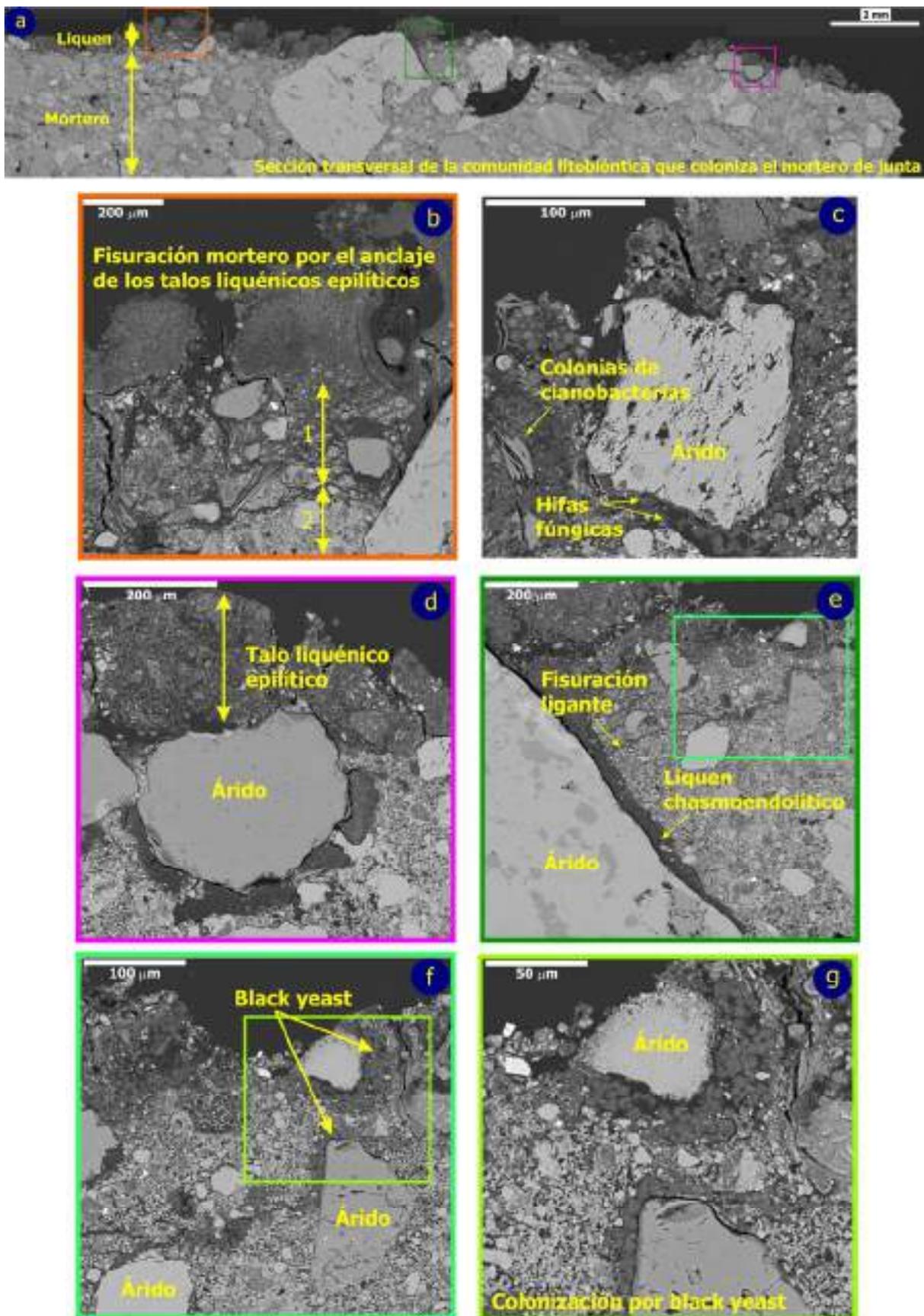


Fig.9.17. Imágenes obtenidas con MEB-ER de la interfase formada por los talos liquénicos crustáceos y la superficie del mortero de junta.

Las imágenes corresponden a secciones transversales.

Las figuras 9.17.b, 9.17.d y 9.17.e se corresponden con las zonas recuadradas en la figura 9.17.a. La figura 9.17.f se corresponde con la zona recuadrada en la figura 9.17.e y la figura 9.17.g con la recuadrada en la figura 9.17.f.

9.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

9.5.1. Costras negras de sulfatación en la caliza y deterioro físico-químico versus estético

Se confirma la existencia de costras negras de sulfatación, con diverso grado de desarrollo, en las superficies de los niveles inferiores de los paramentos con grados de tolerancia C o D. La zona interna de las costras se corresponde con una capa de sulfatación, caracterizada por la presencia de cristales de yeso cuyas morfologías especialmente lanceoladas confieren una importante porosidad y rugosidad, favoreciendo la retención de la materia particulada, que se acumula en el exterior de la costra. Estas partículas, constituidas principalmente por silicio y aluminio, otorgan una tonalidad oscura a la capa de sulfatación, parecen dificultar el desarrollo de morfologías cristalinas, proporcionando a la vez cierta protección a los cristales formados en el interior.

Si bien la contaminación ambiental aporta el azufre necesario para los procesos de sulfatación (Pye y Schiavon 1989), las costras negras suponen a su vez una importante fuente de azufre, retroalimentando la formación de las propias costras así como del yeso que cristaliza en el interior de las fisuras de la caliza. Ahora bien, la intensa fisuración con precipitación de yeso que muestra la piedra bajo el mortero de junta (figura 9.3.f) así como en la práctica ausencia de costra negra (figura 9.3.h) señala además una fuente interna de azufre, procedente de los morteros de fábrica originales, elaborados a base de yeso (figura 6.21). El crecimiento de los cristales en las fisuras favorece el desprendimiento de material, debilitando la caliza, que queda expuesta nuevamente a los procesos de deterioro. En la medida que estas costras son fuente de azufre y atrapan materia particulada suponen forma y agente de deterioro, implicando la existencia de un daño material en la caliza.

Los patrones de color observados en la portada de la iglesia se corresponden principalmente con los procesos de sulfatación-ensuciamiento y/o disolución-carbonatación que tienen lugar en la superficie de la caliza, comprobándose que efectivamente la materia particulada juega un papel esencial en el grado de tolerancia estética pues su presencia es la principal causa responsable de la intensidad del oscurecimiento de las superficies, mostrando tonalidades desde marrones a intensamente oscuras en función de su acumulación. Los procesos de deterioro resultan más o menos intensos según la altura considerada y el grado de protección de las superficies.

En superficies con grados de tolerancia estéticos A y B, zonas expuestas del nivel superior (3) para la fachada analizada, predominan los procesos de disolución-carbonatación, apenas se produce la sulfatación de la piedra ni la acumulación de materia particulada. Además de no existir deterioro estético, en estas zonas el daño material que experimenta la superficie de la caliza se considera mínimo, pues los procesos de disolución introducen muy ligeras pérdidas de material y, dado el buen estado de conservación que en general presenta la caliza, los procesos de carbonatación otorgan posiblemente cierta protección a las superficies.

En superficies con un grado C la altura condiciona que el daño estético implique un daño material, resultando por un lado los procesos de sulfatación muy significativos en las superficies analizadas salvo en el nivel 3 (espectros figuras 9.5.c, 9.5.d, 9.5.e y 9.6.f) y observándose por otro que, en zonas protegidas, superficies con similar valor de L^* muestran mayor grado de sulfatación a menor altura (espectros figuras 9.6.f y 9.6.g). El ensuciamiento es importante en algunas superficies (espectro figuras 9.5.c), si bien en otras la presencia de partículas debería resultar más significativa (espectros figuras 9.5.e y 9.6.f). Las morfologías cristalinas exentas de partículas observadas en las superficies localizadas en el nivel basamento (0), figura 9.5.d, señalaría que en superficies sometidas a la acción de la lluvia y a la vez localizadas en zonas muy expuestas a las emisiones del tráfico rodado, tienen lugar igualmente procesos de sulfatación, de ahí la tonalidad clara que muestran las superficies pues su lavado favorece que las partículas queden en menor medida retenidas (muestra NIV₄ figura 9.2), remitiendo a la capacidad de la caliza para almacenar azufre sin transformación visible (Winckler 1966).

En zonas que mostraban un grado de tolerancia D el deterioro estético implica un daño material, teniendo lugar la sulfatación generalizada de la superficie de la piedra y la acumulación significativa de materia particulada. En zonas elevadas la retención de partículas no se corresponde con una sulfatación de las superficies especialmente intensa (figura 9.5.g), resultando muy notorios los procesos de sulfatación y ensuciamiento en los niveles inferiores, tanto en zonas expuestas (figuras 9.5.f, 9.6.d y 9.6.e) como protegidas (figuras 9.5.h y 9.6.i).

Por tanto, los resultados obtenidos permiten establecer que en superficies con grados de tolerancia A y B (L^* entre 74-64) no se produce deterioro estético ni físico-químico y que para superficies con grado de tolerancia D ($L^* < 55$) el deterioro estético implica un daño material, no resultando la relación tan definida para las superficies que muestran un grado de tolerancia estética C (L^* entre 64-55). Como se ha indicado, el deterioro estético se traduce en el impacto visual negativo de los paramentos del inmueble debido a su oscurecimiento por la retención de partículas en la superficie de la caliza. Pues bien, como el descenso de la luminosidad (L^*) está directamente relacionado con la progresiva acumulación de los depósitos responsables del ensuciamiento, se puede establecer que a partir de un valor de L^* el deterioro estético implica un deterioro físico-químico. Al indicar este valor que la materia particulada está acumulada en las superficies de forma muy significativa, igualmente señalaría la existencia de costras de sulfatación, quedando las partículas atrapadas. De este modo, los resultados revelan que la presencia de partículas comienza a resultar significativa, implicando por tanto un daño material en la superficie de la caliza, a partir de valores de $L^* < 59$ (figuras 9.5.c y 9.5.e así como espectros de las figuras 9.4.a y 9.4.b, correspondientes a la muestra C_{N1} , con un valor de $L^* = 57$). Se ha considerado bien una interfase C_1 , con un intervalo en valores de L^* (64-59), bien la ampliación de la interfase B_2 , correspondiente en ambos casos a la transición desde que se percibe el oscurecimiento con cierta molestia hasta que se considera las superficies empiezan a mostrar deterioro estético propiamente. En esta transición no se ha podido establecer que tenga lugar el deterioro físico-químico de la caliza.

9.5.2. Procedencia y/o focos de emisión de la materia particulada y partículas esféricas

El estudio de la materia particulada en general y de las partículas esféricas en particular proporciona información sobre los principales depósitos superficiales responsables del ensuciamiento que presentaba la caliza en el año 2006, que se han ido acumulando en la superficie de los paramentos fundamentalmente durante los 20 años transcurridos entre las dos intervenciones de limpieza acometidas, permitiendo establecer sus posibles procedencias y/o focos emisión. Los materiales de construcción y las costras de sulfatación, el aerosol atmosférico y la contaminación antrópica son las tres principales fuentes de procedencia de los diversos constituyentes de la materia particulada analizada así como de las esferas observadas.

Las principales fases minerales identificadas en la materia particulada son yeso, calcita y minerales silicatados, correspondiendo los elementos químicos detectados mayoritariamente bien con partículas constituidas por estas fases minerales bien con otro tipo de partículas, formadas principalmente por aluminio-silicio y/o hierro. La caliza y los morteros de fábrica suponen un importante aporte de calcio, además de presentar ambos materiales silicio, aluminio, hierro y/o potasio en su composición, arcillas la caliza (capítulo 4) y silicatos y aluminosilicatos cálcicos los morteros (capítulo 6). Si bien el granito presenta escasa representatividad en los paramentos, configura el pavimento de la zona de muestreo, y su alteración también puede aportar estos elementos. Por otro lado, las propias costras de sulfatación aportan yeso (Esbert et al. 2001), resultando además el calcio y el azufre constituyentes frecuentes de la materia particulada (Connor 1990).

El yeso igualmente puede proceder del aerosol atmosférico (Charlson et al. 1978, Sánchez et al. 2011) y el material aluminosilicatado es característico de ambientes urbanos (Sitzman et al. 1999). En Madrid, la erosión de la Sierra de Guadarrama así como de la cuenca continental Terciaria del Sureste de la Comunidad de Madrid aporta parte del aluminio y silicio que constituye el aerosol atmosférico de la ciudad. Además, como se indicaba en el capítulo 7, el polvo procedente del Sahara aumenta la concentración de partículas en Madrid (Querol et al. 1998, Artiñano et al. 2003, Salvador et al. 2004) y el calentamiento del suelo y la escasez de lluvia reactivan la suspensión de partículas procedentes del suelo (Artiñano et al. 2004). El tráfico es el principal generador de partículas en suspensión, la fricción de los neumáticos con el asfalto origina partículas que contienen aluminio, silicio, hierro y calcio (Rauterberg-Wulff et al. 1995) y las emisiones de los vehículos diesel contienen yeso, formado posiblemente por la oxidación e hidrólisis del azufre presente en su composición (Kittelson 1998).

El elevado contenido en sulfatos y calcio identificado en la materia particulada (tabla 9.2) indicaría que el azufre está fundamentalmente en forma de sulfatos cálcicos. El mayor contenido en sulfatos detectados en la materia particulada tomada de la fachada posiblemente responda a su exposición directa a las emisiones procedentes de los motores diesel, que generan como se ha indicado partículas ricas en yeso (Kittelson 1998), pues la zona muestreada se localiza en uno de los parkings del inmueble (figura 9.2). Además del yeso y anhídrido identificados, su contenido en cloruros y nitratos, mayor en el muro, podría deberse a su exposición más directa a la contaminación relacionada con los excrementos de animales y humanos (Gomez-Heras et al. 2004). Por otro lado, el sodio (Na), cloro (Cl), magnesio (Mg) y potasio (K) detectados podrían señalar la presencia de otras sales, no identificadas mediante DRX, que pueden formar parte de sales que estén en las superficies pétreas muestreadas, especialmente expuestas a importantes focos de contaminación, e incluso relacionadas con las eflorescencias que los morteros presentaban en algunos paños del muro (figura 9.1.m).

El aspecto y composición de las partículas esféricas o con tendencia esférica permiten conocer algunas de las fuentes de emisión que posiblemente las generaron. Las partículas compactas y lisas que presentan elevados contenidos en silicio (Si) y aluminio (Al) así como aquellas con superficie rugosa que además de ambos elementos contienen potasio (K), titanio (Ti), calcio (Ca) y/o hierro (Fe) proceden principalmente de la combustión de carbones (Sabbioni 1992). Las esferas constituidas principalmente por hierro (Fe) con superficie lisa y aspecto compacto están fundamentalmente generadas por la combustión de carbón y/o fuel-oil de las calderas domésticas (Sabbioni y Zappia 1993). Gran parte del calcio (Ca) y azufre (S) detectado se corresponde con las costras negras en las que están retenidas las esferas, de ahí se identifiquen en todas las muestras analizadas. Ahora bien, las esferas especialmente ricas en ambos elementos también pueden proceder de los motores diesel (Kittelson 1998), suponiendo estas partículas esféricas núcleos de cristalización de yeso (Grossi et al. 1998).

Respecto a las partículas ricas en carbono, aquellas que muestran una tendencia esférica, superficies rugosas, abundantes poros, apariencia hueca y/o aspecto esponjoso y presentan diversos contenidos en azufre (S), silicio (Si), aluminio (Al) y hierro (Fe) proceden fundamentalmente de las emisiones de los motores diesel (Connor 1990, Díaz-Pache et al. 1996, Zou y Hooper 1997), estrechamente relacionadas con el ensuciamiento de fachadas en ambientes urbanos (Brimblecombe y Grossi 2004, 2005). Las que muestran morfologías algo irregulares (figuras 9.11.m y 9.11.n) y/o aspecto orgánico (figura 9.11.e) presentan un origen biológico (Díaz-Pache et al. 1996, Esbert et al. 2001), procediendo posiblemente de los jardines del edificio. Finalmente, sodio (Na), cloro (Cl), magnesio (Mg) y potasio (K) también han sido detectados en las partículas esféricas, correspondiendo en general a sales presentes en las costras que retienen a las esferas, si bien a veces se han identificado esferas enriquecidas en magnesio (Mg) y en fósforo (P), relacionadas posiblemente estas últimas también con excrementos (Esbert et al. 2001).

Por tanto, la mayoría de las partículas esféricas observadas se corresponden con esferas de contaminación emitidas por fuentes antrópicas. La significativa presencia de esferas especialmente ricas en aluminio-silicio y en hierro señala que en el entorno del inmueble los generadores de calor doméstico suponen una importante fuente de emisión de contaminantes, como se indicaba en el capítulo 7. Puede que alguna se generara antes de la sustitución de las calderas de carbón a principios de los años 80, no consiguiendo la actuación de limpieza acometida entre 1984-1986 su completa retirada.

Por otro lado, dada la elevada exposición de las fachadas directas al tráfico rodado, principal emisor de partículas carbonáceas (Cachier et al. 2004), el intensivo uso de los vehículos diesel en estos 20 años así como el elevado grado de ensuciamiento que mostraban las superficies muestreadas, se consideran escasas las esferas carbonosas relacionadas con el ensuciamiento de fachadas que han sido identificadas, con tendencia esférica, abundantes poros y aspecto esponjoso (Sabbioni et al. 2001), únicamente en las muestras tomadas en el cuerpo lateral de la fachada a la calle Maudes (figura 9.10.l) y en la fachada a la calle Alenza (6I_A), con disposición indirecta. La escasa presencia plomo, cuyo contenido es abundante en las partículas procedentes de la combustión de gasolinas (Fisher et al. 1976, Hildeman et al. 1991), que a veces también contienen zinc (Van Borm et al. 1989), posiblemente se corresponda con la reducción de los contenidos de plomo en las gasolinas (Sitzman et al. 1999) así como con la mayor utilización de vehículos con motores diesel durante estos 20 años.

A parte de constituir los principales depósitos responsables del ensuciamiento (Grossi et al. 1998), la materia particulada y las partículas esféricas analizadas pueden acelerar la sulfatación de la caliza y morteros de junta de los paramentos del Antiguo Hospital, principalmente por el importante aporte de azufre que suponen. Además, la presencia de sodio, potasio, magnesio y cloro podría señalar la presencia de otros productos de alteración, como sulfatos sódicos y magnésicos, especialmente perjudiciales para materiales de composición carbonática (Scherer 1999, Tsui et al. 2003, Cultrone et al. 2008). En el caso de las partículas esféricas, debe tenerse en cuenta también la importante presencia de esferas de composición principalmente metálica, suponiendo especialmente las ricas en hierro un catalizador en la reacción de sulfatación (Sabbioni 1992, Cultrone et al. 2008), que las esferas con superficies rugosas y/o abundante porosidad presentan una elevada superficie específica, que tiende a aumentar la humedad de las superficies, facilitando las reacciones de sulfatación así como la retención de contaminantes (Esbert et al. 2001), y que casi el 60% de las esferas analizadas presentan un tamaño entre los 0,1-10 µm, resultando las que más afectan al deterioro de los materiales pétreos (Winkler 1994).

9.5.3. Costras negras de sulfatación en el mortero de fábrica y biofilm como agente de deterioro

Las dos tipologías de morteros de fábrica más ampliamente representadas en los paramentos del inmueble, MJE₁ (mortero mixto de cal y cemento) y MJM₁ (mortero de cemento), experimentan del mismo modo procesos de sulfatación, con el desarrollo de las costras negras observadas en las muestras CN_{M1} y CN_{M2}, en las que igualmente puede observarse la acumulación de materia particulada constituida principalmente por silicio, aluminio y hierro sobre cristales de yeso con forma mayoritariamente de lanza (figuras 9.13 y 9.14). La disgregación que muestran los áridos de ambos morteros, más significativa para el mortero del muro, hacia la superficie responde principalmente a la disolución parcial y sulfatación del ligante (Sabbioni et al. 1998). Los procesos de sulfatación superficial resultan especialmente intensos en el mortero de fábrica del muro, que internamente mostraba también un elevado grado de sulfatación así como la presencia de etringita (figuras 6.25.e y 6.25.f). La intensa cristalización de yeso hacia el interior del mortero (figura 9.13.d) puede provocar la formación de etringita secundaria al reaccionar con los aluminatos cálcicos hidratados del ligante, reacción muy expansiva que puede generar importantes efectos destructivos en los morteros (Taylor et al. 1994).

De este modo, tanto por su elevada exposición a los contaminantes atmosféricos como por su composición y textura, el mortero de fábrica del muro supone una importante fuente de azufre, que favorece el desarrollo de costras negras y la formación de etringita secundaria, además de otros productos de alteración relacionados posiblemente con las eflorescencias observadas (figura 9.1.m). También los morteros de fábrica originales, elaborados a base de yeso y localizados en fachadas y muro, resultan una importante fuente de azufre.

Respecto a la película microbiana estudiada, se trata de una colonización líquénica epilítica y endolítica así como de hongos de vida libre, correspondiéndose con especies resistentes a la contaminación ambiental. La colonización líquénica está especialmente asociada al ligante del mortero y a su fisuración, originando principalmente su deterioro físico, que podría resultar además químico si la comunidad litobiótica llegara a movilizar elementos químicos en las zonas bioalteradas. Los talos líquénicos favorecen la pérdida y disgregación del material, observándose cómo su anclaje contribuye a la descohesión del mortero, en tanto que muchas de las fisuras que presenta están ligadas a puntos de enraizamiento (De los Ríos et al. 2004). El crecimiento de las hifas líquénicas genera importantes tensiones al ir introduciéndose en las grietas del mortero, acelerando la progresiva separación entre el árido y el ligante. La humedad favorece este proceso, pues permite la hidratación de los talos líquénicos y, por tanto, el mayor incremento de las fisuras donde se han introducido. Además, la colonización endolítica posiblemente sea favorecida por la humedad retenida en las fisuras (De los Ríos y Ascaso 2005). También los procesos de humedad-sequedad y/o hielo-deshielo participan en los efectos mecánicos producidos por la colonización microbiana, pues modifican el volumen de los talos líquénicos (Chen et al. 2000).

9.5.4. Intervención en los paramentos del Antiguo Hospital en base a criterios estéticos y de daños

En la medida que las costras negras desarrolladas sobre la caliza y morteros de fábrica son fuente de azufre y atrapan materia particulada suponen forma y agente de deterioro, provocando un daño material y considerándose necesarias una serie de intervenciones en base a criterios estéticos y de daños. Respecto a la caliza, se aconseja no intervenir en superficies que muestren un valor de $L^* > 64$ (grados de tolerancia A y B). Por otro lado, se considera necesaria la limpieza en base a sendos criterios de superficies que muestran valores de $L^* < 59$ (zonas con grados C_2 y D). Como a partir de este valor existe un daño material importante, la limpieza ya es necesaria, no debiéndose contemplar una limpieza completamente necesaria para valores inferiores, como se indicaba para el deterioro estético. De hecho, las intervenciones de conservación que se efectuaran en la superficie de la caliza deben procurar evitar en la medida de lo posible que se alcancen los grados C_2 y D, cuando el daño material ya es importante (tabla 9.4 y figura 9.18). Para la interfase C_1 , estéticamente se recomendaba su limpieza y en las superficies analizadas sólo se ha observado que las zonas protegidas de los niveles inferiores presentan un importante grado de sulfatación en la práctica ausencia de partículas, aspectos que resultan algo contradictorios. Por tanto, los resultados alcanzados no permiten señalar si una limpieza en base a criterios de daños sería necesaria, recomendable o si sería preferible no intervenir.

Tabla 9.4. Correspondencia entre los grados de tolerancia estética y sus intervalos de L^* con el deterioro estético y físico-químico y actuación de limpieza en base a criterios estéticos y de daños.

| Grado tolerancia | L^* | Deterioro estético | Deterioro físico-químico | Limpieza: criterio estético | Limpieza: criterio daños | |
|------------------|-----------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------|
| A | 74-68 | No | No | No intervenir | No intervenir | |
| B | B_1 | No | No | No intervenir | No intervenir | |
| | B_2 Interfase | 65-64 | Cierta molestia | No | Recomendable | No intervenir |
| C | C_1 Interfase | 64-59 | Deterioro estético | Sólo sulfatación ⁽¹⁾ | Recomendable | ¿Intervenir? |
| | C_2 | 59-55 | Deterioro estético intenso | Importante | Necesaria | Necesaria |
| D | <55 | Deterioro estético intolerable | Importante | Completamente necesaria | Necesaria | |

⁽¹⁾ En zonas inferiores y protegidas.

DISPOSICIÓN DIRECTA: PORTADA DE LA IGLESIA Zonas expuestas ■ Zonas protegidas ■
CUERPO CENTRAL DE LA IGLESIA (1D₀₁) **CUERPOS LATERALES DE LA IGLESIA (1D₀₁ - 1D₀₃)**

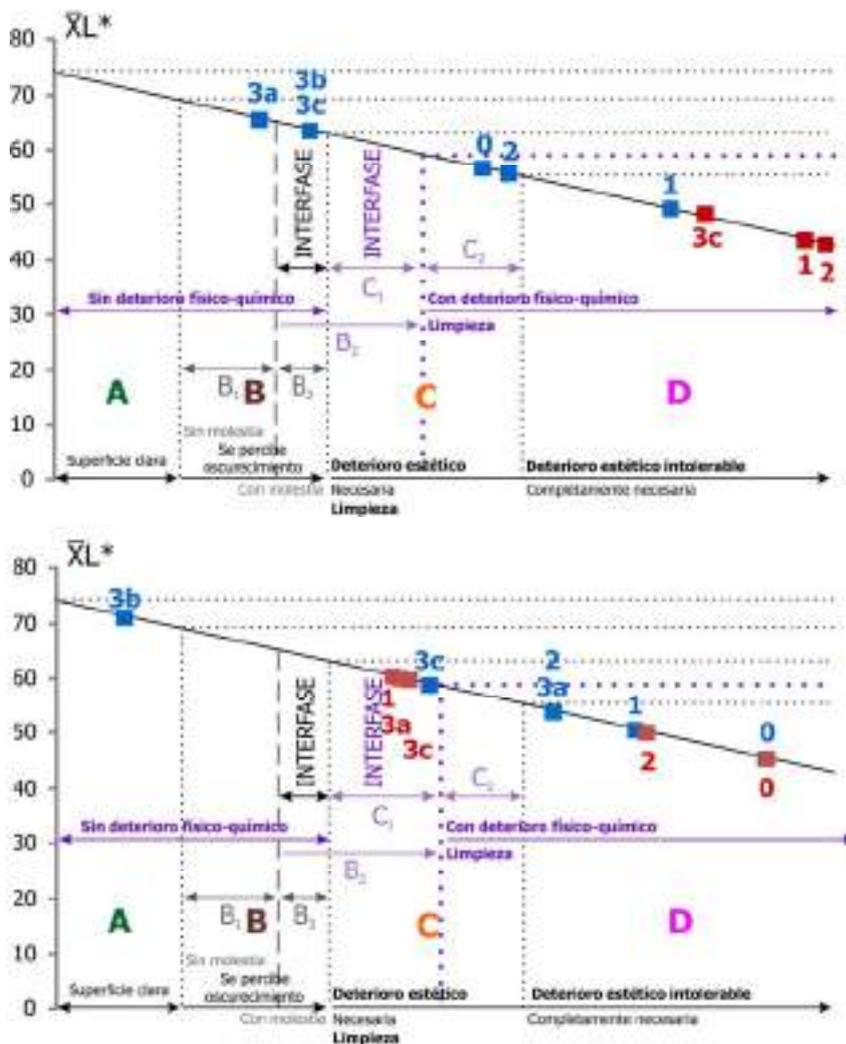


Fig.9.18. Deterioro estético (en negro y grados de tolerancia A-B-C-D) versus físico-químico (en morado) y limpieza en base a criterios estético y de daños.

Se representan las dos posibilidades planteadas respecto al rango del intervalo de tolerancia estética C que incluye valores de $L^* > 59$, bien ampliar la interfase B_2 bien considerar la interfase C_1 . En ambos casos, los valores considerados se corresponderían con una transición que abarca desde que el oscurecimiento empieza a percibirse con cierta molestia hasta que empieza a resultar estéticamente intolerable, desconociéndose si implica un daño material en la superficie de la caliza.

Una limpieza principalmente afectará a la zona externa de las costras, eliminando y/o reduciendo los depósitos responsables del ensuciamiento, alterando en mayor o menor medida la zona interna de la costra según el método empleado y condiciones seleccionadas (capítulos 11 y 12). Por un lado, si se efectúa una limpieza química podría introducirse otros productos potencialmente dañinos para la caliza, y una limpieza física que consiguiera la eliminación de la capa interna provocaría posiblemente cierta erosión en su superficie. Por otro lado, una vez retirada la materia particulada, puede contemplarse la aplicación de productos que minimicen la sulfatación de la piedra, procurando que no sean permeables a los gases (capítulo 10) y teniendo en cuenta que el azufre sigue en las superficies (BERG 1989, Vleugels et al. 1993). Si bien la tonalidad clara de la caliza debida a procesos de sulfatación en sí no supone deterioro estético, la sulfatación de las superficies supone un agente de deterioro real, al ser fuente de azufre, y potencial, en la medida que la rugosidad de las costras favorece la acumulación de partículas y la retención de la humedad.

Los resultados obtenidos para los grados de tolerancia estética A, B y D podrían extrapolarse a la totalidad de las fachadas, considerándose también que para valores de $L^* < 59$ el deterioro estético intolerable que muestra la caliza implica el físico-químico de las superficies. Si bien se ha podido establecer que el daño material va asociado con un deterioro estético intolerable a partir de valores de $L^* < 59$, sería necesario determinar si más superficies con valores de luminosidad comprendidos entre 64 y 59 presentan deterioro físico-químico, pues el grado de sulfatación en la práctica ausencia de partículas observado sólo en las zonas protegidas de los niveles inferiores arroja ciertas dudas. Para ello, el análisis de superficies tomadas de niveles que en las otras fachadas cuyo deterioro estético ha sido analizado y coincide con la interfase C_1 (por ejemplo, en fachada indirecta $3I_R$, zona protegida nivel 2 y zona expuesta nivel 1, figura 8.9) podría arrojar cierta información sobre la evolución del deterioro de las superficies a lo largo de dicha interfase. Así, se podría también establecer si en esta interfase una operación de limpieza resultara recomendable también en base a criterios de daños.

Debe tenerse en cuenta que se comparan grados de tolerancia estéticos, establecidos a partir de la media de diversos valores de luminosidad para cada uno de los niveles establecidos en la vertical (capítulo 8), con la textura y composición de superficies puntuales. Además, para la portada de la iglesia, precisamente tres de los cuatro niveles cuyo valor medio de luminosidad coincide con la interfase C_1 se corresponden con el nivel superior (3) y los procesos de sulfatación y ensuciamiento resultan muy poco significativos en alturas elevadas.

Respecto a la materia particulada, si bien su presencia no tiene porqué implicar necesariamente un daño material en las superficies, a la vista de los resultados obtenidos tras analizar la materia particulada y las partículas esféricas, se considera que aún en ausencia de deterioro físico-químico en la caliza su eliminación podría resultar recomendable en base a criterios de daños, pues como fuente de azufre suponen un agente de deterioro potencialmente perjudicial para la caliza.

En cuanto a los morteros de fábrica, en base a criterios estéticos y de daños se recomienda la completa retirada de la tipología más empleada en el muro perimetral (MJM_1) y los que presentan el desarrollo de biofilms, pues suponen un importante agente de deterioro. Principalmente, por el importante aporte de yeso y otros productos de alteración que suponen los primeros y porque ambos contribuyen de forma muy significativa al deterioro estético de los paramentos, además del grado de disgregación que presentaban. De este modo, las intensas costras negras que presentan los morteros del muro les otorgan un elevado grado de ensuciamiento, que afectos de oscurecimiento de superficies equivale a un grado de tolerancia estética D, equivalente a su vez con el aspecto estético que muestra el biofilm caracterizado, con un valor medio de $L^* = 48$ (Pérez-Monserrat et al. 2013), resultando los hongos negros o "black yeast" identificados un importante agente de deterioro estético debido a las intensas tonalidades oscuras que presentan (Sterflinger y Krumbein 1997, Gorbushina 2007).

El grado de sulfatación que mostraba la tipología de mortero más ampliamente representada en las fachadas (MJE_1) no parece señalar que, en principio, resulte necesaria su retirada, siendo tal vez recomendable su limpieza. Ahora bien, debido a la disgregación superficial que presentaba, se deben efectuar pruebas previas, de modo que el método de limpieza se empleara no incrementara su disgregación. No se considera muy viable la retirada de los morteros de junta originales localizados en el interior de las juntas, elaborados con yeso e importante fuente de azufre. No obstante, dado el tiempo que lleva puesto en obra y que los elementos pétreos en los que la caliza muestra fisuración y descamación superficial son ciertamente escasos, se considera que estos morteros originales no suponen un agente de deterioro preocupante.

9.6. CONCLUSIONES

- En las costras negras analizadas, textural y composicionalmente se diferencian dos zonas; una interna en contacto con el soporte, constituida por cristales de yeso muy definidos, y otra externa con menor grado de cristalinidad donde se depositan abundantes partículas, principalmente de aluminio y silicio. La propia costra de sulfatación supone un importante aporte de azufre y calcio, permitiendo el desarrollo de la costra interna y externamente y retroalimentando el proceso de sulfatación. Las costras negras desarrolladas sobre la caliza y morteros de fábrica empleados en la construcción del Antiguo Hospital contribuyen significativamente al oscurecimiento de los paramentos, provocando un deterioro estético, e implican un daño material en la superficie de los materiales en tanto que suponen una importante fuente de azufre y atrapan partículas.
- Ante la restauración integral a acometer en los paramentos, a la hora de proceder en base a criterios estéticos y de daños se consideran necesarias una serie de actuaciones. Por un lado, dado el grado de cohesión superficial que en general presentan los elementos pétreos, para la caliza la intervención más adecuada resultaría la limpieza de su superficie, efectuando previamente las pruebas correspondientes. Por otro, debido principalmente al elevado grado de sulfatación del mortero de fábrica del muro y al importante desarrollo de biofilms en el mortero localizado en zonas elevadas, participando además ambos muy significativamente en el deterioro estético de las fachadas, resulta esencial su retirada. El nuevo mortero de fábrica que se aplicara debería presentar cierta capacidad sulforresistente así como biocida. Otra medida preventiva para minimizar el deterioro físico-químico sería evitar la acumulación de materia particulada en las superficies horizontales, especialmente mediante el mantenimiento de las juntas rehundidas, pues supone un aporte de azufre y de otros productos de alteración que pueden resultar dañinos para la piedra.
- Se establece la correspondencia directa entre el deterioro estético y el físico-químico, en tanto que la acumulación de materia particulada es la principal causa responsable del ensuciamiento de la caliza, condicionando la intensidad y tonalidad del ensuciamiento, y que son precisamente los cristales de yeso los que favorecen en gran parte la retención de partículas. De forma general, la distribución de color de los paramentos se corresponde efectivamente con los procesos de disolución-carbonatación (en zonas con grados de tolerancia estética A y B) y sulfatación-ensuciamiento, con el desarrollo de costras negras (grados C y D), que tienen lugar en la superficie de la caliza. Los procesos de deterioro resultan más o menos intensos según la altura considerada y el grado de protección de las superficies, resultando especialmente significativos los procesos de sulfatación y ensuciamiento en los niveles inferiores (niveles 0 y 1), tanto en zonas expuestas como en protegidas.
- Los resultados señalan que las superficies con grados de tolerancia estética A y B (L^* entre 74 y 64) apenas presentan daño material y que el oscurecimiento percibido como deterioro estético (grado de tolerancia C, L^* entre 64 y 55) implica un importante deterioro físico-químico cuando la luminosidad de las superficies presenta un valor inferior a 59 (rango C_2 y grado de tolerancia D). No se ha podido determinar la correspondencia entre ambos deterioros para superficies que muestran valores de luminosidad comprendidos entre 64-59, de ahí la interfase C_1 establecida. Esta interfase incluiría desde superficies en donde la deposición de partículas no implica daño material, "zonas grises" según Camuffo et al. (1982), hasta superficies donde el deterioro estético empieza a implicar un daño material. Se considera necesario analizar más superficies cuyo valor de luminosidad quede incluido en la interfase C_1 , midiendo la luminosidad en cada una de las muestras tomadas, de modo se pudiera establecer a partir de qué valor el deterioro estético empieza a implicar un daño material, resultando por tanto una operación de limpieza recomendable también en base a criterios de daños.

- En tanto que la relación deterioro estético/físico-químico muestra una correspondencia definida en superficies con grados de tolerancia A, B, C₂ y D, igualmente resultan definidas las intervenciones a efectuar que apostaran por retirar y/o minimizar el deterioro en estas superficies. De este modo, en base a criterios de daños, se recomienda por un lado la no intervención en superficies que muestren grados de tolerancia A y B, así como la limpieza generalizada de todas las superficies con grados de tolerancia C₂ y D.
- Si bien ante la restauración integral de fachadas a acometer debe estar basada en criterios de intervención estéticos y de daños, finalizada la limpieza debe procurarse en la medida de lo posible que en las superficies se alcancen valores de luminosidad inferiores a 59, cuando el deterioro estético resulta intolerable y el daño material en la superficie de la piedra importante. Para ello, se insiste en la necesidad de apostar por el mantenimiento preventivo de los paramentos, siguiendo las medidas e intervalos de tiempo propuestos para minimizar el deterioro estético, ralentizando con ello igualmente el daño material.
- Se considera que una intervención de limpieza resulta necesaria en base a criterios estéticos cuando la superficie de la caliza muestre un valor de luminosidad inferior a 64. Entonces, para actuar además en base a criterios de daños, se propone bien limpiar las superficies una vez alcancen el valor de L* a partir del cual el deterioro estético empieza a implicar un daño material (valor que estaría entre 59 y 64), bien considerar igualmente el valor de L* = 64. Si bien en ambos casos la limpieza supondría una medida preventiva, en tanto que se limpiaría antes de que el deterioro físico-químico fuera importante, en el primer caso se apostaría por una menor intervención, en tanto que sólo se limpia cuando empieza a haber daño material, mientras que en el segundo se tal vez se limpiarían zonas donde la materia particulada provoca un deterioro estético pero no existe un daño material.
- El importante grado de desarrollo de costras negras que presenta la caliza en muchas zonas del plano principal, de fachada y/o del muro (considerado este plano en general como superficie expuesta pero que realmente está protegida por diferentes planos de avance), así como las abundantes partículas esféricas emitidas por procesos de contaminación, reflejan la intensa contaminación ambiental existente en el entorno donde se localiza el Antiguo Hospital.
- A pesar de las actuaciones de conservación se efectuaran, recomendadas o consideradas necesarias, resultará esencial la reducción de los niveles de SO₂ para minimizar el grado de sulfatación en la superficie de la caliza y de los nuevos morteros de fábrica que se pusieran en obra.
- En tanto que el estudio realizado permite conocer como es el daño material y su relación con el aspecto estético que muestran los paramentos, estableciendo las zonas donde los procesos de sulfatación y ensuciamiento resultan más intensos y, por tanto, las superficies que en mayor medida deben ser controladas y/o donde es más necesario actuar, supone una metodología de análisis previa a intervenciones de conservación trasladable a otros inmuebles ubicados en áreas urbanas con similar problemática.
- Finalmente, una intervención de conservación debe estar fundamentada en criterios de intervención estéticos y de daños, reclamando el estado que mostraban en el año 2006 los paramentos del Antiguo Hospital su limpieza inmediata en base a sendos criterios. Ahora bien, igual de importante es tomar las medidas adecuadas que permitan ralentizar su deterioro en la medida de lo posible.

CAPÍTULO 10. RESISTENCIA DE LA PIEDRA CALIZA DEL ANTIGUO HOSPITAL A LA ACCIÓN DEL SO₂

La superficie de la caliza que configura los paramentos experimenta procesos de sulfatación y el desarrollo de costras negras, debido principalmente a su interacción con la humedad y contaminantes atmosféricos existentes en el entorno urbano donde se localiza el inmueble, fundamentalmente el SO₂ y la materia particulada.

La piedra caliza se ha sometido en laboratorio al ensayo contemplado en la norma UNE-EN 13919:2003, Determinación de la resistencia al envejecimiento por la acción del SO₂ en presencia de humedad. Se han establecido cuatro variantes de ensayo, analizando la respuesta de la caliza en función de dos atmósferas con diferente grado de agresividad (saturación en SO₂) y considerando si el ataque tiene lugar en superficies secas o húmedas, con textura superficial lisa o rugosa y en presencia o ausencia de partículas. De este modo, se ha prestado especial atención a factores intrínsecos de la caliza y se comprueba empíricamente la incidencia de la humedad superficial y de la presencia de partículas en la sulfatación de la caliza.

También, se ha evaluado la respuesta de la piedra al ataque por SO₂ tratada con hidrofugantes, para determinar su resistencia al ataque ácido y en qué medida influyen en la sulfatación de la piedra. Se han ensayado dos tratamientos, uno a base de metiletoxi-polixiloxanos y otro a base de silanos y siloxanos. Los criterios seguidos para determinar la resistencia de la caliza, con y sin hidrofugantes, a la acción del SO₂ han sido, por un lado, la variación de su cromatismo y textura superficial. Por otro, mediante DRX y MEB-EDS se han analizado los productos de reacción generados durante el ataque y sus morfologías.

Debido a los procesos de sulfatación y disolución que tienen lugar durante el ensayo, principalmente se produce el blanqueamiento y la disgregación de la superficie de la caliza. El grado de saturación en SO₂ de la atmósfera y el menor grado de humedad en las superficies se revelan como los factores que en mayor medida aceleran estos procesos de deterioro. La presencia de partículas favorece la sulfatación de la caliza, manifestada al principio por el amarillamiento de las superficies y su progresivo oscurecimiento conforme van quedando retenidas, así como su erosión/disgregación superficial debido a la capacidad abrasiva que presentan.

La evaluación efectuada indica no sólo la baja efectividad y/o idoneidad de los productos ensayados frente a los procesos de sulfatación para la caliza del inmueble, sino que su aplicación resulta totalmente contraproducente. De este modo, actúan como una pantalla que retiene la humedad, creando una dinámica que favorece los procesos de condensación y, por tanto, las reacciones de sulfatación. Ante la posible hidrofugación de la superficie de la caliza, debe ensayarse necesariamente el producto a emplear antes de ser aplicado, recomendándose el ensayo de productos que eviten la sulfatación de la caliza y minimicen el tiempo de permanencia de la materia particulada en su superficie, como surfactantes o nanocomposites híbridos.



Probetas secas con superficie lisa y exentas de partículas sometidas a una atmósfera saturada en SO₂ antes de efectuar su lavado (izda.), cristales de sulfito cálcico hemidratado (hannebachita) generados durante el ataque ácido (centro) y ruptura del hidrofugante aplicado (dcha.).

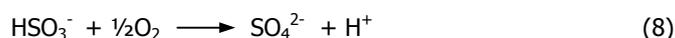
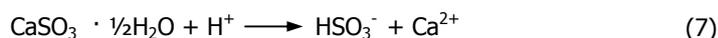
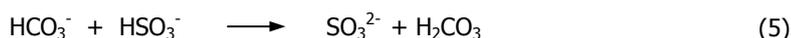
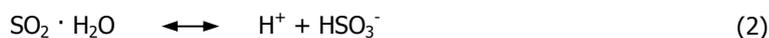
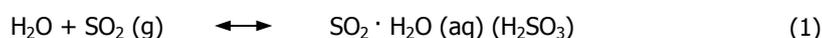
10.1. INTRODUCCION

10.1.1. Simulación en laboratorio de los procesos de sulfatación

Como se ha indicado, en zonas urbanas con importantes niveles de contaminación ambiental, los materiales de composición carbonática experimentan procesos de sulfatación a partir de su interacción con la humedad y el SO₂, con el desarrollo de yeso autigénico o de neoformación (Camuffo et al. 1982, Ausset et al. 1999, Lefèvre et al. 2007) y la formación de costras negras debido a la progresiva deposición de materia particulada (Winkler 1966, Del Monte et al. 1981, Bonazza et al. 2005).

Son muy numerosos los factores que influyen en la sulfatación de piedras carbonáticas, posibilitando la simulación del proceso en laboratorio entender su actividad (Ausset et al. 1996), principalmente mediante la utilización de cámaras climáticas y la confección de modelos empíricos que permiten cuantificar el proceso y predecir su evolución (Spedding 1969, Camuffo et al. 1983, Del Monte y Sabbioni 1984, Ausset et al. 1996 y 1999, Rodríguez-Navarro y Sebastián 1996, Sabbioni et al. 1996, Grossi et al. 1998 y 2000, Böke et al. 1999, Grossi y Murray 1999, Grossi et al. 2000, Böke y Gauri 2003, Pérez-Bernal y Bello 2003, Cultrone et al. 2007, Lefèvre et al. 2007, Gomez-Heras et al. 2008, Unterwurzacher y Mirwald 2008). También, se ha investigado el proceso de sulfatación mediante la inmersión de probetas en soluciones con diferente grado de acidez (McGee y Mossotti 1992, Franzoni y Sassoni 2011) o la realización del envejecimiento acelerado contemplado en la norma UNE-EN 13919:2003, Métodos de ensayo de piedra natural: Determinación de la resistencia al envejecimiento por la acción del SO₂ en presencia de humedad (Mateos y Esbert 2007, Olaru et al. 2010, Simionescu et al. 2011, Pérez-Monserrat et al. 2012).

La reacción del SO₂ con la calcita se ve fuertemente favorecida cuando se produce la condensación en la superficie de la piedra (Elfving et al. 1994), en condiciones de elevada humedad, generándose en la superficie una película acuosa (Camuffo et al. 1983), donde se producen las reacciones de sulfatación. Böke et al. (1999) explican el proceso de sulfatación como sucesivos estadios en los que, bajo condiciones ambientales, tienen lugar una serie de reacciones en la interfase gas-fase acuosa-superficie de la caliza¹. Una vez difundido el SO₂ de la fase gaseosa en la película acuosa, en esta fase acuosa tiene lugar la disolución del SO₂ en iones hidrógeno y bisulfito (1), generándose el ácido sulfuroso (H₂SO₃), y su posterior disociación (2 y 3), que conlleva la disolución de la calcita en los iones bicarbonato y calcio (4) y la precipitación del sulfito cálcico hemidratado (6). Este sulfito se disuelve parcialmente en la fase acuosa (7), se oxida a sulfato mediante los iones bisulfito (8)², formándose finalmente el yeso al reaccionar el ión sulfato con el calcio presentes en la fase acuosa (9).



¹ En la fase gaseosa no existe reacción alguna (Olausson et al. 1993).

² Los iones bisulfito (HSO₃⁻) son generados por disolución del sulfito cálcico hemihidratado (7) y/o disociación del SO₂ en la película acuosa (2).

Muchos de los trabajos indicados señalan la formación del sulfito cálcico hemidratado o hannebachita (Sabbioni et al. 1996, Grossi et al. 1998, Böke et al. 1999, Grossi y Murray 1999, Böke y Gauri 2003, Simionescu et al. 2011), producto intermedio que se genera en la oxidación del SO₂ a sulfato, al reaccionar el SO₂ con la calcita en presencia de humedad (Amoroso y Fassina 1983) y que es 3 veces más soluble que la calcita (Simionescu et al. 2011). Sólo se ha identificado en laboratorio, pues en condiciones reales de exposición la presencia de otros contaminantes como NO_x, O₃ y MP facilita la oxidación directa de SO₂ a sulfato (Ross et al. 1989, Grossi y Murray 1999). Entonces, el yeso puede formarse a partir de la oxidación del SO₂, su posterior transformación a ácido sulfúrico mediante reacciones de hidrólisis y reacción con la calcita (capítulo 7), así como por oxidación de los iones sulfito, resultando la presencia de humedad esencial en ambos casos. Por tanto, para que tenga lugar la reacción de oxidación del SO₂ a sulfato y se forme yeso, además de resultar esencial la humedad en la superficie de la piedra, es necesaria una reacción de oxidación para convertir bien el SO₂ a ácido sulfúrico bien la sal sulfito intermedia a sulfato cálcico dihidratado (Grossi y Brimblecombe 2007).

Muchos de estos trabajos también analizan en qué medida la presencia de partículas influye en el proceso de sulfatación (Del Monte y Sabbioni 1984, Ausset et al. 1996, Rodríguez-Navarro y Sebastián 1996, Sabbioni et al. 1996, Ausset et al. 1999, Böke et al. 1999, Pérez-Bernal y Bello 2003, Cultrone et al. 2007, Gomez-Heras et al. 2008). Como se ha referido, la textura y humedad superficial de la caliza así como la presencia de partículas en su superficie condicionan los procesos de sulfatación (Fassina 1992, Ausset et al. 2000, Bede 2000, Benavente et al. 2003, Esbert et al. 1992, Davidson et al. 2000, Grossi et al. 2003), influyendo también la presencia de tratamientos de conservación (Olaru et al. 2010, Simionescu et al. 2011, Urosevic et al. 2013). Los efectos relacionados con la sulfatación superficial de la piedra implican una serie de transformaciones visuales, principalmente modificaciones de su color y textura, generándose además una serie de productos de reacción que, en conjunto y con el tiempo, provocan el deterioro de los materiales de composición carbonática. Relacionado con el carácter acumulativo del SO₂, una elevada concentración equivaldría a mayor tiempo de exposición, aumentando la velocidad de reacción con la concentración de SO₂ (Benedetti et al. 2008). Ausset et al. (1996) proponen un modelo caracterizado por un nivel de saturación que impide la penetración del azufre en la caliza, señalando que la velocidad de deposición de SO₂ desciende con el tiempo.

10.1.2. Color y textura superficial de la caliza y el proceso de sulfatación

Las piedras de composición carbonática presentan una elevada reactividad con el SO₂ (Grossi et al. 2000), especialmente debido a su composición química, mostrando un intenso blanqueamiento como consecuencia de su interacción, en presencia de humedad, que resulta muy significativa si presentan una tonalidad clara. En atmósferas urbanas contaminadas, el depósito de la materia particulada conlleva el descenso de la luminosidad (L*) y el aumento de la coordenada cromática b* (capítulo 8), modificaciones que principalmente se corresponden con el oscurecimiento y amarillamiento de las superficies, respectivamente (Alonso et al. 2004, Grossi et al. 2007), siendo normalmente el segundo más rápido que el primero. Además de responder a procesos de sulfatación directamente relacionados con la presencia de partículas (Grossi et al. 2000), el amarillamiento puede deberse también al aumento de la rugosidad superficial (Spedding 1969), a la deposición u oxidación de materiales orgánicos y/o hierro (Simon y Sneathlage 1996), a cambios mineralógicos o a la polimerización de compuestos orgánicos (Fort et al. 2000, Fort et al. 2002, Varas et al. 2007). Los procesos de amarillamiento relacionados con la presencia de materia particulada generan lo que se denomina la capa de yeso epigénica (Vergés-Belmin y Dignard 2003), resultado de su interacción con el soporte pétreo (Grossi y Brimblecombe 2008).

La rugosidad de las superficies modifica sensiblemente su cromatismo natural (Benavente et al. 2003), favoreciendo el proceso de sulfatación pues mayor es la superficie efectiva para la deposición de SO₂ así como de la superficie reactiva que permite su oxidación (McGee y Mossotti 1992, Grossi et al. 2007, Grossi y Brimblecombe 2007). La rugosidad puede incluso influir en la naturaleza y morfología de las fases minerales que cristalizan sobre la piedra, pues la microtextura de la superficie condiciona la evaporación y absorción de agua (Urosevic et al. 2013). Por otro lado, los fenómenos de disolución química y disgregación asociados al deterioro de la caliza por procesos de sulfatación (Amoroso y Fassina 1983, Reddy 1988), que pueden llegar a suponer hasta el 30-50% de pérdida material (Pérez-Bernal y Bello 2003), erosionan las superficies, modificándose sensiblemente la textura superficial de la piedra y dejando las superficies muy expuestas nuevamente al ataque por SO₂.

10.1.3. Presencia de materia particulada y el proceso de sulfatación

Como se ha indicado, las partículas emitidas por fuentes de contaminación antrópicas juegan un papel fundamental en las reacciones de sulfatación, pues al adsorber el SO₂ desempeñan un efecto catalítico en la reacción de oxidación de SO₂ a sulfato, favoreciendo su oxidación a sulfato y, con ello, la formación de yeso (Urone et al. 1968, Novakov et al. 1974, Fisher et al. 1976, Cheng et al. 1987, Sabbioni 1992, Ausset et al. 1999, Török et al. 2011). Esto es debido en gran parte a la capacidad de la materia particulada de fijar SO₂ como sulfato en presencia de humedad, así como de retener humedad y evitar los procesos de evaporación en las superficies (Rodríguez-Navarro y Sebastián 1996). Para la sulfatación de caliza en ambientes urbanos, resulta interesante que estas partículas induzcan la oxidación del SO₂ a temperatura ambiente (Barbaray et al. 1977).

Craig et al. (1974) señalan que estas partículas son ricas en sulfatos, favoreciendo el azufre la transformación de la calcita en yeso (Del Monte et al. 1981). En la formación de yeso, mientras que las partículas carbonáceas pueden aportar iones calcio, los iones sulfato se originan a partir de las partículas y/o del SO₂ (Sabbioni et al. 1996), señalando Del Monte et al. (1984) que estas partículas en presencia de humedad pueden nuclear cristales de yeso en ausencia de SO₂. Como también se ha indicado, su tamaño ultrafino igualmente favorece la sulfatación, pues su elevada superficie específica y reactividad permiten una mayor capacidad para la adsorción del SO₂ e incrementan su efecto catalítico en las reacciones de oxidación, suponiendo las partículas puntos para la nucleación del yeso (Tartelli et al. 1978, Sabioni 1992, Grossi et al. 1998, Ausset et al. 1999).

10.1.4. Presencia de humedad en el proceso de sulfatación

La adsorción de SO₂ se ve favorecida por la humedad, acelerándose las reacciones que producen la sulfatación de la caliza (Spedding 1969, Serra y Strarace 1978, Tartarelli et al. 1978, Camuffo et al. 1982, Johansson et al. 1988, Spiker et al. 1992, Lewry et al. 1994, Grossi et al. 1998). La humedad en las superficies es la condición básica y necesaria para que la reacción de sulfatación tenga lugar (Serra y Strarace 1978, Camuffo et al. 1982), incrementándose exponencialmente el depósito de SO₂ y la velocidad de oxidación cuando la humedad relativa aumenta (Spiker et al. 1992). En ausencia de humedad o en condiciones de baja humedad relativa (<40%), el SO₂ y la calcita no reaccionan (Johansson et al. 1988), si bien la oxidación del SO₂ y formación de yeso pueden tener lugar con muy poca cantidad de agua (Pérez-Bernal y Bello 2003).

La deposición de contaminantes en los materiales está muy condicionada por el tiempo en el que las superficies permanecen húmedas, siendo más efectivo en superficies húmedas (Bonazza et al. 2009). Además, las sales en la superficie de los materiales mantienen la humedad, favoreciendo a su vez la retención de materia particulada (Grossi y Brimblecombe 2007). El carácter higroscópico del yeso, resulta esencial para mantener la capa de humedad en la superficie, aumentando el depósito seco con el incremento de humedad y permitiendo a su vez adsorber más SO₂, favoreciendo las reacciones de sulfatación (Lipfert 1989, Grossi et al. 1998).

10.1.5. Tratamientos de conservación y la sulfatación de la piedra caliza

Para minimizar la entrada de agua en los materiales pétreos, las intervenciones de conservación acometidas en inmuebles patrimoniales suelen incluir la hidrofugación de las fachadas, como tratamiento de protección ante los agentes medioambientales. Los hidrorrepelentes más ampliamente usados en el mercado están constituidos a base de polímeros acrílicos y siloxanos, presentando buena adhesión al soporte, baja viscosidad, profunda penetración, habilidad de polimerizarse *in situ*, buena resistencia a la meteorización y estabilidad medioambiental (Alvarez de Buergo y Fort 2001, Maravelaki et al. 2006).

No obstante, antes de ser aplicados en zonas con importantes niveles de contaminación atmosférica, debe evaluarse su resistencia a la acción del SO_2 así como en qué medida pueden influir en la sulfatación de materiales de composición carbonática, pues su aplicación puede resultar contraproducente. De este modo, si bien estos productos dificultan la entrada de agua, pueden atrapar el vapor de agua en las superficies y/o adsorber SO_2 , acelerando la velocidad de las reacciones de sulfatación, así como resultar permeables a los gases y/o aerosoles, debido principalmente a que las grandes estructuras moleculares que constituyen los hidrofugantes aplicados favorecen su entrada (Olaru et al. 2010, Simionescu et al. 2011, Pérez-Monserrat et al. 2012). Por otro lado, aunque estos tratamientos pueden proteger a la piedra de la deposición de partículas, en ocasiones pueden contrariamente favorecer la retención de las partículas responsables del ensuciamiento (Fort et al. 2000, 2002).

Algunos trabajos apuntan hacia la aplicación de surfactantes, como oxalato potásico y oleato sódico, que al reaccionar con la calcita originan oxalato u oleato cálcico, respectivamente (Böke et al. 2002, 2003), compuestos que otorgan una importante protección a los sustratos carbonáticos (Vázquez-Calvo 2014), resultando menos vulnerables al ataque ácido (Cezar 1998). Otras investigaciones recomiendan la utilización de un nanocomposite híbrido sintetizado para reducir los procesos de sulfatación sobre piedras calizas, que en definitiva inducen un máximo de sulfatación en las superficies de modo que una vez alcanzado ya no se sulfatan más (Olaru et al. 2010, Simionescu et al. 2011).

Recientemente, se están aplicando sobre las superficies de materiales de construcción recubrimientos cuyas propiedades fotocatalíticas e hidrofílicas les confieren capacidad autolimpiante cuando incide la radiación UV sobre ellos. El empleo de estos recubrimientos resulta un método de conservación muy efectivo desde el punto de vista ambiental y económico (Rudic et al. 2014), pues otorgan propiedades autolimpiantes a los materiales a largo plazo, dificultando enormemente que la suciedad se adhiera a las superficies tratadas y facilitando su limpieza (Pinho y Mosquera 2013). Las recientes investigaciones apuntan al diseño de nuevos materiales autolimpiantes basados en nanopartículas. Estos nuevos productos presentan una modificación del comportamiento a escala nanométrica que les confiere un importante incremento de su eficacia. Así, se han aplicado exitosamente recubrimientos de partículas de TiO_2 nanoestructuradas, que quedan en la superficie de la piedra como un película transparente con capacidad autolimpiante (Munafó et al. 2014).

Asimismo, se han diseñado nanocomposites a base de $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$, con actividad igualmente fotocatalítica capaces de eliminar los contaminantes depositados en las superficies, y que además mejoran su resistencia mecánica y protección frente al deterioro producido por la cristalización de sales (Pinho et al. 2013). Por otro lado, se han sintetizado sistemas basados en $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ añadiendo Zn y Al, resultando recubrimientos que también presentan propiedades autolimpiantes e hidrofóbicas foto-inducidas (Rudic et al. 2014). Más recientemente, la síntesis de fotocatalizadores mejorados capaces de eliminar los contaminantes depositados en las superficies apunta a una nueva línea que consiste en dopar a estos sistema de $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ con plata, elemento que propicia la mayor actuación fotocatalizadora de estos nanocomposites además de su innata capacidad antimicrobiana (Navabpour et al. 2014, Pinho et al. 2014).

10.2. OBJETIVOS

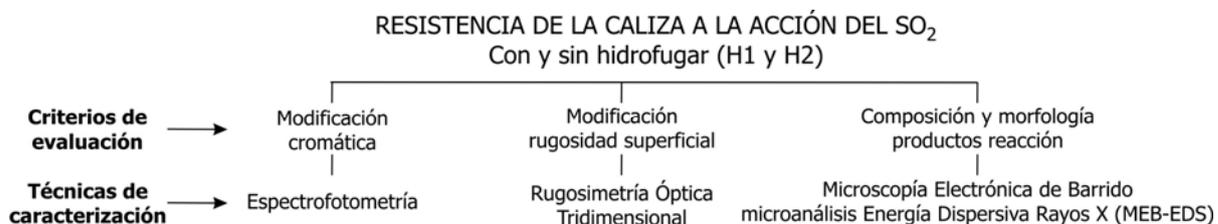
Se simula en laboratorio el deterioro físico-químico que se produce en la superficie de la caliza empleada en los paramentos del Antiguo Hospital por la deposición seca del SO₂ en presencia de humedad, según el ensayo de envejecimiento acelerado recogido la norma UNE-EN 13919:2003. Por un lado, se evalúa la resistencia de la caliza al ataque ácido y, por otro, la resistencia a la acción del SO₂ de dos hidrofugantes aplicados sobre la caliza. En ambos casos, los criterios de evaluación y las técnicas de caracterización han sido los mismos, quedando recogidos en el esquema inferior.

10.2.1. Resistencia de la caliza a la acción del SO₂

- Analizar las modificaciones visuales relativas a cambios en la tonalidad y rugosidad superficiales, comparando el valor de ciertos parámetros cromáticos y de rugosidad antes y después del ataque, mediante Espectrofotometría y Rugosimetría Óptica Tridimensional.
- Atender a la composición y morfologías de los productos de reacción generados durante el ensayo, mediante DRX y MEB-EDS en modo electrones secundarios (ES).

10.2.2. Respuesta de la caliza a la acción del SO₂ tratada con hidrofugantes

- Determinación de la resistencia a la acción del SO₂ de los dos hidrofugantes ensayados y en qué medida influyen en la sulfatación de la caliza, en base a la evaluación de su idoneidad, efectividad y durabilidad frente a los diversos factores considerados.
- Para ello, por un lado se analizan las modificaciones cromáticas y de textura superficial que tienen lugar en las superficies tratadas con dos hidrofugantes diferentes. Por otro, se establece en qué medida la presencia de los hidrofugantes favorece o minimiza los efectos generados por la acción de las partículas depositadas así como los productos de reacción generados durante el ataque.



El estudio presentado atiende a algunos de los numerosos factores que influyen en la sulfatación de la caliza empleada en la construcción del inmueble, permitiendo individualizar sus efectos en mayor o menor medida y estableciéndose su incidencia en la sulfatación de las superficies. De este modo, se analiza el papel de la agresividad (saturación o concentración en SO₂) de la atmósfera generada durante el ataque así como del grado de humedad en las superficies y su textura superficial y, también, se establecen los efectos generados en la caliza por la acción de la materia particulada. Puesto que el ensayo de envejecimiento acelerado permite determinar en qué medida los hidrofugantes aplicados influyen en la resistencia de la caliza a la acción del SO₂, los resultados obtenidos deben tenerse en cuenta previamente a la aplicación de hidrofugantes, fundamentalmente cuando el material a proteger son piedras de composición carbonática ubicadas en zonas con un elevado grado de contaminación ambiental (Pérez-Monserrat et al. 2012).

10.3. METODOLOGIA

10.3.1. Preparación de muestras y realización del ensayo de envejecimiento acelerado

Para efectuar el ataque ha sido esencial disponer de piedra sin alterar que no haya sido expuesta a la contaminación ambiental (Lefèvre et al. 2007), de modo esté en completa disposición para reaccionar y no contenga azufre acumulado, empleándose una pieza pétreo tomada igualmente del acopio ubicado en el patio inglés de la nave Sureste (epígrafe 4.1.3, figura 4.10.b) y eliminando la zona superficial. La textura superficial rugosa otorgada en la cara a analizar de las probetas ha sido realizada con gradina neumática en el taller de cantería de la Escuela Técnica de Arquitectura Superior de la Universidad Politécnica de Madrid. Se han dimensionado 48 probetas con un tamaño aproximado de 6 x 2,5 x 1,5 cm (para la evaluación de la modificación del cromatismo y textura superficiales) y otras 48 probetas de 1 x 0,5 x 0,5 cm (para el estudio por MEB-EDS de los productos de reacción generados durante el ataque).

Se ha ensayado un hidrofugante fabricado a base de metiletoxi-polixiloxanos (H1), resina modificada de bajo peso molecular, y otro a base de silanos y siloxanos (H2), requiriendo ambos su dilución en White Spirit para su aplicación. Los tratamientos han sido aplicados por inmersión, manteniéndose sumergidas 3 min las probetas de mayor tamaño y 1 min las pequeñas. El curado de los hidrofugantes (eliminación del disolvente y penetración del producto en el interior de la probetas) se ha realizado en estufa a $60^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ (a mayor temperatura los productos pueden perder su efectividad), colocando las probetas sobre varillas de vidrio para que la cara inferior seque debidamente. Se ha realizado una pesada cada 24 h hasta masa constante, considerándose estabilizada cuando la diferencia entre dos pesadas consecutivas es inferior a 0,05%.

Cierta cantidad de materia particulada (MP) tomada directamente del inmueble ha sido espolvoreada y extendida con pincel en las superficies de algunas probetas. Correspondiente a la materia particulada analizada en el capítulo anterior, concretamente la muestra MP₂ (apartado 9.4.2)³.

Se ha efectuado en laboratorio el ensayo de envejecimiento acelerado contemplado en la norma UNE-EN 13919:2003 Métodos de ensayo de piedra natural. Determinación de la resistencia al envejecimiento por la acción del SO₂ en presencia de humedad⁴. El ensayo se ha llevado a cabo en los laboratorios del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) de Tres Cantos (Madrid), en probetas sin tratar y tratadas con los dos hidrofugantes aplicados, atendiendo a las modificaciones que se producen en las superficies mediante su comparativa antes y después del ensayo, una vez lavadas y secas.

Esta norma, que simula la deposición seca del SO₂ en presencia de humedad, contempla que las muestras estén saturadas en agua y dos variantes de ensayo, a partir de dos concentraciones diferentes de SO₂, que generan atmósferas con distinto grado de agresividad o saturación en SO₂. En el ensayo realizado se analiza el deterioro experimentado en la piedra igualmente en función dos concentraciones de SO₂, pero considerando también otros tres factores relacionados con la superficie de la caliza. Estas son, el grado de humedad en las superficies (probetas secas y húmedas), la textura superficial (probetas con superficie lisa y rugosa) y la presencia de materia particulada (probetas con y exentas MP). De este modo, son 4 las variantes de ensayo establecidas y en cada una se incluyen 12 probetas (tabla 10.1).

³ Se aclara que lo que se pretende analizar es el efecto de la materia particulada en las superficies durante el ataque, una vez las probetas son lavadas y secadas. En el caso de las superficies tratadas, no se analiza si los hidrofugantes minimizan su deposición, pues las partículas se han depositado intencionadamente. Se recuerda nuevamente que no se ha podido disponer únicamente de partículas carbonáceas.

⁴ Esta norma fue anulada en mayo de 2011 sin reemplazo (BOE-A-2011-11075) por cancelación de la norma europea a la que se adoptaba (resolución CEN/BT-C25/2011), debido principalmente a su excesiva agresividad.

Tabla 10.1. Variantes de ensayo y nº de probetas sometidas al ataque por SO₂.

| | | SOLUCIÓN FUERTE 200 ml H ₂ SO ₃ +60 ml H ₂ O | | | | | | SOLUCIÓN DÉBIL 60 ml H ₂ SO ₃ +200 ml H ₂ O | | | | | |
|-------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------|----|----|-------------|----|----|---------------------------------------------------------------------------------|----|----|-------------|----|----|
| | | Sup. lisa | | | Sup. rugosa | | | Sup. lisa | | | Sup. rugosa | | |
| SUPERFICIES | | ST | H1 | H2 | ST | H1 | H2 | ST | H1 | H2 | ST | H1 | H2 |
| HUMEDAS | Sin MP | 1 | 2 | 3 | 7 | 8 | 9 | 13 | 14 | 15 | 19 | 20 | 21 |
| | Con MP | 4 | 5 | 6 | 10 | 11 | 12 | 16 | 17 | 18 | 22 | 23 | 24 |
| | | Sup. lisa | | | Sup. rugosa | | | Sup. lisa | | | Sup. rugosa | | |
| SUPERFICIES | | ST | H1 | H2 | ST | H1 | H2 | ST | H1 | H2 | ST | H1 | H2 |
| SECAS | Sin MP | 25 | 26 | 27 | 31 | 32 | 33 | 37 | 38 | 39 | 43 | 44 | 45 |
| | Con MP | 28 | 29 | 30 | 34 | 35 | 36 | 40 | 41 | 42 | 46 | 47 | 48 |

Variante A: Solución fuerte (atmósfera saturada en SO₂) + superficies húmedas. Probetas [1 - 12]

Variante B: Solución débil (atmósfera poco saturada en SO₂) + superficies húmedas. Probetas [13 - 24]

Variante C: Solución fuerte (atmósfera saturada en SO₂) + superficies secas. Probetas [25 - 36]

Variante D: Solución débil (atmósfera poco saturada en SO₂) + superficies secas. Probetas [37 - 47]

Algunos autores recomiendan emplear concentraciones de SO₂ muy superiores a las reales, para acelerar el proceso de sulfatación y mantener durante un tiempo relativamente corto la misma velocidad de ataque que la existente en las condiciones a las que está expuesta la piedra a tiempo real (Rodríguez-Navarro y Sebastián 1996, Sabbioni et al. 1996, Simao et al. 2006, Mateos y Esbert 2007, Unterwurzacher y Mirwald 2008). Otros autores, sin embargo, utilizan concentraciones mucho más bajas, similares a las existentes en el ambiente urbano contaminado real que se pretende simular en el laboratorio (Johnson et al. 1990, Spiker et al. 1992, Lewry et al. 1994, Ausset et al. 1996, Grossi y Murray 1999). El empleo de distintas concentraciones de SO₂ permite generar dos atmósferas con diferente grado de agresividad (Mateos y Esbert 2007).

La norma indica que por cada 50 l de volumen del contenedor, para la solución fuerte se diluyen 500 ml de ácido sulfuroso (H₂SO₃)⁵ en 150 ml de H₂O (desmineralizada) y para la concentración débil 150 ml de H₂SO₃ en 500 ml de H₂O, de modo que la solución fuerte genera una atmósfera saturada en SO₂ y la débil una atmósfera poco saturada. Puesto que el volumen del contenedor empleado es de 20 l, se han diluido 200 ml de H₂SO₃ en 60 ml de H₂O y 60 ml de H₂SO₃ en 200 ml de H₂O respectivamente.

La cámara de ataque utilizada consiste en un contenedor de vidrio marca Simax provisto de un bastidor de metacrilato sobre el que se colocan las probetas en horizontal, con la cara a analizar hacia arriba, de manera queden al menos a 1 cm sobre la solución, que se vierte en el fondo de la cámara (figura 10.1). El contenedor se cierra herméticamente de modo se mantenga la atmósfera saturada en SO₂ en el interior de la cámara durante todo el ataque, y en el borde de la tapa se colocan tiras reactivas de pH para identificar posibles fugas de SO₂.



Fig.10.1. Contenedor de vidrio utilizado (a) y colocación de las probetas en su interior (b).

⁵ Que contiene una pureza entre el 5 y 6% de SO₂.

Las muestras han sido sometidas al ataque durante 21 días, manteniéndose elevada la humedad el interior del contenedor (Böke et al. 1999, Grossi et al. 2000, Simionescu et al. 2011), de modo se produzcan procesos de condensación y se incremente el depósito de SO₂ y la velocidad de su oxidación a sulfato (Grossi et al. 1998). Pasado este tiempo, las probetas se extraen de la cámara y son lavadas sin frotar con agua desmineralizada, considerándose que los residuos de ácido han sido eliminados cuando el pH del agua de lavado es ≈5,6, correspondiente al pH del agua de lluvia limpia (Tecer 1999, Franzoni y Sassoni 2011), determinado con el medidor de pH digital de la casa Metrohm, modelo 826 pH mobile. Las probetas se han secado en estufa a 60°C±5°C hasta alcanzar masa constante.

Se simula la deposición seca del SO₂ en presencia de humedad sobre la superficie de las probetas, tanto en las húmedas como en las secas (Rodríguez-Navarro y Sebastián 1996, Grossi y Murray 1999), si bien las superficies húmedas lo están más que las secas durante el ensayo. Para saturar las probetas en agua, tanto las tratadas como las sin tratar, se han sumergido en agua a unos 20±5°C durante las 24 h previas al inicio del ensayo. En las probetas tratadas la entrada de agua en las probetas es menor, quedando además incorporada parcialmente en la superficie de la piedra (Alvarez de Buergo y Fort 2001, Fort et al. 2002).

Debe tenerse en cuenta que la deposición seca provoca la acumulación en las superficies de sales delicuescentes e higroscópicas, que si permanecen en estado líquido atraen la humedad del aire, contribuyendo a mantener la capa de humedad en las superficies (Grossi et al. 1998, Grossi y Murray 1999), aspecto que facilita la adsorción del SO₂ atmosférico y su oxidación a sulfato, aumentando de nuevo el depósito seco (Vos 1988, Liepfert 1989).

10.3.2. Técnicas de caracterización

La determinación de la modificación cromática debido a procesos de sulfatación resulta especialmente útil en piedras monocromáticas (Del Monte et al. 1984). Los parámetros cromáticos seleccionados para establecer la variación del cromatismo por la acción del SO₂ han sido la luminosidad de color (L*) y los índices de blanco (IB) y de amarillo (IA) (Grossi et al. 2000, Benavente et al. 2003, Gomez-Heras et al. 2008, Olaru et al. 2010, Simionescu et al. 2011). Las medidas se han realizado en la superficie de la cara superior de las probetas, efectuándose 10 medidas por probeta. También se ha calculado el índice global de cambio de color (ΔE^*), que muestra la diferencia total de color de las probetas ensayadas respecto al color que presentaban antes del ataque por SO₂, $\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$ (Grossi et al. 2000, Boutin y Leroux 2000).

Para determinar las variaciones originadas en la rugosidad superficial de las probetas (Tecer 1999, Bede 2000, Benavente et al. 2003, Alonso et al. 2004), se ha empleado el rugosímetro de superficie óptico del equipo TRACE-iT, patentado y distribuido por la empresa Innowep GmbH. El equipo realiza las medidas de rugosidad, de forma no destructiva, utilizando luz blanca y sin contactar directamente con la superficie. Es portátil y permite la realización de mapas topográficos de rugosidad en 3D a microescala (micrómetros). El campo de medida es de 5 x 5 mm (25 mm²) y la resolución es de 2,5 µm en el eje Z y 2,5 µm en los ejes X/Y, siendo el número de datos recogidos en los ejes X/Y de 2000. Los parámetros de rugosidad seleccionados han sido Ra, Rq y Rz, calculados por el software del equipo según la norma DIN EN ISO 4287:1997. Ra es la media aritmética de los valores absolutos de las desviaciones del perfil de la línea media; Rq representa la raíz cuadrada de la desviación del perfil, es decir, la raíz cuadrada de la media de la rugosidad; y Rz es la suma de las distancias verticales entre los cinco picos más altos y los cinco picos más profundos dentro de la superficie de muestra considerada, resultando el parámetro más representativo de los tres.

Para el análisis de la modificación cromática y de la textura superficial, como blanco (muestras antes del ensayo) se han considerado 6 probetas, esto es, caliza sin tratar (ST), tratada con H1 y tratada con H2, con superficie lisa y rugosa. De este modo, el estudio comparativo antes-después del ensayo se ha realizado respecto a los mismos blancos de referencia, comparando los datos medidos en la superficie de las probetas después del ensayo respecto al mismo blanco correspondiente. El número de medidas realizadas en las superficies han sido 10 para los parámetros cromáticos y 3 para los de rugosidad. No existen blancos específicos para las probetas sobre las que se ha depositado la materia particulada, se consideran los blancos correspondientes (ST, H1 y H2) y se analizan las modificaciones superficiales experimentadas durante el ensayo en las probetas sobre las que se han depositado las partículas, una vez finalizado el mismo, lavadas y secadas las probetas.

Únicamente para las probetas con superficie lisa se han efectuado mapas tridimensionales de las superficies medidas tras el ensayo, obtenidos a partir de la media de los tres mapas resultantes para cada una de las tres medidas efectuadas. Como los datos proporcionados por el software del equipo TRACE-iT presentan un formato data.map, que no puede ser importado directamente en ArcGIS (data.asc), resulta necesario, en primer lugar, convertirlos a formato ASCII (American Standard Code for Information Interchange). Posteriormente, el mapa de rugosidad se obtiene generando el Modelo Digital de Elevación y proyectando éste en 3D mediante el módulo ArcScene de ArcGIS. El siguiente paso es obtener el conjunto de muestras comparables entre sí, teniendo como referencia una escala establecida con un intervalo de valores que abarquen todo el rango de datos, asignando cada dato muestreado a un intervalo concreto y una tonalidad determinada (escala de grises). También se han realizado perfiles bidimensionales de rugosidad, de longitud máxima 5 mm y variación en altura de ± 1 mm, en las probetas que han experimentado las variaciones de la textura superficial más y menos significativas.

Mediante Difracción de Rayos X (DRX) se han determinado las fases minerales constituyentes de los productos de reacción generados durante el ataque. Estos productos se han tomado tras el lavado y secado de las probetas, en las caras y aristas laterales e inferiores de las probetas exentas de materia particulada sometidas a las variantes C y D, pues en ellas han resultado más abundantes los productos generados.

Con Microscopía Electrónica de Barrido en modo electrones secundarios (MEB-ES), se ha atendido a las morfologías cristalinas de los productos generados durante el ensayo (Edinger 1973, Del Monte y Sabbioni 1984, McGee y Mossotti 1992, Rodríguez-Navarro y Sebastián 1996, Sabbioni et al. 1996, Ausset et al. 1999, Böke et al. 1999, Grossi et al. 2000, Cultrone et al. 2007, Mateos Redondo y Esbert 2007, Oлару et al. 2010, Simionescu et al. 2011). Se han empleado las probetas de menor tamaño, atendiendo a su cara superior, conforme a las 4 variantes de ensayo e igualmente a los diversos factores considerados, para caliza tratada y sin tratar. Mediante microanálisis Energía Dispersiva de Rayos X (EDS) se ha establecido cualitativamente la composición química elemental de las superficies y de las morfologías cristalinas identificadas, mediante análisis zonales y/o puntuales.

El ensayo efectuado permite analizar las modificaciones inducidas por el ataque del SO₂ en la superficie de la piedra para una concentración de SO₂, humedad y temperatura que permanecen constantes en cada una de las 4 variantes de ensayo, individualizando la incidencia de la presencia de partículas y el grado de humedad en la superficie de la caliza, sin contar con otras muchas variables que intervienen en condiciones reales de exposición (acción del viento, presencia de agua de lluvia y de otros contaminantes atmosféricos...). No obstante, como sucede con los ensayos de envejecimiento acelerado en general, los resultados deben analizarse teniendo en cuenta que se trata de una simulación y que se extrapolan situaciones que suceden a pequeña escala a la escala real de un edificio (Johnson et al. 1990, Smith 1996, Inkpen 2003). Además, debe tenerse en cuenta que en este ensayo los procesos se simulan en superficies horizontales, cuando en las fachadas tienen lugar principalmente en superficies verticales.

10.4. RESULTADOS

10.4.1. Modificaciones visuales

Finalizado el ensayo, principalmente se produce el blanqueamiento y/o amarillamiento de la superficie de las probetas y las probetas saturadas en agua presentan mayor incrustación de las partículas depositadas, que quedan muy empapadas y presentan a su alrededor un amarillamiento que se difunde (figuras 10.2.a y 10.2.b). Los productos de reacción generados durante el ataque se concentran en los valles de las superficies rugosas, en el interior y alrededor de poros y fisuras (figura 10.2.b) así como en la base y aristas inferiores de las probetas (figura 10.2.c). Además de resultar especialmente abundantes en las probetas sometidas a la variante de ensayo C, estos productos se concentran de forma significativa en las aristas de las probetas tratadas, sobre todo en aquellas tratadas con H1. Durante el lavado de las probetas, la materia particulada se elimina con mayor facilidad de las superficies lisas, de las superficies húmedas y de las superficies tratadas.



Fig.10.2. Aspecto de las probetas finalizado el ataque y antes de su lavado.

Sin MP (a), con MP (b) y productos de reacción en las probetas, con y sin MP, dimensionadas para MEB-EDS (c).

Tras el lavado y secado de las probetas (figura 10.3), se observa que las probetas secas (lisas y rugosas) exentas de MP sometidas a atmósferas saturadas (variante C) experimentan un muy significativo grado de blanqueamiento, quedando completa y homogéneamente cubiertas por una costra blanca. El blanqueamiento resulta más intenso y homogéneo en las probetas tratadas con H1 y algo heterogéneo aunque también intenso en la caliza sobre la que se ha aplicado H2. Las superficies sometidas a la variante C presentan cierto grado de disgregación, algo más significativo para las superficies lisas y a su vez en las que se ha depositado MP, perdiéndose de forma generalizada la rugosidad superficial otorgada, que ha desaparecido casi por completo.

El amarillamiento de las superficies se observa sobre la costra de tonalidad blanca, en zonas que durante el ataque han quedado cubiertas por MP y/o en zonas próximas, especialmente en las probetas sometidas a la variante de ensayo C. Atendiendo a las probetas con MP sometidas a las variantes C y D, especialmente en las superficies lisas, se observa que aquellas sometidas a la variante D experimentan casi exclusivamente el amarillamiento de su superficie mientras que en las atacadas con la variante C este amarillamiento se produce sobre el intenso blanqueamiento de la superficie.

Si bien antes del lavado se observaba una mayor incrustación de la MP sobre las superficies húmedas, una vez lavadas y secas, las partículas han quedado especialmente retenidas en las superficies rugosas de las probetas secas sometidas a la variante C, en gran parte atrapadas entre los productos de reacción generados, camuflando en parte el amarillamiento de las superficies. Atendiendo a las probetas rugosas tratadas con H2 y sometidas a las variantes A (nº12), C (nº36) y D (nº48), y comparando con las correspondientes probetas sin tratar y tratadas con H1, se observa que en las primeras las partículas depositadas antes del ataque han quedado en menor medida retenidas.

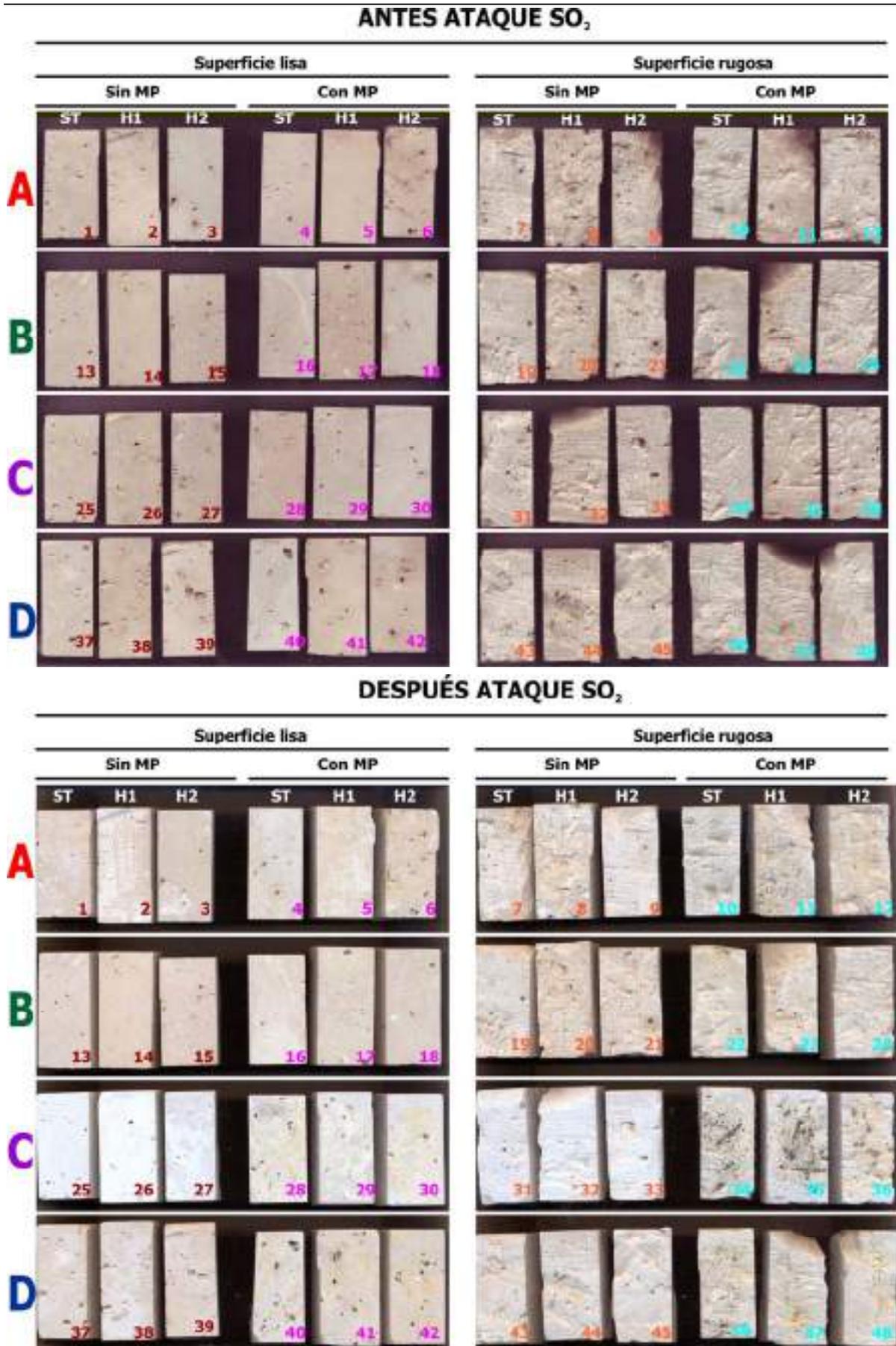


Fig.10.3. Aspecto de las probetas sometidas al ensayo de SO₂, antes y después del ataque.

Variante A: Atmósfera saturada en SO₂ + superficies húmedas [1 - 12]

Variante B: Atmósfera poco saturada en SO₂ + superficies húmedas [13 - 24]

Variante C: Atmósfera saturada en SO₂ + superficies secas [25 - 36]

Variante D: Atmósfera poco saturada en SO₂ + superficies secas [37 - 47]

10.4.1.a. Modificación cromática

Se han cuantificado las variaciones cromáticas experimentadas en las probetas sometidas al ensayo, tratadas y sin tratar, atendiendo a la luminosidad (L^*) e índices de blancura y amarillo (IB e IA) y estableciéndose además la diferencia total de color (ΔE^*) para cada una de las variantes de ensayo. La tabla 10.2 recoge las medidas tomadas en las probetas antes y después del ataque, así como los incrementos (ΔL^* , ΔIB y ΔIA) resultantes en cada una de las cuatro variantes. Para su mejor visualización, estos incrementos son representados mediante diagramas de barras en la figura 10.4.

De forma general, se observa que las superficies secas sometidas a atmósfera saturada en SO_2 (variante de ensayo C) experimentan los cambios más significativos, especialmente en probetas exentas de MP y más a su vez en las superficies lisas. El acabado rugoso otorgado a la superficie de la caliza modifica su cromatismo, de ahí el mayor valor de luminosidad que presenta antes del ataque respecto al medido en superficies lisas. Al estar de partida más alteradas, el blanqueamiento que experimentan estas superficies sometidas a la variante de ensayo C resulta menos notorio que para superficies lisas. En las probetas tratadas los incrementos presentan en general valores más elevados que en las probetas sin tratar, resultando especialmente significativa la diferencia respecto a la piedra sin tratar en algunas de las probetas sometidas a las variantes A y D.

Las probetas sin tratar experimentan en general un aumento en los valores L^* e IB y un descenso del IA, salvo las superficies rugosas sobre las que se ha depositado MP, que además de presentar el comportamiento contrario experimentan una modificación cromática significativa. Por un lado, para las superficies lisas de las probetas sometidas a las variantes de ensayo C y D, los incrementos presentan valores inferiores en las probetas con MP. Por otro, resultan significativas las modificaciones producidas en las probetas rugosas con MP.

Comparando con la piedra sin tratar, en las probetas tratadas con H1 se produce igualmente de forma generalizada el aumento en los valores de L^* e IB y el descenso del IA, resultando los incrementos en general especialmente importantes para las superficies sometidas a las variantes A y D. En las probetas lisas, del mismo modo las superficies con MP muestran en general incrementos menores que las probetas exentas de MP. En las superficies rugosas con MP se registran en general menores incrementos de la L^* e índices considerados.

Respecto a la modificación cromática en las superficies tratadas con H2, comparando con la piedra sin hidrofugar, se observa que los incrementos resultan en general menos significativos y que los cambios presentan un comportamiento más heterogéneo, mostrando menos probetas un aumento en el valor de la L^* e IB y, por tanto, resultando más las superficies que experimentan un aumento en el valor del IA. Para las superficies exentas de MP, tanto lisas como rugosas, de forma generalizada tiene lugar el aumento de L^* e IB así como un descenso del IA, mientras que en las superficies con MP se produce lo contrario, tanto bajo atmósferas saturadas como menos saturadas en SO_2 (variantes A y D). Las superficies rugosas con MP experimentan también menores descensos de la L^* así como menores descensos en el IB para las sometidas a las variantes C y D.

Atendiendo al sumatorio de la variación total de color ($\Sigma \Delta E^*$) para cada una de las variantes, se establece la gradación en cuanto a la modificación cromática que se produce en la superficie de las probetas según las cuatro variantes de ensayo consideradas. Así, las probetas secas sometidas a atmósferas saturadas (variante de ensayo C) son las que experimentan mayor variación total de color (ST, $\Sigma \Delta E^* = 31,62$ para ST; 47,53 para H1; 36,55 para H2). A continuación, las superficies húmedas sometidas a la concentración fuerte (variante A: $\Sigma \Delta E^* = 17,14$ para ST; 27,12 para H1; 16,57 para H2). Posteriormente, las probetas secas en la concentración poco saturada (variante D: $\Sigma \Delta E^* = 8,08$ para ST; 25,08 para H1; 10,40 para H2). En último lugar, aquellas superficies húmedas y atacadas con la solución débil (variante B: $\Sigma \Delta E^* = 8,08$ para ST; 7,21 para H1; 8,31 para H2).

El sumatorio total de los valores obtenidos en el índice de cambio total de color permite comprobar que las probetas tratadas experimentan tras el ataque mayor modificación cromática que las probetas sin tratar. Mientras que las probetas tratadas con H1 experimentan una variación total de color que supone casi el doble que las probetas sin tratar, aquellas tratadas con H2 los valores de ΔE* son similares a los de las probetas exentas de tratamiento (ΣΔE* = 64,92 para ST; 106,94 para H1 y 71,83 para H2).

Tabla 10.2. Parámetros cromáticos de las probetas antes y después del ataque de SO₂.

| | | CALIZA SIN TRATAR | | | | | CALIZA CON H1 | | | | | CALIZA CON H2 | | | | | | |
|------|-------------|-------------------|-------|--------|-------|--------|---------------|-------|-------|-------|--------|---------------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| | | nº | L* | IB | IA | ΔE* | nº | L* | IB | IA | ΔE* | nº | L* | IB | IA | ΔE* | | |
| A | F U E R T E | L I S A | Antes | 78,89 | 20,40 | 15,81 | 1 | 78,10 | 11,33 | 19,82 | 2 | 78,23 | 16,82 | 17,36 | 3 | 78,23 | 16,82 | 17,36 |
| | | | Desp | 79,54 | 22,08 | 15,33 | | 83,97 | 43,01 | 8,43 | | 79,14 | 22,04 | 15,79 | | | | |
| | | | Δ | 0,66 | 1,68 | -0,48 | | 4,22 | 5,87 | 31,68 | | -11,39 | 12,41 | 0,91 | | 5,22 | -1,57 | 3,39 |
| | | H Ú M E D A | Antes | 78,89 | 20,40 | 15,81 | 4 | 78,10 | 11,33 | 19,82 | 5 | 78,23 | 16,82 | 17,36 | 6 | 78,23 | 16,82 | 17,36 |
| | | | Desp | 79,51 | 24,60 | 14,42 | | 81,95 | 18,57 | 17,46 | | 77,80 | 5,26 | 22,53 | | | | |
| | | | Δ | 0,63 | 4,20 | -1,39 | | 6,78 | 3,85 | 7,24 | | -2,36 | 6,45 | -0,43 | | -11,56 | 5,17 | 2,02 |
| | R U G O S A | Antes | 81,84 | 32,12 | 11,76 | 7 | 79,38 | 13,18 | 19,31 | 8 | 81,44 | 25,29 | 14,53 | 9 | 81,44 | 25,29 | 14,53 | |
| | | Desp | 81,34 | 32,84 | 11,72 | | 79,86 | 23,81 | 14,69 | | 82,85 | 41,47 | 8,51 | | | | | |
| | | Δ | -0,50 | 0,72 | -0,04 | | 2,92 | 0,48 | 10,63 | | -4,62 | 3,20 | 1,41 | | 16,18 | -6,02 | 4,59 | |
| | | Antes | 81,84 | 32,12 | 11,76 | 10 | 79,38 | 13,18 | 19,31 | 11 | 81,44 | 25,29 | 14,53 | 12 | 81,44 | 25,29 | 14,53 | |
| | | Desp | 77,28 | 28,00 | 11,92 | | 77,59 | 22,61 | 14,61 | | 79,19 | 17,35 | 17,53 | | | | | |
| | | Δ | -4,56 | -4,12 | 0,16 | | 3,22 | -1,79 | 9,43 | | -4,70 | 5,06 | -2,25 | | -7,94 | 3,00 | 6,57 | |
| ΣΔE* | | | | | 17,14 | | | | | | 27,12 | | | | | | 16,57 | |
| B | D E B I L | L I S A | Antes | 78,89 | 20,40 | 15,81 | 13 | 78,10 | 11,33 | 19,82 | 14 | 78,23 | 16,82 | 17,36 | 15 | 78,23 | 16,82 | 17,36 |
| | | | Desp | 79,03 | 19,73 | 16,13 | | 79,90 | 9,05 | 21,06 | | 78,58 | 17,75 | 16,90 | | | | |
| | | | Δ | 0,14 | -0,67 | 0,32 | | 0,84 | 1,80 | -2,28 | | 1,24 | 1,96 | 0,35 | | 0,93 | -0,46 | 1,61 |
| | | H Ú M E D A | Antes | 78,89 | 20,40 | 15,81 | 16 | 78,10 | 11,33 | 19,82 | 17 | 78,23 | 16,82 | 17,36 | 18 | 78,23 | 16,82 | 17,36 |
| | | | Desp | 82,37 | 29,42 | 13,17 | | 79,16 | 14,37 | 18,58 | | 78,16 | 15,83 | 17,74 | | | | |
| | | | Δ | 3,49 | 9,02 | -2,64 | | 4,04 | 1,06 | 3,04 | | -1,24 | 1,92 | -0,07 | | -0,99 | 0,38 | 1,80 |
| | R U G O S A | Antes | 81,84 | 32,12 | 11,76 | 19 | 79,38 | 13,18 | 19,31 | 20 | 81,44 | 25,29 | 14,53 | 21 | 81,44 | 25,29 | 14,53 | |
| | | Desp | 81,96 | 31,48 | 12,08 | | 78,40 | 9,77 | 20,60 | | 79,26 | 18,50 | 17,10 | | | | | |
| | | Δ | 0,12 | -0,64 | 0,32 | | 0,91 | -0,98 | -3,41 | | 1,29 | 1,50 | -2,18 | | -6,79 | 2,57 | 2,14 | |
| | | Antes | 81,84 | 32,12 | 11,76 | 22 | 79,38 | 13,18 | 19,31 | 23 | 81,44 | 25,29 | 14,53 | 24 | 81,44 | 25,29 | 14,53 | |
| | | Desp | 80,73 | 20,94 | 16,12 | | 79,04 | 17,14 | 17,47 | | 80,69 | 28,23 | 13,01 | | | | | |
| | | Δ | -1,11 | -11,18 | 4,36 | | 2,29 | -0,34 | 3,96 | | -1,84 | 1,83 | -0,75 | | 2,94 | -1,52 | 2,76 | |
| ΣΔE* | | | | | 8,08 | | | | | | 7,21 | | | | | | 8,31 | |
| C | F U E R T E | L I S A | Antes | 78,89 | 20,40 | 15,81 | 25 | 78,10 | 11,33 | 19,82 | 26 | 78,23 | 16,82 | 17,36 | 27 | 78,23 | 16,82 | 17,36 |
| | | | Desp | 89,05 | 70,92 | 1,15 | | 91,94 | 68,53 | 3,78 | | 87,44 | 68,18 | 1,10 | | | | |
| | | | Δ | 10,17 | 50,52 | -14,66 | | 13,02 | 13,84 | 57,20 | | -16,04 | 17,34 | 9,21 | | 51,36 | -16,26 | 15,06 |
| | | S E C A | Antes | 78,89 | 20,40 | 15,81 | 28 | 78,10 | 11,33 | 19,82 | 29 | 78,23 | 16,82 | 17,36 | 30 | 78,23 | 16,82 | 17,36 |
| | | | Desp | 84,63 | 33,73 | 12,15 | | 82,22 | 28,88 | 13,19 | | 83,65 | 21,70 | 16,70 | | | | |
| | | | Δ | 5,74 | 13,33 | -3,66 | | 7,50 | 4,12 | 17,55 | | -6,63 | 6,32 | 5,42 | | 4,88 | -0,66 | 6,22 |
| | R U G O S A | Antes | 81,84 | 32,12 | 11,76 | 31 | 79,38 | 13,18 | 19,31 | 32 | 81,44 | 25,29 | 14,53 | 33 | 81,44 | 25,29 | 14,53 | |
| | | Desp | 85,80 | 60,67 | 2,61 | | 87,66 | 62,65 | 3,18 | | 87,43 | 58,23 | 4,64 | | | | | |
| | | Δ | 3,96 | 28,55 | -9,15 | | 6,96 | 8,28 | 49,47 | | -16,13 | 13,59 | 5,99 | | 32,94 | -9,89 | 9,84 | |
| | | Antes | 81,84 | 32,12 | 11,76 | 34 | 79,38 | 13,18 | 19,31 | 35 | 81,44 | 25,29 | 14,53 | 36 | 81,44 | 25,29 | 14,53 | |
| | | Desp | 75,10 | 14,48 | 17,73 | | 71,31 | 12,92 | 17,74 | | 76,60 | 8,28 | 20,86 | | | | | |
| | | Δ | -6,74 | -17,64 | 5,97 | | 4,14 | -8,07 | -0,26 | | -1,57 | 10,28 | -4,84 | | -17,01 | 6,33 | 5,43 | |
| ΣΔE* | | | | | 31,62 | | | | | | 47,53 | | | | | | 36,55 | |
| D | D E B I L | L I S A | Antes | 78,89 | 20,40 | 15,81 | 37 | 78,10 | 11,33 | 19,82 | 38 | 78,23 | 16,82 | 17,36 | 39 | 78,23 | 16,82 | 17,36 |
| | | | Desp | 80,84 | 26,15 | 14,01 | | 82,28 | 38,17 | 9,61 | | 79,01 | 28,20 | 12,49 | | | | |
| | | | Δ | 1,96 | 5,75 | -1,80 | | 2,21 | 4,18 | 26,84 | | -10,21 | 10,11 | 0,78 | | 11,38 | -4,87 | 2,32 |
| | | S E C A | Antes | 78,89 | 20,40 | 15,81 | 40 | 78,10 | 11,33 | 19,82 | 41 | 78,23 | 16,82 | 17,36 | 42 | 78,23 | 16,82 | 17,36 |
| | | | Desp | 80,13 | 22,37 | 15,46 | | 78,88 | 14,81 | 18,35 | | 75,63 | 5,92 | 22,08 | | | | |
| | | | Δ | 1,24 | 1,97 | -0,35 | | 2,13 | 0,78 | 3,48 | | -1,47 | 2,76 | -2,60 | | -10,90 | 4,72 | 1,62 |
| | R U G O S A | Antes | 81,84 | 32,12 | 11,76 | 43 | 79,38 | 13,18 | 19,31 | 44 | 81,44 | 25,29 | 14,53 | 45 | 81,44 | 25,29 | 14,53 | |
| | | Desp | 81,12 | 33,09 | 11,15 | | 80,53 | 33,22 | 11,00 | | 82,20 | 35,81 | 10,42 | | | | | |
| | | Δ | -0,72 | 0,97 | -0,61 | | 1,59 | 1,15 | 20,04 | | -8,31 | 9,44 | 0,76 | | 10,52 | -4,11 | 1,72 | |
| | | Antes | 81,84 | 32,12 | 11,76 | 46 | 79,38 | 13,18 | 19,31 | 47 | 81,44 | 25,29 | 14,53 | 48 | 81,44 | 25,29 | 14,53 | |
| | | Desp | 77,59 | 14,58 | 18,47 | | 78,41 | 14,48 | 18,69 | | 80,91 | 16,50 | 18,16 | | | | | |
| | | Δ | -4,25 | -17,54 | 6,71 | | 2,15 | -0,97 | -9,62 | | -0,62 | 2,77 | -0,53 | | -8,79 | 3,63 | 4,74 | |
| ΣΔE* | | | | | 8,08 | | | | | | 25,08 | | | | | | 10,40 | |
| ΣΔE* | | 64,92 | | | | | 106,94 | | | | | 71,83 | | | | | | |

L*= Luminosidad; IB= Índice de blanco; IA= Índice de amarillo; ΔE* = Diferencia total de color.
Las casillas sombreadas se corresponden con probetas sobre las que se ha depositado MP.

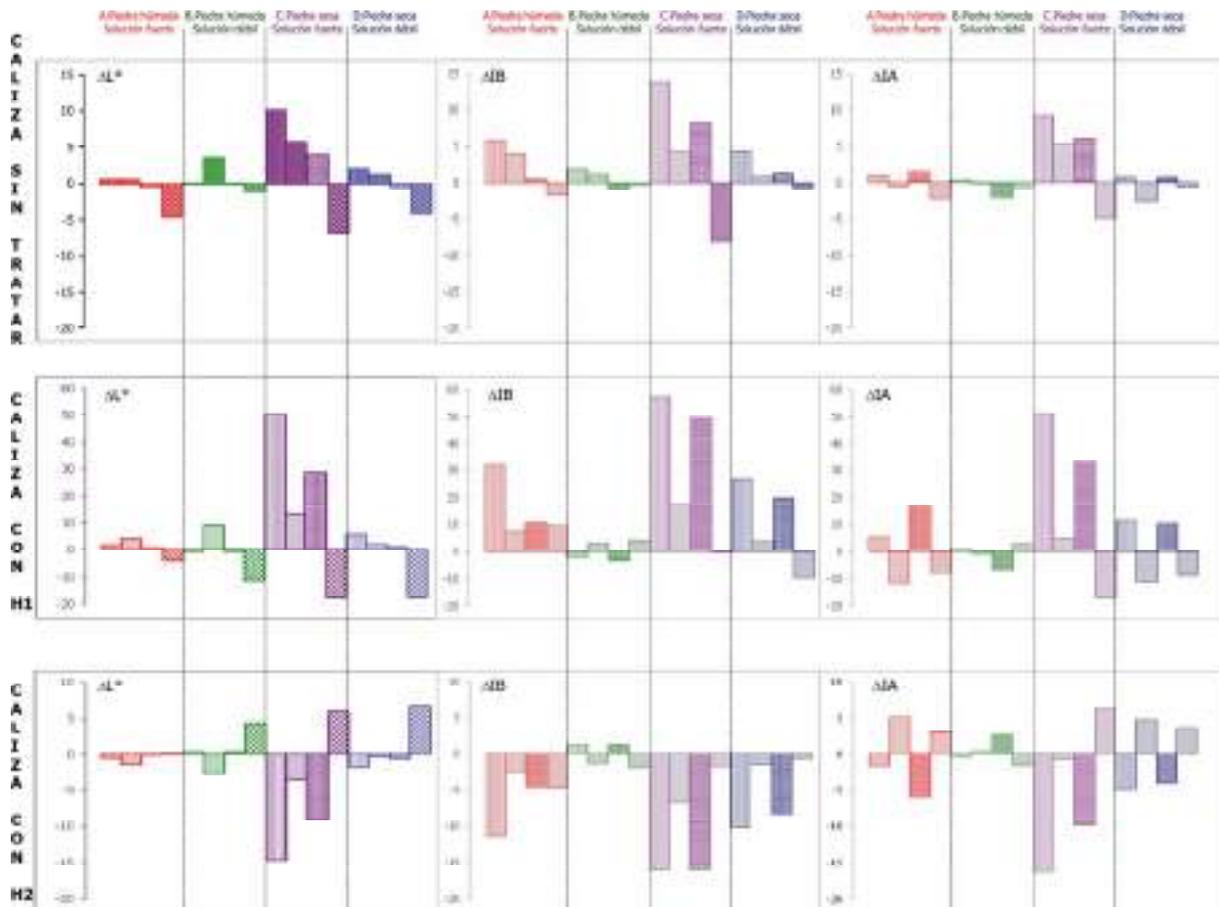


Fig.10.4. Modificaciones cromáticas de las probetas ensayadas tras el ataque con SO₂.

Representación de los incrementos obtenidos en la luminosidad (ΔL*) e índices de blanco y amarillo (ΔIB e ΔIA).

Superficie lisa sin MP
 Superficie lisa con MP
 Superficie rugosa sin MP
 Superficie rugosa con MP

10.4.1.b. Modificación de la rugosidad superficial

En general, tras el ensayo el valor de los parámetros de rugosidad superficial (Ra, Rq y Rz) aumenta en las superficies lisas y disminuye en las rugosas. Los incrementos son especialmente significativos para las probetas sometidas a la variante C, resultando en las superficies lisas los mayores aumentos y en las rugosas los menores descensos. Los valores medios y de desviación estándar de los datos recogidos por el equipo utilizado, en las probetas tratadas y sin tratar, son mostrados en las tablas 10.3 (superficies lisas) y 10.4 (superficies rugosas).

10.4.1.b.1. *Modificación de la rugosidad superficial en las probetas lisas*

En las probetas tratadas y sin tratar aumenta el valor de Ra, Rq y Rz, tanto en la dirección X como en la Y (tabla 10.3). El sumatorio de los incrementos resultantes para los tres parámetros ($\Sigma\Delta$), señala que los mayores aumentos se han obtenido en las probetas sometidas a la variante C y los menores en la variante B. Además, para estas dos variantes de ensayo, las probetas sobre las que se han depositado MP experimentan a su vez mayores aumentos ($\Sigma\Delta = 63,03$ para ST; 56,98 para H1 y 70,39 para H2 en la variante C; $\Sigma\Delta = 4,69$ para ST, 27,02 para H1 y 11,84 para H2 en la variante B). En las variantes de ensayo A y D, los resultados siguen una pauta algo más heterogénea.

Atendiendo a las superficies antes del ensayo y comparando las superficies tratadas y sin tratar, el valor de los parámetros es algo mayor en las tratadas con H1 y ligeramente menor en las tratadas con H2. Aunque en las probetas tratadas se obtienen las mismas pautas en cuanto a los incrementos en los parámetros de rugosidad medidos se refiere, sus valores son significativamente mayores que para las superficies sin tratar ($\Sigma\Sigma\Delta = 146,47$ para ST; 246,80 para H1 y 232,55 para H2). Únicamente en la probeta seca con MP sometidas a la atmósfera saturada (variante C) se ha producido un menor incremento de la rugosidad superficial en aquella tratada con H1 (nº29, $\Sigma\Delta = 56,98$) que en la probeta equivalente pero exenta de tratamiento (nº28, $\Sigma\Delta = 63,03$).

En la figura 10.5 se representan mediante diagramas de barras los incrementos producidos en este parámetro, considerando el valor medio del incremento respecto al blanco, en la dirección X y en la Y. Tras el ensayo, en todas las superficies tiene lugar su aumento generalizado, muy significativo para la variante C y casi siempre mayor para las superficies con MP. Estos incrementos resultan más intensos para las superficies tratadas.

INCREMENTO PARÁMETRO Rz EN PROBETAS LISAS

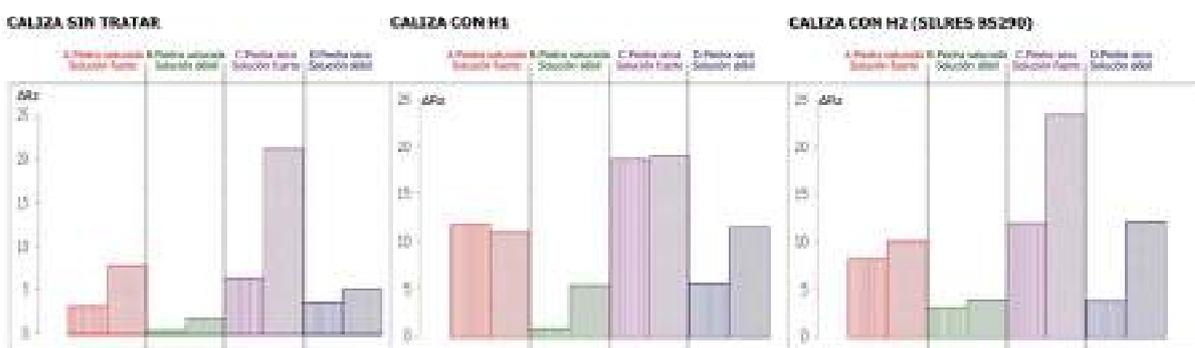


Fig.10.5. Representación del incremento del Rz para las probetas lisas, tratadas y sin tratar.

Se representan los valores medios de ΔR_z mostrados en la tabla 10.3, correspondientes a la media del incremento del parámetro Rz en la dirección X e Y.

▨ Superficie lisa sin MP ▨ Superficie lisa con MP

En las figuras 10.6, 10.7 y 10.8 se representan los mapas tridimensionales de las superficies medidas en las probetas lisas tras el ensayo, sin tratar, con H1 y con H2 respectivamente. De nuevo, la modificación más notoria resulta para las probetas sometidas a la variante de ensayo C y la menos significativa para aquellas atacadas con la variante B.

Tabla 10.3. Modificación de la rugosidad superficial en las probetas lisas.

| SUPERFICIE LISA CALIZA SIN TRATAR | | nº | Ra | | | | Rq | | | | Rz | | | | ARz | ΣΔ |
|-----------------------------------|--|----|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------|-------|
| | | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | | |
| | | | Med | Std | | |
| Blanco (antes ensayo) | | a | 1,07 | ± 0,36 | 0,99 | ± 0,25 | 1,53 | ± 0,71 | 1,41 | ± 0,53 | 5,5 | ± 1,72 | 5,27 | ± 1,26 | | |
| | | b | 1,25 | ± 0,35 | 1,17 | ± 0,57 | 1,87 | ± 0,72 | 1,66 | ± 0,89 | 6,39 | ± 1,73 | 5,95 | ± 2,53 | | |
| | | c | 1,01 | ± 0,27 | 1,13 | ± 0,55 | 1,41 | ± 0,49 | 1,57 | ± 0,85 | 5,33 | ± 1,48 | 5,77 | ± 2,44 | | |
| | | | 1,11 | ± 0,12 | 1,10 | ± 0,09 | 1,60 | ± 0,24 | 1,55 | ± 0,13 | 5,74 | ± 0,57 | 5,66 | ± 0,35 | | |
| Variante A Fuerte húmeda | | 1 | 2,05 | ± 0,54 | 1,79 | ± 0,45 | 2,73 | ± 0,82 | 2,35 | ± 0,67 | 9,42 | ± 2,37 | 8,47 | ± 1,92 | | |
| | | 4 | 2,62 | ± 0,46 | 2,65 | ± 0,60 | 3,56 | ± 0,71 | 3,64 | ± 0,88 | 13,46 | ± 2,52 | 13,71 | ± 2,82 | | |
| Variante B Débil húmeda | | 13 | 1,2 | ± 0,32 | 1,17 | ± 0,18 | 1,57 | ± 0,51 | 1,54 | ± 0,29 | 5,95 | ± 1,32 | 5,98 | ± 1,10 | | |
| | | 16 | 1,44 | ± 0,36 | 1,43 | ± 0,30 | 1,96 | ± 0,59 | 1,92 | ± 0,51 | 7,32 | ± 1,53 | 7,38 | ± 1,44 | | |
| Variante C Fuerte seca | | 25 | 2,59 | ± 0,58 | 2,55 | ± 0,60 | 3,36 | ± 0,79 | 3,32 | ± 0,76 | 11,98 | ± 2,62 | 11,97 | ± 2,68 | | |
| | | 28 | 5,48 | ± 0,96 | 6,00 | ± 1,67 | 6,98 | ± 1,22 | 7,63 | ± 2,08 | 25,73 | ± 3,97 | 27,97 | ± 6,71 | | |
| Variante D Débil seca | | 37 | 1,56 | ± 0,48 | 2,26 | ± 1,63 | 2,26 | ± 0,91 | 3,31 | ± 2,52 | 8 | ± 2,41 | 10,68 | ± 6,19 | | |
| | | 40 | 2,07 | ± 0,78 | 2,08 | ± 0,71 | 3,00 | ± 1,41 | 2,89 | ± 1,20 | 10,9 | ± 4,04 | 10,67 | ± 3,16 | | |
| Incrementos (tras ensayo) | | | ΔRa | | ΔRq | | ΔRz | | | | | | | | | |
| | | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | ARz | ΣΔ |
| | | | Med | Med | | |
| Variante A Fuerte húmeda | | 1 | 0,94 | | 0,69 | | 1,13 | | 0,80 | | 3,68 | | 2,81 | | 3,24 | 10,05 |
| | | 4 | 1,51 | | 1,55 | | 1,96 | | 2,09 | | 7,72 | | 8,05 | | 7,88 | 22,88 |
| Variante B Débil húmeda | | 13 | 0,09 | | 0,07 | | -0,03 | | -0,01 | | 0,21 | | 0,32 | | 0,26 | 0,65 |
| | | 16 | 0,33 | | 0,33 | | 0,36 | | 0,37 | | 1,58 | | 1,72 | | 1,65 | 4,69 |
| Variante C Fuerte seca | | 25 | 1,48 | | 1,45 | | 1,76 | | 1,77 | | 6,24 | | 6,31 | | 6,27 | 19,01 |
| | | 28 | 4,37 | | 4,90 | | 5,38 | | 6,08 | | 19,99 | | 22,31 | | 21,15 | 63,03 |
| Variante D Débil seca | | 37 | 0,45 | | 1,16 | | 0,66 | | 1,76 | | 2,26 | | 5,02 | | 3,64 | 11,31 |
| | | 40 | 0,96 | | 0,98 | | 1,40 | | 1,34 | | 5,16 | | 5,01 | | 5,08 | 14,85 |
| ΣΣΔ = 146,47 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SUPERFICIE LISA CALIZA CON H1 | | nº | Ra | | | | Rq | | | | Rz | | | | ARz | ΣΔ |
| | | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | | |
| | | | Med | Std | | |
| Blanco (antes ensayo) | | a | 1,19 | ± 0,72 | 1,43 | ± 1,03 | 1,78 | ± 1,45 | 2,17 | ± 1,83 | 6,13 | ± 3,58 | 6,99 | ± 4,08 | | |
| | | b | 1,23 | ± 0,52 | 1,25 | ± 0,44 | 1,88 | ± 1,08 | 1,88 | ± 0,90 | 6,15 | ± 2,31 | 6,3 | ± 2,07 | | |
| | | c | 0,99 | ± 0,34 | 1,06 | ± 0,34 | 1,48 | ± 0,74 | 1,54 | ± 0,71 | 5,3 | ± 1,94 | 5,54 | ± 1,72 | | |
| | | | 1,14 | ± 0,13 | 1,25 | ± 0,19 | 1,71 | ± 0,21 | 1,86 | ± 0,32 | 5,86 | ± 0,49 | 6,28 | ± 0,73 | | |
| Variante A Fuerte húmeda | | 2 | 3,91 | ± 0,84 | 3,86 | ± 1,05 | 4,99 | ± 1,03 | 5,08 | ± 1,38 | 17,43 | ± 3,16 | 18,31 | ± 4,48 | | |
| | | 5 | 3,65 | ± 0,75 | 3,59 | ± 0,63 | 4,80 | ± 1,24 | 4,70 | ± 0,86 | 17,09 | ± 4,22 | 16,81 | ± 2,83 | | |
| Variante B Débil húmeda | | 14 | 1,25 | ± 0,39 | 1,45 | ± 0,82 | 1,80 | ± 0,84 | 2,14 | ± 1,59 | 6,35 | ± 2,15 | 7,12 | ± 3,57 | | |
| | | 17 | 2,56 | ± 0,78 | 2,72 | ± 0,62 | 3,25 | ± 1,29 | 3,40 | ± 0,81 | 10,98 | ± 3,48 | 11,67 | ± 2,61 | | |
| Variante C Fuerte seca | | 26 | 4,8 | ± 1,09 | 4,79 | ± 1,13 | 6,48 | ± 1,76 | 6,40 | ± 1,65 | 24,62 | ± 5,24 | 24,78 | ± 5,45 | | |
| | | 29 | 5,21 | ± 1,05 | 5,49 | ± 1,09 | 6,86 | ± 1,28 | 7,33 | ± 1,32 | 24,5 | ± 4,28 | 25,69 | ± 4,63 | | |
| Variante D Débil seca | | 38 | 2,25 | ± 0,95 | 2,34 | ± 0,82 | 3,35 | ± 1,48 | 3,49 | ± 1,38 | 11,46 | ± 4,44 | 11,57 | ± 3,73 | | |
| | | 41 | 3,27 | ± 0,67 | 3,62 | ± 1,04 | 4,38 | ± 1,02 | 4,94 | ± 1,57 | 16,67 | ± 3,25 | 18,37 | ± 5,25 | | |
| Incrementos (tras ensayo) | | | ΔRa | | ΔRq | | ΔRz | | | | | | | | ARz | ΣΔ |
| | | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | | |
| | | | Med | Med | | |
| Variante A Fuerte húmeda | | 2 | 2,77 | | 2,61 | | 3,28 | | 3,22 | | 11,57 | | 12,03 | | 11,80 | 35,48 |
| | | 5 | 2,51 | | 2,34 | | 3,09 | | 2,84 | | 11,23 | | 10,53 | | 10,88 | 32,54 |
| Variante B Débil húmeda | | 14 | 0,11 | | 0,20 | | 0,09 | | 0,28 | | 0,49 | | 0,84 | | 0,67 | 2,01 |
| | | 17 | 1,42 | | 1,47 | | 1,54 | | 1,54 | | 5,12 | | 5,39 | | 5,26 | 16,48 |
| Variante C Fuerte seca | | 26 | 3,66 | | 3,54 | | 4,77 | | 4,54 | | 18,76 | | 18,50 | | 18,63 | 53,77 |
| | | 29 | 4,07 | | 4,24 | | 5,15 | | 5,47 | | 18,64 | | 19,41 | | 19,03 | 56,98 |
| Variante D Débil seca | | 38 | 1,11 | | 1,09 | | 1,64 | | 1,63 | | 5,60 | | 5,29 | | 5,45 | 16,36 |
| | | 41 | 2,13 | | 2,37 | | 2,67 | | 3,08 | | 10,81 | | 12,09 | | 11,45 | 33,15 |
| ΣΣΔ = 246,80 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SUPERFICIE LISA CALIZA CON H2 | | nº | Ra | | | | Rq | | | | Rz | | | | ARz | ΣΔ |
| | | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | | |
| | | | Med | Std | | |
| Blanco (antes ensayo) | | a | 0,73 | ± 0,32 | 0,47 | ± 0,33 | 1,03 | ± 0,62 | 1,05 | ± 0,69 | 3,65 | ± 1,32 | 3,59 | ± 1,25 | | |
| | | b | 1,07 | ± 0,32 | 1,06 | ± 0,45 | 1,56 | ± 0,68 | 1,57 | ± 0,86 | 5,2 | ± 1,40 | 5,49 | ± 2,30 | | |
| | | c | 1,37 | ± 0,63 | 1,44 | ± 0,70 | 2,07 | ± 1,14 | 2,15 | ± 1,16 | 6,88 | ± 3,15 | 7,08 | ± 3,29 | | |
| | | | 1,06 | ± 0,32 | 0,99 | ± 0,49 | 1,55 | ± 0,52 | 1,59 | ± 0,55 | 5,24 | ± 1,62 | 5,39 | ± 1,75 | | |
| Variante A Fuerte húmeda | | 3 | 2,96 | ± 0,55 | 3,44 | ± 0,60 | 3,76 | ± 0,72 | 4,33 | ± 0,76 | 12,57 | ± 2,25 | 14,46 | ± 2,42 | | |
| | | 6 | 3,16 | ± 1,03 | 3,67 | ± 1,62 | 4,35 | ± 1,72 | 5,01 | ± 2,54 | 14,22 | ± 4,42 | 16,42 | ± 6,47 | | |
| Variante B Débil húmeda | | 15 | 1,68 | ± 0,94 | 1,78 | ± 1,19 | 2,76 | ± 2,08 | 2,79 | ± 2,25 | 8,3 | ± 4,33 | 8,53 | ± 5,74 | | |
| | | 18 | 2,01 | ± 0,27 | 2,11 | ± 0,35 | 2,50 | ± 0,36 | 2,69 | ± 0,49 | 8,85 | ± 1,23 | 9,50 | ± 1,60 | | |
| Variante C Fuerte seca | | 27 | 3,57 | ± 0,66 | 3,35 | ± 0,92 | 4,58 | ± 0,79 | 4,41 | ± 1,17 | 17,47 | ± 2,88 | 17,09 | ± 4,33 | | |
| | | 30 | 5,84 | ± 1,67 | 6,80 | ± 1,05 | 7,57 | ± 1,93 | 8,63 | ± 1,34 | 26,74 | ± 7,06 | 30,63 | ± 4,40 | | |
| Variante D Débil seca | | 39 | 2,18 | ± 0,59 | 1,95 | ± 0,74 | 3,02 | ± 0,81 | 2,66 | ± 0,94 | 9,54 | ± 2,52 | 8,71 | ± 2,93 | | |
| | | 42 | 3,62 | ± 1,29 | 3,80 | ± 0,99 | 4,89 | ± 1,57 | 5,29 | ± 1,38 | 17,09 | ± 4,84 | 17,83 | ± 4,52 | | |
| Incrementos (tras ensayo) | | | ΔRa | | ΔRq | | ΔRz | | | | | | | | ARz | ΣΔ |
| | | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | | |
| | | | Med | Med | | |
| Variante A Fuerte húmeda | | 3 | 1,90 | | 2,45 | | 2,21 | | 2,74 | | 7,33 | | 9,07 | | 8,20 | 25,70 |
| | | 6 | 2,10 | | 2,68 | | 2,80 | | 3,42 | | 8,98 | | 11,03 | | 10,01 | 31,01 |
| Variante B Débil húmeda | | 15 | 0,62 | | 0,79 | | 1,21 | | 1,20 | | 3,06 | | 3,14 | | 3,10 | 10,02 |
| | | 18 | 0,95 | | 1,12 | | 0,95 | | 1,10 | | 3,61 | | 4,11 | | 3,86 | 11,84 |
| Variante C Fuerte seca | | 27 | 2,51 | | 2,36 | | 3,03 | | 2,82 | | 12,23 | | 11,70 | | 11,97 | 34,65 |
| | | 30 | 4,78 | | 5,81 | | 6,02 | | 7,04 | | 21,50 | | 25,24 | | 23,37 | 70,39 |
| Variante D Débil seca | | 39 | 1,12 | | 0,96 | | 1,47 | | 1,07 | | 4,30 | | 3,32 | | 3,81 | 12,24 |
| | | 42 | 2,56 | | 2,81 | | 3,34 | | 3,70 | | 11,85 | | 12,44 | | 12,15 | 36,70 |
| ΣΣΔ = 232,55 | | | | | | | | | | | | | | | | |

Las casillas sombreadas se corresponden con probetas sobre las que se ha depositado MP.

 Superficie lisa sin MP
  Superficie lisa con MP
  Superficie rugosa sin MP
  Superficie rugosa con MP

SUPERFICIE LISA. H1

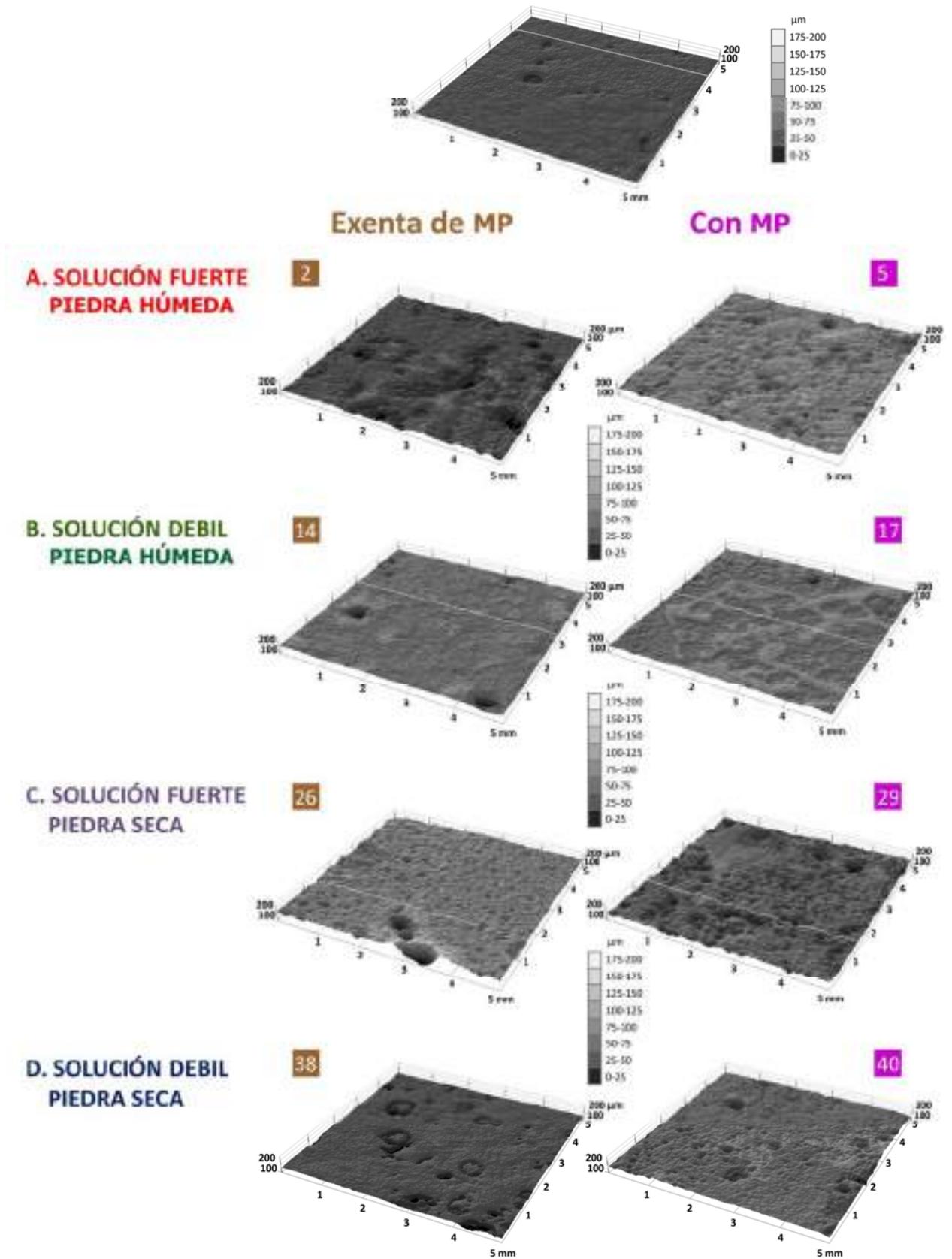


Fig.10.7. Mapas tridimensionales de las superficies medidas en las probetas lisas con H1 tras el ensayo.

En las superficies correspondientes al blanco y a las probetas sometidas a las variantes de ensayo B y C, se ha trazado una línea en la que se han efectuado perfiles bidimensionales de rugosidad.

SUPERFICIE LISA. H2

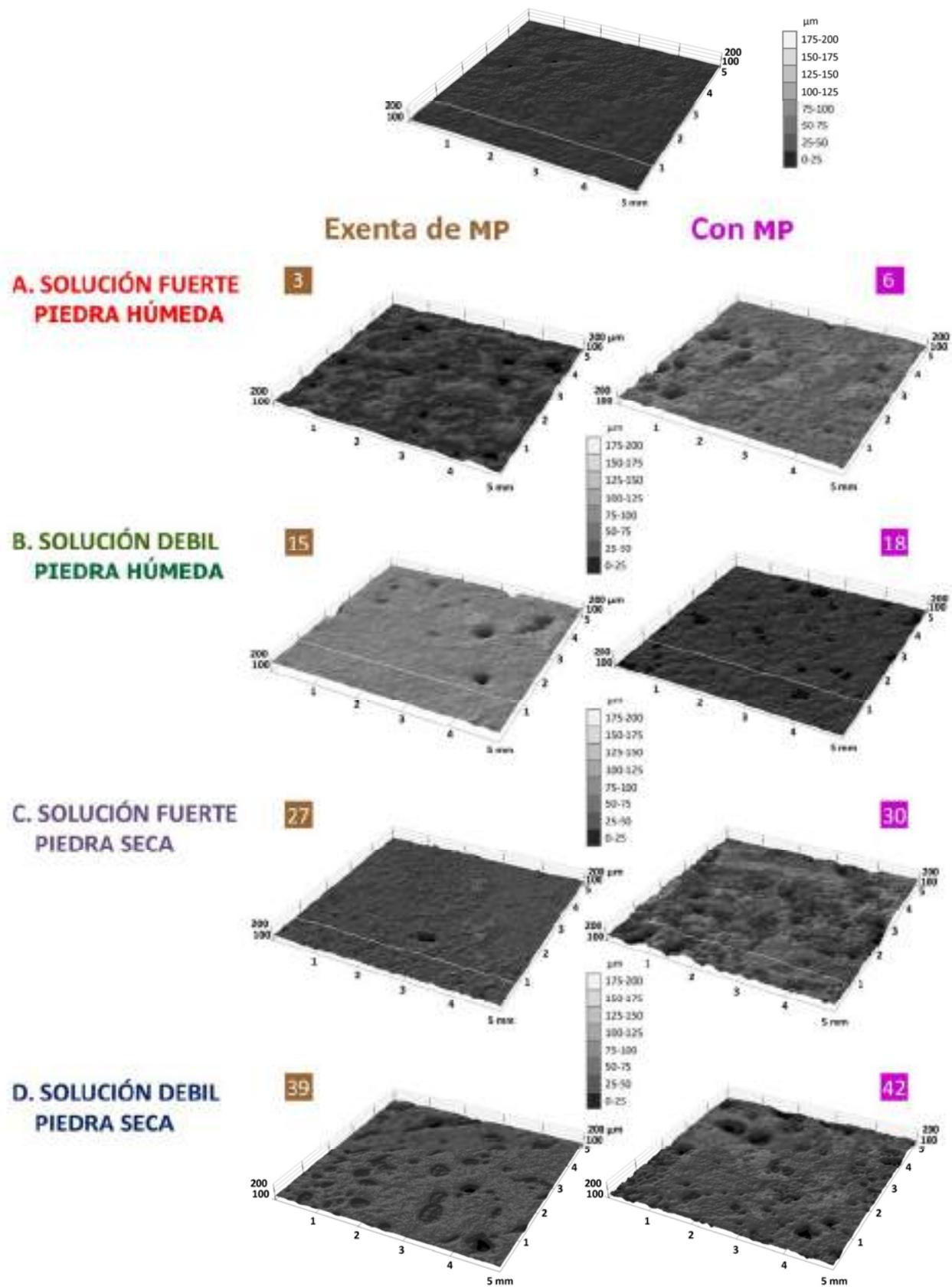


Fig.10.8. Mapas tridimensionales de las superficies medidas en las probetas lisas con H2 tras el ensayo. En las superficies correspondientes al blanco y a las probetas sometidas a las variantes de ensayo B y C, se ha trazado una línea en la que se han efectuado perfiles bidimensionales de rugosidad.

A partir de las líneas trazadas en blanco sobre los mapas tridimensionales de las superficies antes del ensayo (blancos) y tras el ensayo para las superficies secas sometidas a atmósfera saturada (variante C) y húmedas atacadas con la solución débil (variante B), en superficies tratadas y sin tratar, se han realizado los correspondientes perfiles bidimensionales de rugosidad (figura 10.9). Para las probetas sin tratar, tras el ensayo las superficies sometidas a ambas variantes experimentan modificaciones en la línea base de su perfil, muy significativas en las probetas atacadas con la variante C y especialmente para las superficies con MP.

Para las superficies tratadas, los perfiles señalan que la aplicación de ambos hidrofugantes suavizan ligeramente la textura superficial de la caliza antes del ensayo, si bien el valor de los parámetros de rugosidad considerados resultaba algo mayor en las superficies tratadas con H1 (tabla 10.3). Finalizado el ensayo, el incremento en la amplitud de los picos del perfil resulta nuevamente muy significativa para las superficies sometidas a la variante C, sobre todo en las probetas con MP. También las superficies con MP expuestas a la variante B experimentan cierta modificación de su textura superficial. Comparando con las probetas sin tratar, en las superficies tratadas sometidas a la variante C tiene lugar el importante aumento de su rugosidad superficial, que resulta similar para ambos hidrofugantes.

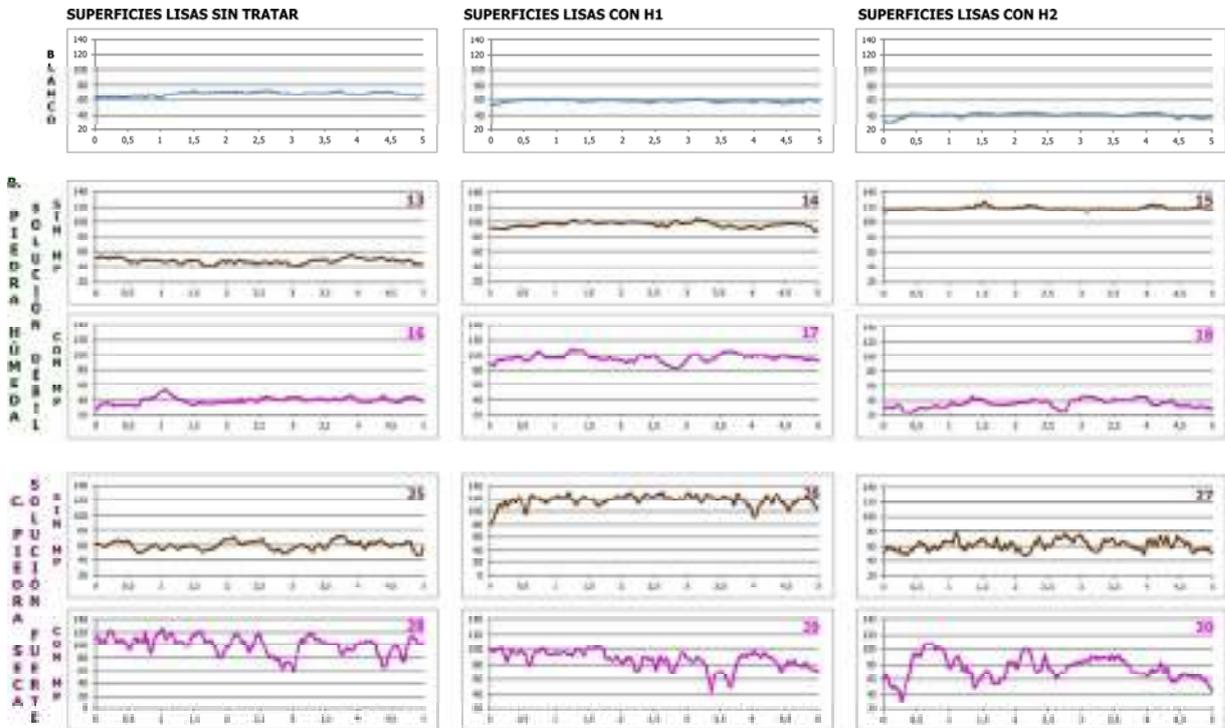


Fig.10.9. Perfiles bidimensionales de rugosidad en la caliza antes y después (variantes B y C) del ataque por SO₂ efectuado (altura en micrómetros y distancia en mm).

10.4.1.b.2. Modificación de la rugosidad superficial en las probetas rugosas

En las probetas rugosas se observa que de forma generalizada descienden los valores de los parámetros de rugosidad superficial considerados (Ra, Rq y Rz). Sin embargo, la pauta no resulta tan definida como para las superficies lisas, salvo en aquellas sometidas a la variante de ensayo C, cuyos incrementos presentan los valores más bajos (tabla 10.4).

Atendiendo a las superficies antes del ensayo y comparando las superficies tratadas y sin tratar, en las superficies tratadas con H1 la modificación en el valor de los parámetros resulta algo dispar y el tratamiento H2 parece suavizar ligeramente la rugosidad superficial, pues el valor de los parámetros resulta algo menor que para la piedra sin tratar. Si se considera el sumatorio total de los incrementos en los tres parámetros considerados, por un lado se observa que la disminución de la rugosidad superficial experimentada en las probetas tratadas es algo mayor que para la caliza sin tratar ($\Sigma\Delta = -89,36$ para ST; $-93,77$ para H1 y $-101,45$ para H2). Por otro, estos incrementos en la rugosidad superficial experimentados por las probetas rugosas presentan valores absolutos considerablemente menores que en las probetas lisas ($\Sigma\Delta = 146,47$ para ST; $246,80$ para H1 y $232,55$ para H2, tabla 10.3). Se observa que la pérdida de rugosidad resulta considerablemente mayor en las probetas sin MP (Variante C: $\Sigma\Delta = -15,42$ para ST; $-9,22$ para H1 y $-7,42$ para H2) respecto a aquellas con MP (Variante C: $\Sigma\Delta = -2,10$ para ST; $-3,78$ para H1 y $0,72$ para H2).

Se representa igualmente mediante diagramas de barras los incrementos producidos en el parámetro Rz, considerando el valor medio del incremento respecto a las superficies antes del ensayo, en la dirección X y en la Y (figura 10.10). Tras el ensayo, en casi todas las superficies tiene lugar su descenso, algo más significativo en las superficies tratadas.

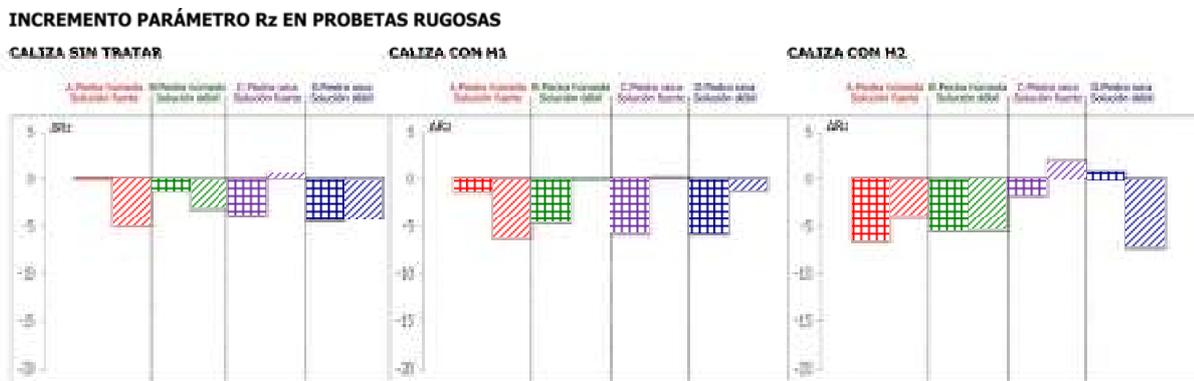


Fig.10.10. Representación del incremento del Rz para las probetas rugosas, tratadas y sin tratar.

Se representan los valores medios de ΔR_z mostrados en la tabla 10.4, correspondientes a la media del incremento del parámetro Rz en la dirección X e Y. Superficie rugosa sin MP Superficie rugosa con MP

A partir de los datos mostrados en la tabla 10.4 y de los diagramas de barras de la figura 10.10, no puede establecerse una pauta de comportamiento en cuanto a la disminución de la rugosidad superficial según las variantes de ensayo y/o variables establecidas. Que los resultados obtenidos en general para las probetas con superficie rugosa hayan resultado tan dispares principalmente se debe a que el acabado rugoso otorgado introduce una importante variable de error y, salvo para las superficies sometidas a la variante de ensayo C, los resultados obtenidos no permiten establecer comparaciones significativas. Por este motivo, no se han realizado los mapas tridimensionales ni perfiles bidimensionales como se ha procedido con las superficies lisas.

Tabla 10.4. Modificación de la rugosidad superficial en las probetas rugosas.

| SUPERFICIE RUGOSA CALIZA SIN TRATAR | nº | Ra | | | | Rq | | | | Rz | | | | ΔRz | ΣΔ |
|-------------------------------------|-----|-------------|---------------|-------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|-------|--------|
| | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | | |
| | | Med | Std | Med | Std | Med | Std | Med | Std | Med | Std | Med | Std | | |
| Blanco (antes ensayo) | a | 8,44 | ± 1,28 | 7,58 | ± 1,23 | 10,63 | ± 1,70 | 9,63 | ± 1,63 | 31,85 | ± 5,59 | 28,88 | ± 5,13 | | |
| | b | 8,83 | ± 1,55 | 8,04 | ± 1,89 | 11,15 | ± 2,34 | 10,28 | ± 2,30 | 32,01 | ± 5,96 | 30,58 | ± 7,47 | | |
| | c | 8,18 | ± 1,89 | 7,67 | ± 1,44 | 10,09 | ± 2,08 | 9,69 | ± 1,68 | 29,42 | ± 6,18 | 29,7 | ± 5,58 | | |
| | Med | 8,48 | ± 0,33 | 7,76 | ± 0,24 | 10,62 | ± 0,53 | 9,87 | ± 0,36 | 31,09 | ± 1,45 | 29,72 | ± 0,85 | | |
| Variante A Fuerte húmeda | 7 | 8,37 | ± 1,57 | 6,7 | ± 1,7 | 10,48 | ± 1,96 | 8,46 | ± 1,94 | 33,32 | ± 5,68 | 27,25 | ± 6,13 | | |
| | 10 | 6,79 | ± 0,98 | 5,57 | ± 0,98 | 8,56 | ± 1,23 | 7,05 | ± 1,24 | 27,11 | ± 4,51 | 23,91 | ± 4,17 | | |
| Variante B Débil húmeda | 19 | 6,11 | ± 1,02 | 8,18 | ± 0,92 | 7,97 | ± 1,61 | 10,14 | ± 1,10 | 25,05 | ± 4,67 | 33,28 | ± 3,28 | | |
| | 22 | 7,45 | ± 2,03 | 6,44 | ± 0,79 | 9,45 | ± 2,55 | 8,02 | ± 0,91 | 28,98 | ± 7,72 | 25,62 | ± 3,07 | | |
| Variante C Fuerte seca | 31 | 6,44 | ± 0,85 | 6,43 | ± 0,76 | 8,05 | ± 1,08 | 8,00 | ± 0,92 | 26,51 | ± 3,19 | 26,70 | ± 2,63 | | |
| | 34 | 7,33 | ± 1,31 | 7,40 | ± 1,62 | 9,29 | ± 1,62 | 9,41 | ± 2,03 | 30,83 | ± 5,13 | 31,19 | ± 5,96 | | |
| Variante D Débil seca | 43 | 5,49 | ± 1,14 | 7,58 | ± 1,35 | 7,16 | ± 1,64 | 9,55 | ± 1,79 | 22,25 | ± 5,25 | 29,66 | ± 5,29 | | |
| | 46 | 6,43 | ± 1,58 | 6,54 | ± 0,77 | 8,06 | ± 2,00 | 8,24 | ± 1,08 | 25,91 | ± 6,22 | 26,33 | ± 4,02 | | |
| Incrementos (tras ensayo) | | ΔRa | | ΔRq | | ΔRz | | ΔRz | | ΔRz | | ΣΔ | | | |
| | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | ΔRz | ΣΔ |
| | | Med | | Med | | Med | | Med | | Med | | Med | | | |
| Variante A Fuerte húmeda | 7 | -0,11 | | -1,06 | | -0,14 | | -1,41 | | 2,23 | | -2,47 | | -0,12 | -2,97 |
| | 10 | -1,69 | | -2,19 | | -2,06 | | -2,82 | | -3,98 | | -5,81 | | -4,90 | -18,56 |
| Variante B Débil húmeda | 19 | -2,37 | | 0,42 | | -2,65 | | 0,27 | | -6,04 | | 3,56 | | -1,24 | -6,82 |
| | 22 | -1,03 | | -1,32 | | -1,17 | | -1,85 | | -2,11 | | -4,10 | | -3,11 | -11,59 |
| Variante C Fuerte seca | 31 | -2,04 | | -1,33 | | -2,57 | | -1,87 | | -4,58 | | -3,02 | | -3,80 | -15,42 |
| | 34 | -1,15 | | -0,36 | | -1,33 | | -0,46 | | -0,26 | | 1,47 | | 0,60 | -2,10 |
| Variante D Débil seca | 43 | -2,99 | | -0,18 | | -3,46 | | -0,32 | | -8,84 | | -0,06 | | -4,45 | -15,86 |
| | 46 | -2,05 | | -1,22 | | -2,56 | | -1,63 | | -5,18 | | -3,39 | | -4,29 | -16,04 |
| ΣΣΔ = -89,36 | | | | | | | | | | | | | | | |
| SUPERFICIE RUGOSA CALIZA CON H1 | nº | Ra | | | | Rq | | | | Rz | | | | ΔRz | ΣΔ |
| | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | | |
| | | Med | Std | Med | Std | Med | Std | Med | Std | Med | Std | Med | Std | | |
| Blanco (antes ensayo) | a | 7,97 | ± 1,54 | 8,3 | ± 2,22 | 10,01 | ± 2,13 | 10,69 | ± 2,63 | 29,92 | ± 6,81 | 31,39 | ± 7,96 | | |
| | b | 8,59 | ± 1,80 | 7,86 | ± 1,42 | 10,81 | ± 2,28 | 9,81 | ± 1,76 | 32,96 | ± 7,76 | 29,55 | ± 5,29 | | |
| | c | 8,61 | ± 1,14 | 7,74 | ± 1,46 | 10,67 | ± 1,79 | 9,72 | ± 1,86 | 32,11 | ± 5,52 | 29,26 | ± 5,44 | | |
| | Med | 8,39 | ± 0,36 | 7,97 | ± 0,29 | 10,50 | ± 0,43 | 10,07 | ± 0,54 | 31,66 | ± 1,57 | 30,07 | ± 1,16 | | |
| Variante A Fuerte húmeda | 8 | 8,14 | ± 2,29 | 7,14 | ± 2,08 | 10,67 | ± 3,28 | 9,13 | ± 2,81 | 31,69 | ± 7,62 | 27,06 | ± 7,43 | | |
| | 11 | 5,67 | ± 1,83 | 5,56 | ± 1,08 | 7,41 | ± 2,61 | 7,39 | ± 1,71 | 24,65 | ± 6,99 | 24,52 | ± 5,19 | | |
| Variante B Débil húmeda | 20 | 7,14 | ± 1,20 | 6,63 | ± 1,52 | 9,09 | ± 1,60 | 8,29 | ± 1,83 | 26,86 | ± 4,98 | 25,35 | ± 5,30 | | |
| | 23 | 8,81 | ± 1,90 | 7,93 | ± 2,39 | 10,92 | ± 2,37 | 9,92 | ± 2,97 | 32,4 | ± 8,48 | 28,92 | ± 8,15 | | |
| Variante C Fuerte seca | 32 | 5,47 | ± 1,10 | 6,38 | ± 1,07 | 7,19 | ± 1,37 | 8,19 | ± 1,13 | 23,76 | ± 4,28 | 26,19 | ± 3,48 | | |
| | 35 | 6,73 | ± 1,22 | 7,66 | ± 1,77 | 8,67 | ± 1,58 | 9,82 | ± 2,23 | 29,52 | ± 5,46 | 32,48 | ± 6,39 | | |
| Variante D Débil seca | 44 | 6,32 | ± 1,07 | 6,54 | ± 0,97 | 7,86 | ± 1,28 | 8,19 | ± 1,08 | 24,72 | ± 3,92 | 25,29 | ± 3,48 | | |
| | 47 | 7,7 | ± 1,22 | 7,45 | ± 1,18 | 9,58 | ± 1,49 | 9,27 | ± 1,45 | 30,2 | ± 4,98 | 29,01 | ± 4,12 | | |
| Incrementos (tras ensayo) | | ΔRa | | ΔRq | | ΔRz | | ΔRz | | ΔRz | | ΔRz | | ΣΔ | |
| | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | ΔRz | ΣΔ |
| | | Med | | Med | | Med | | Med | | Med | | Med | | | |
| Variante A Fuerte húmeda | 8 | -0,25 | | -0,83 | | 0,17 | | -0,94 | | 0,03 | | -3,01 | | -1,49 | -4,83 |
| | 11 | -2,72 | | -2,41 | | -3,09 | | -2,68 | | -7,01 | | -5,55 | | -6,28 | -23,46 |
| Variante B Débil húmeda | 20 | -1,25 | | -1,34 | | -1,41 | | -1,78 | | -4,80 | | -4,72 | | -4,76 | -15,30 |
| | 23 | 0,42 | | -0,04 | | 0,42 | | -0,15 | | 0,74 | | -1,15 | | -0,21 | 0,24 |
| Variante C Fuerte seca | 32 | -2,92 | | -1,59 | | -3,31 | | -1,88 | | -7,90 | | -3,88 | | -5,89 | -9,22 |
| | 35 | -1,66 | | -0,31 | | -1,83 | | -0,25 | | -2,14 | | 2,41 | | 0,13 | -3,78 |
| Variante D Débil seca | 44 | -2,07 | | -1,43 | | -2,64 | | -1,88 | | -6,94 | | -4,78 | | -5,86 | -19,74 |
| | 47 | -0,69 | | -0,52 | | -0,92 | | -0,80 | | -1,46 | | -1,06 | | -1,26 | -5,45 |
| ΣΣΔ = -93,77 | | | | | | | | | | | | | | | |
| SUPERFICIE RUGOSA CALIZA CON H2 | 99 | Ra | | | | Rq | | | | Rz | | | | ΔRz | ΣΔ |
| | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | | |
| | | Med | Std | Med | Std | Med | Std | Med | Std | Med | Std | Med | Std | | |
| Blanco (antes ensayo) | a | 7,97 | ± 1,64 | 8,3 | ± 2,22 | 10,01 | ± 2,13 | 10,69 | ± 2,63 | 29,92 | ± 6,81 | 31,39 | ± 7,96 | | |
| | b | 8,73 | ± 1,64 | 7,46 | ± 1,38 | 10,77 | ± 1,91 | 9,36 | ± 1,64 | 32,63 | ± 6,29 | 27,72 | ± 4,32 | | |
| | c | 7,7 | ± 1,18 | 6,77 | ± 1,55 | 9,65 | ± 1,62 | 8,65 | ± 1,94 | 30,65 | ± 4,95 | 26,38 | ± 5,41 | | |
| | Med | 8,13 | ± 0,53 | 7,51 | ± 0,77 | 10,14 | ± 0,57 | 9,57 | ± 1,04 | 31,07 | ± 1,4 | 28,50 | ± 2,59 | | |
| Variante A Fuerte húmeda | 9 | 6,28 | ± 1,19 | 5,51 | ± 1,05 | 7,89 | ± 1,37 | 7,18 | ± 1,35 | 24,89 | ± 4,26 | 21,65 | ± 4,71 | | |
| | 12 | 5,78 | ± 1,40 | 6,27 | ± 1,66 | 7,56 | ± 1,75 | 8,04 | ± 2,09 | 25,48 | ± 5,79 | 26,17 | ± 6,12 | | |
| Variante B Débil húmeda | 21 | 7,34 | ± 0,88 | 6,17 | ± 1,11 | 9,25 | ± 1,07 | 7,75 | ± 1,31 | 27,1 | ± 3,56 | 21,47 | ± 3,91 | | |
| | 24 | 6,8 | ± 1,90 | 6,15 | ± 2,39 | 8,59 | ± 2,37 | 7,72 | ± 2,97 | 25,36 | ± 8,48 | 23,14 | ± 8,15 | | |
| Variante C Fuerte seca | 33 | 6,77 | ± 1,61 | 7,16 | ± 1,48 | 8,56 | ± 2,10 | 9,18 | ± 1,96 | 26,95 | ± 6,15 | 28,88 | ± 6,06 | | |
| | 36 | 6,72 | ± 1,27 | 7,43 | ± 1,71 | 8,59 | ± 1,47 | 9,53 | ± 2,09 | 29,56 | ± 4,09 | 33,81 | ± 7,49 | | |
| Variante D Débil seca | 45 | 7,06 | ± 1,17 | 8,33 | ± 1,35 | 8,74 | ± 1,39 | 10,43 | ± 1,54 | 28,19 | ± 4,50 | 33,05 | ± 4,81 | | |
| | 48 | 4,79 | ± 1,14 | 6,09 | ± 1,09 | 5,99 | ± 1,38 | 7,62 | ± 1,28 | 19,7 | ± 4,15 | 25,21 | ± 4,45 | | |
| Incrementos (tras ensayo) | | ΔRa | | ΔRq | | ΔRz | | ΔRz | | ΔRz | | ΔRz | | ΣΔ | |
| | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | eje X | | eje Y | | ΔRz | ΣΔ |
| | | Med | | Med | | Med | | Med | | Med | | Med | | | |
| Variante A Fuerte húmeda | 9 | -1,85 | | -2,00 | | -2,25 | | -2,39 | | -6,18 | | -6,85 | | -6,51 | -21,52 |
| | 12 | -2,35 | | -1,24 | | -2,58 | | -1,53 | | -5,59 | | -2,33 | | -3,96 | -15,62 |
| Variante B Débil húmeda | 21 | -0,79 | | -1,34 | | -0,89 | | -1,82 | | -3,97 | | -7,03 | | -5,50 | -15,84 |
| | 24 | -1,33 | | -1,36 | | -1,55 | | -1,85 | | -5,71 | | -5,36 | | -5,53 | -17,16 |
| Variante C Fuerte seca | 33 | -1,36 | | -0,35 | | -1,58 | | -0,39 | | -4,12 | | 0,38 | | -1,87 | -7,42 |
| | 36 | -1,41 | | -0,08 | | -1,55 | | -0,04 | | -1,51 | | 5,31 | | 1,90 | 0,72 |
| Variante D Débil seca | 45 | -1,07 | | 0,82 | | -1,40 | | 0,86 | | -2,88 | | 4,55 | | 0,84 | 0,88 |
| | 48 | -3,34 | | -1,42 | | -4,15 | | -1,95 | | -11,37 | | -3,29 | | -7,33 | -25,52 |
| ΣΣΔ = -101,45 | | | | | | | | | | | | | | | |

Las casillas sombreadas se corresponden con probetas sobre las que se ha depositado MP.

 Superficie lisa sin MP
  Superficie lisa con MP
  Superficie rugosa sin MP
  Superficie rugosa con MP

10.4.2. Análisis de los productos de reacción

10.4.2.a. Composición mineralógica

Las fases minerales identificadas mediante Difracción de Rayos X en los productos de reacción generados en probetas exentas de MP sometidas a las variantes de ensayo C y D, tanto para las probetas tratadas como sin tratar, son mostradas en la figura 10.11. Las fase cristalina mayoritariamente identificada se corresponde con yeso (sulfato cálcico dihidratado), resultando algo más significativa su presencia en los productos generados sobre la superficie de las probetas tratadas, siendo a su vez la presencia de yeso algo más significativa en las probetas tratadas con H1. Por otro lado, se identifica la fase mineral hannebachita (sulfito cálcico hemihidratado), resultando su presencia ligeramente más significativa en los productos de reacción generados sobre las probetas sometidas a la variante de ensayo D (superficies secas y atmósfera débil), no observándose prácticamente diferencia alguna entre las probetas tratadas y sin tratar.

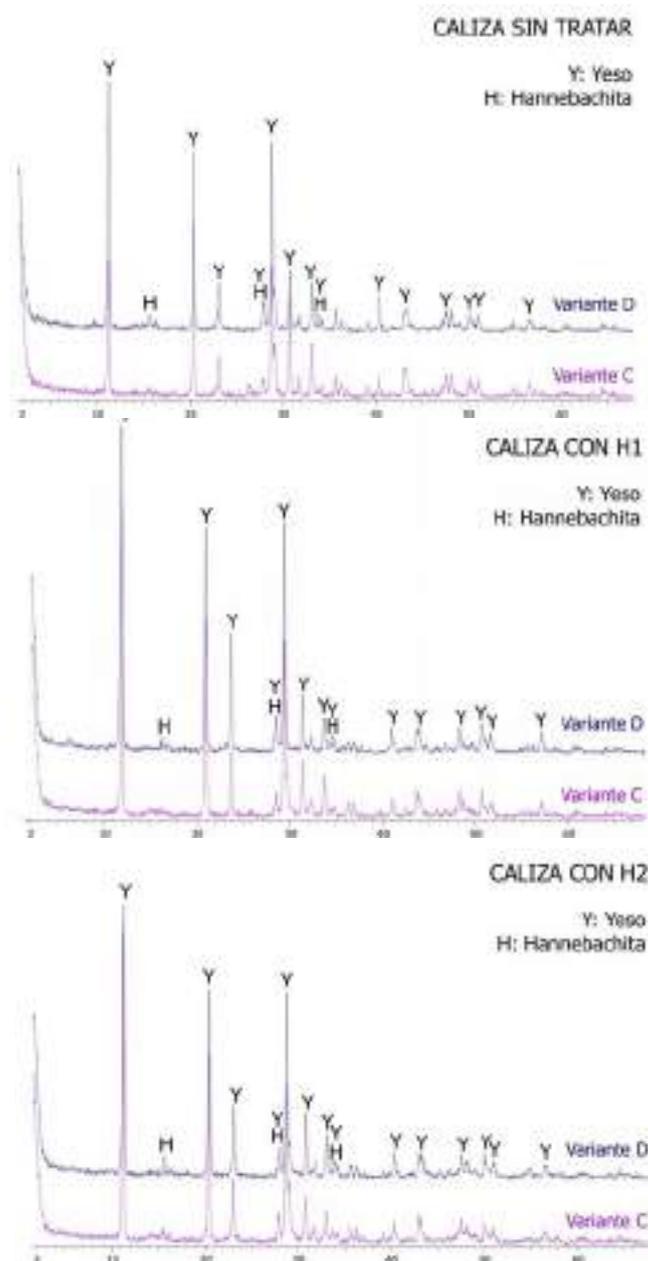


Fig.10.11. Difractogramas de los productos de reacción generados en probetas, tratadas y sin tratar, sin MP sometidas a las variantes C y D.

10.4.2.b. Morfologías cristalinas y composición química elemental

El examen mediante MEB-EDS (modo ES) de las probetas sometidas a la acción del SO₂ (figuras 10.12 - 10.23) revela la importante presencia de azufre (S), señalando la sulfatación de las superficies, así como la nucleación de cristales en las mismas, constituidos principalmente por azufre (S) y calcio (Ca). La presencia de azufre (S) y/o formación de cristales resulta más o menos intensa según la variable de ensayo, siendo especialmente significativos para las probetas sometidas a la variante C y, en las probetas tratadas, también en aquellas expuestas a la variante D. Los cristales presentan morfologías variadas, fundamentalmente globulares, prismáticas, en estrella, tabulares y aciculares, con diferente grado de desarrollo, tapizando la superficie de algunas probetas en su práctica totalidad. Además, especialmente en las probetas con MP sometidas a la variante C, tratadas y sin tratar, se observa pérdida de material, que afecta a la caliza y/o al tapiz de sulfatación.

10.4.2.b.1. *Caliza sin tratar*

Los resultados obtenidos señalan la importante presencia de azufre (S) en las probetas sometidas a atmósferas saturadas (variantes de ensayo A y C). En las probetas sometidas a la variante A los espectros revelan que la presencia de azufre (S) resulta algo más significativa en las superficies con MP, y muy puntualmente se observan morfologías en estrella con bajo grado de desarrollo (figura 10.12.b). En las probetas sometidas a la variante C, además de la sulfatación generalizada de las superficies, se observan abundantes morfologías cristalinas (figura 10.14), especialmente cuando la superficie carece de MP e independientemente de la rugosidad superficial (probetas nº25 y nº31). Principalmente se observan morfologías aciculares y globulares, que suelen cristalizar en forma de glomérulos y llegan a coalescer (probetas nº25 y nº31). En las superficies con MP apenas se han desarrollado morfologías cristalinas, puntualmente cristales aciculares (figura 10.14.g), si bien en general se ha producido su sulfatación en mayor o menor medida; en ocasiones se observa cierta abrasión en las superficies, especialmente intensos en la variante C (figura 10.14.h).

En atmósferas poco saturadas en SO₂ (variantes B y D), las superficies experimentan un grado de sulfatación considerablemente menor, algo más significativo para las superficies secas (figura 10.15). En las probetas húmedas apenas se detecta azufre (S), ligeramente en las superficies con MP (probetas nº16 y nº22), pudiéndose observar en aquellas exentas de MP las aristas definidas en los cristales de calcita (figura 10.13.d). En las superficies con MP, en ocasiones se observa que las partículas no eliminadas tras el lavado quedan adheridas a los cristales de calcita (figura 10.13.c).

10.4.2.b.2. *Caliza tratada*

Sobre las superficies tratadas se ha desarrollado mayor cantidad de cristales que sobre la piedra sin tratar, mostrando algunos un tamaño considerable. La nucleación de cristales ha tenido lugar de forma más intensa en las probetas secas (variantes de ensayo C y D) tratadas con sendos hidrofugantes, resultando también significativas las morfologías cristalinas generadas en las probetas húmedas tratadas con H1. Mientras que las morfologías aciculares, tabulares y globulares se han desarrollado en superficies tratadas y sin tratar, las formas prismáticas sólo se han observado en las superficies tratadas (probeta nº26 para H1, figura 10.18.b, y probetas nº15 y nº30 para H2, figuras 10.21.a y 10.22.f respectivamente). Resulta muy significativa la formación de cristales en estrella, especialmente en atmósferas con menor saturación de SO₂. Además, independientemente de la agresividad de la atmósfera, del grado de humedad de las superficies y de la presencia o no de MP, en superficies lisas tratadas con ambos hidrofugantes ha tenido lugar el crecimiento de cristales con un desarrollo importante; para H1, probetas nº17 y nº26 (figuras 10.17 y 10.18, respectivamente); para H2, probetas nº15 y nº30 (figuras 10.21.a y 10.22.f respectivamente).

En las probetas con MP se ha producido igualmente una sulfatación de las superficies algo más significativa, con el desarrollo más o menos intenso de cristales, mostrando además las superficies cierta abrasión, algo más las tratadas con H1. El tratamiento se conserva en mayor o menor medida, mostrando H2 mejor grado de conservación, observándose a veces su ruptura y una importante rugosidad, especialmente en el hidrofugante H1. La nucleación de los cristales tiene lugar principalmente sobre la película de tratamiento aplicado, desarrollándose igualmente bajo la misma e incluso llegando a romperla.

Para las probetas tratadas con H1, en atmósferas saturadas (variantes de ensayo A y C) se ha producido la sulfatación y nucleación de cristales de forma generalizada en las superficies, que en las probetas húmedas presentan morfologías tabulares (figura 10.16.b) y en estrella (figura 10.16.c y 10.16.e). En las probetas secas, sobre superficies exentas de MP se desarrollan fundamentalmente formas prismáticas (figura 10.18.b) y tabulares, disponiéndose estas últimas en glomérulos (figuras 10.18.c y 10.18.d) y, en superficies con MP, se han generado principalmente cristales aciculares (figuras 10.18.h y 10.18.i). En la figura 10.18.a el espectro EDS revela la intensa sulfatación producida en las aristas de la probeta, sin el desarrollo de cristales al no disponer de espacio para crecer. En ambas variantes, igualmente en las probetas con MP se observa que la disgregación de las superficies ha resultado más intensa (figura 10.16.d y 10.18.j).

En cuanto a las muestras sometidas a atmósferas menos saturadas (variantes de ensayo B y D), es considerablemente menor el grado de sulfatación que se ha producido en las superficies de las probetas, si bien se observa el desarrollo significativo de morfologías cristalinas. En las probetas húmedas (figura 10.17), contrariamente a lo indicado hasta ahora, es en las superficies con MP donde se observa el mayor desarrollo de cristales, concretamente láminas de diverso grosor agrupadas en rosetas (figuras 10.17.c y 10.17.d), morfologías únicamente identificadas en la probeta nº17. En la superficie de las probetas secas (variante D) se generan principalmente cristales con morfología en estrella (probetas nº41, nº44 y nº47), independientemente tuvieran o no MP, presentando algunas morfologías un desarrollo incipiente (figura 10.19.g).

Para las cuatro variantes de ensayo se observa que el tratamiento H1 se ha conservado en algunas probetas, cubriendo homogéneamente los cristales de calcita (figura 10.17.a), nucleando y creciendo los cristales sobre la capa (figura 10.16.e), apuntando los incipientes cristales bajo el tratamiento (figura 10.18.e) o envolviendo parcialmente las morfologías cristalinas generadas (figura 10.18.f). También, pueden observarse las zonas en las que la película bien muestra una importante rugosidad (figuras 10.17.b, 10.19.a y 10.19.b), bien se ha roto debido principalmente al intenso crecimiento de cristales bajo el tratamiento (figura 10.19.c).

Respecto a las probetas en las que se ha aplicado el hidrofugante H2, igualmente en atmósferas más saturadas (variantes A y C) se produce la sulfatación generalizada de las superficies, además del intenso desarrollo de cristales en las superficies secas (variante C), mostrando formas globulares, prismáticas, tabulares y en estrella, independientemente de la presencia o ausencia de MP (figura 10.22). En las probetas secas con MP se observan morfologías relacionadas con su disolución superficial (figura 10.22.e). En las probetas sometidas a atmósferas poco saturadas (variantes B y D) apenas se ha producido la sulfatación de las superficies, si bien se han generado igualmente cristales, especialmente abundantes y con morfologías en estrella en las probetas secas exentas de MP (figura 10.23, probetas nº39 y nº45). También para las cuatro variantes de ensayo el tratamiento H2 se ha conservado en algunas probetas (figuras 10.21.e y 10.23.f), mostrando en ocasiones igualmente cierta rugosidad (figuras 10.20.d y 10.22.h).

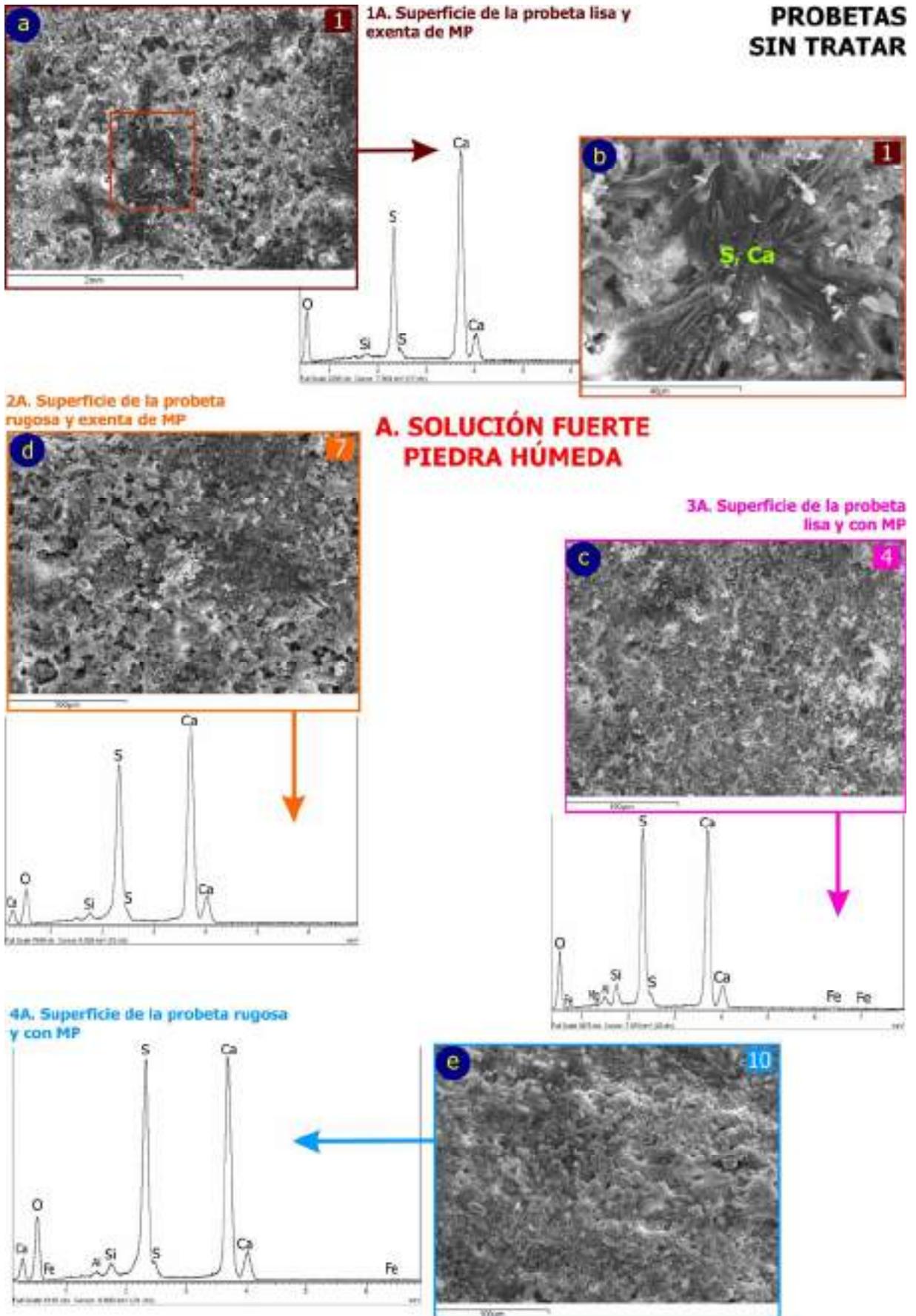


Fig.10.12. Imágenes obtenidas mediante MEB y espectros EDS de las superficies de las probetas sin tratar sometidas a la variante de ensayo A.

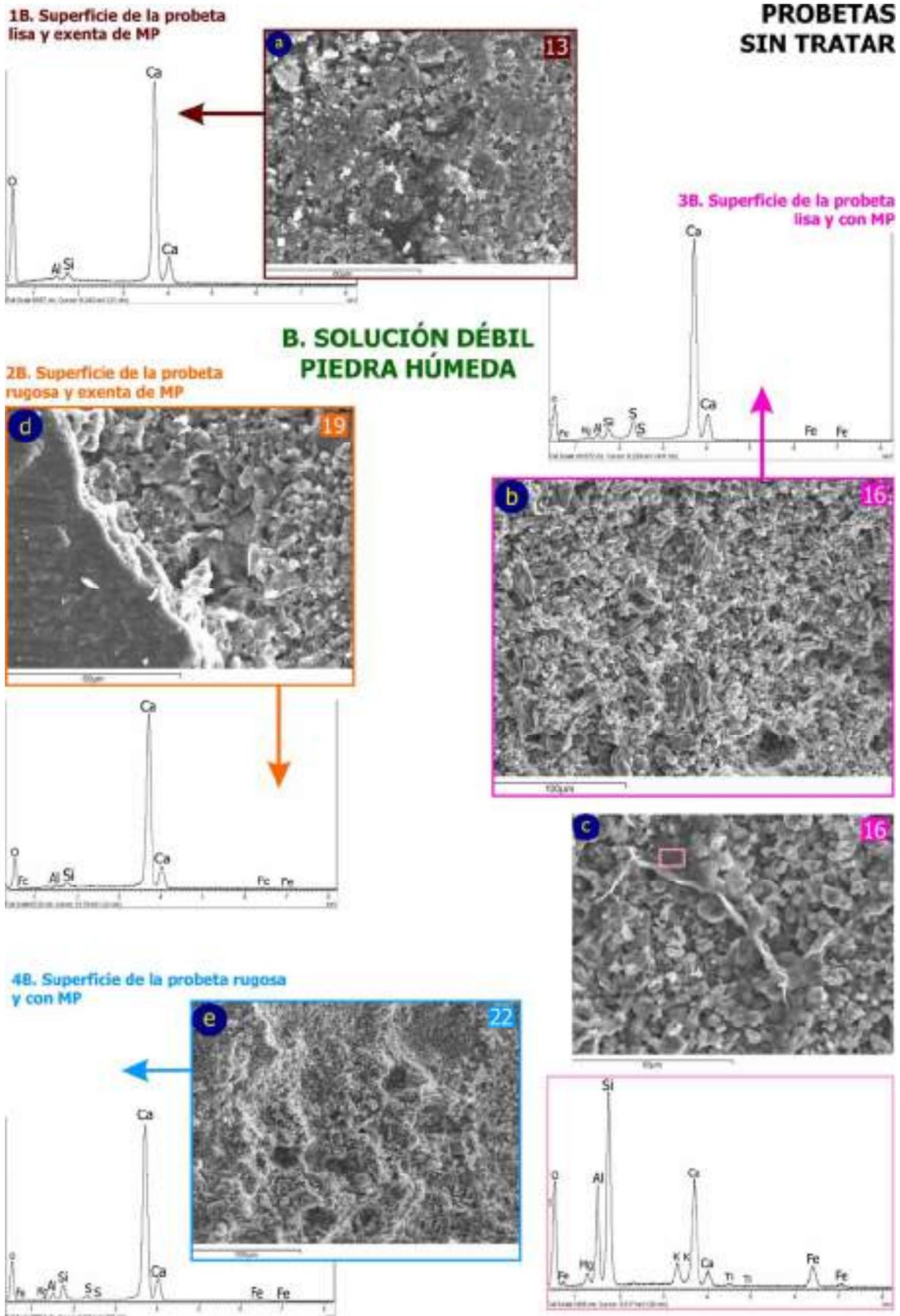


Fig.10.13. Imágenes obtenidas mediante MEB y espectros EDS de las superficies de las probetas sin tratar sometidas a la variante de ensayo B.

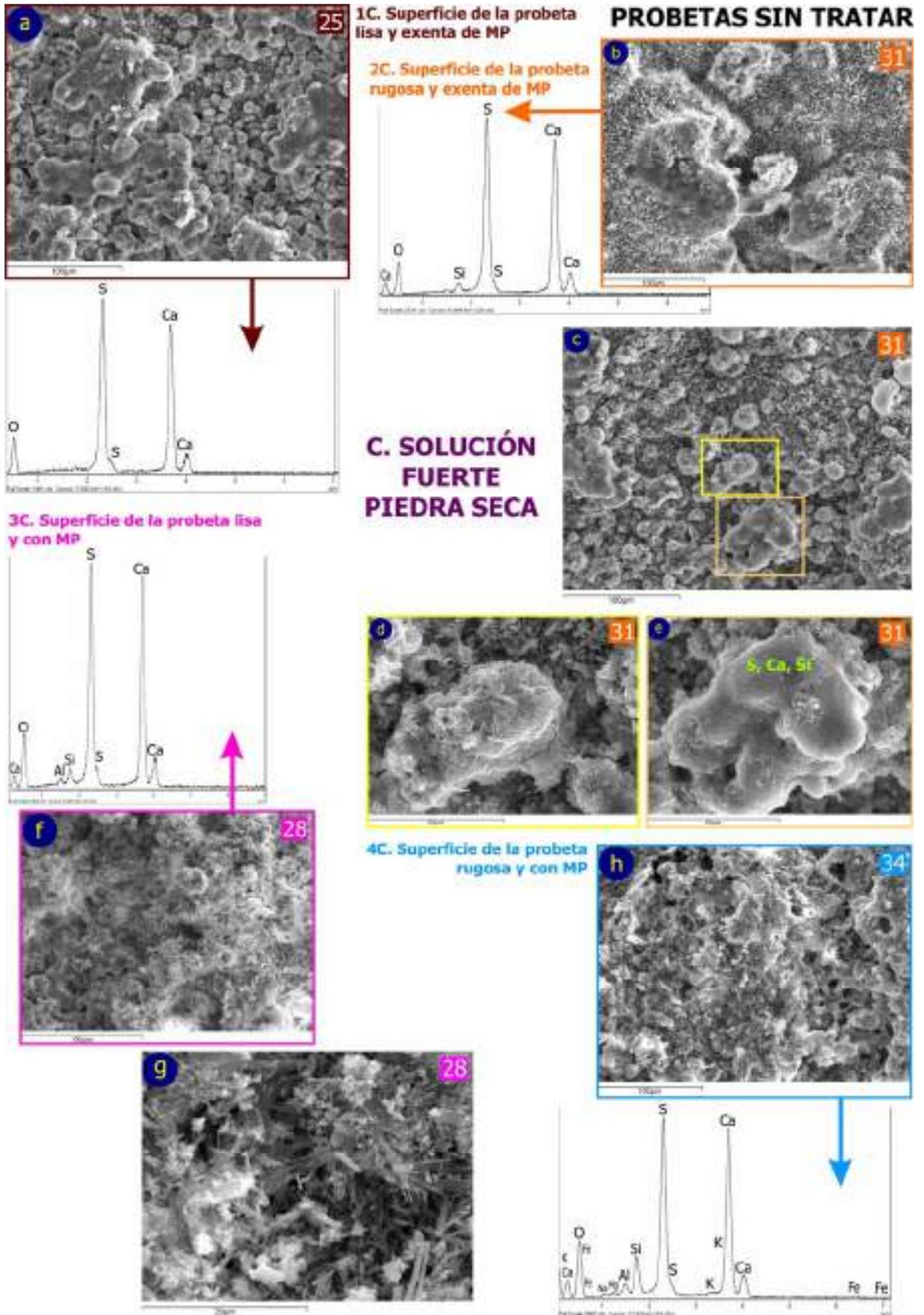


Fig.10.14. Imágenes obtenidas mediante MEB y espectros EDS de las superficies de las probetas sin tratar sometidas a la variante de ensayo C.

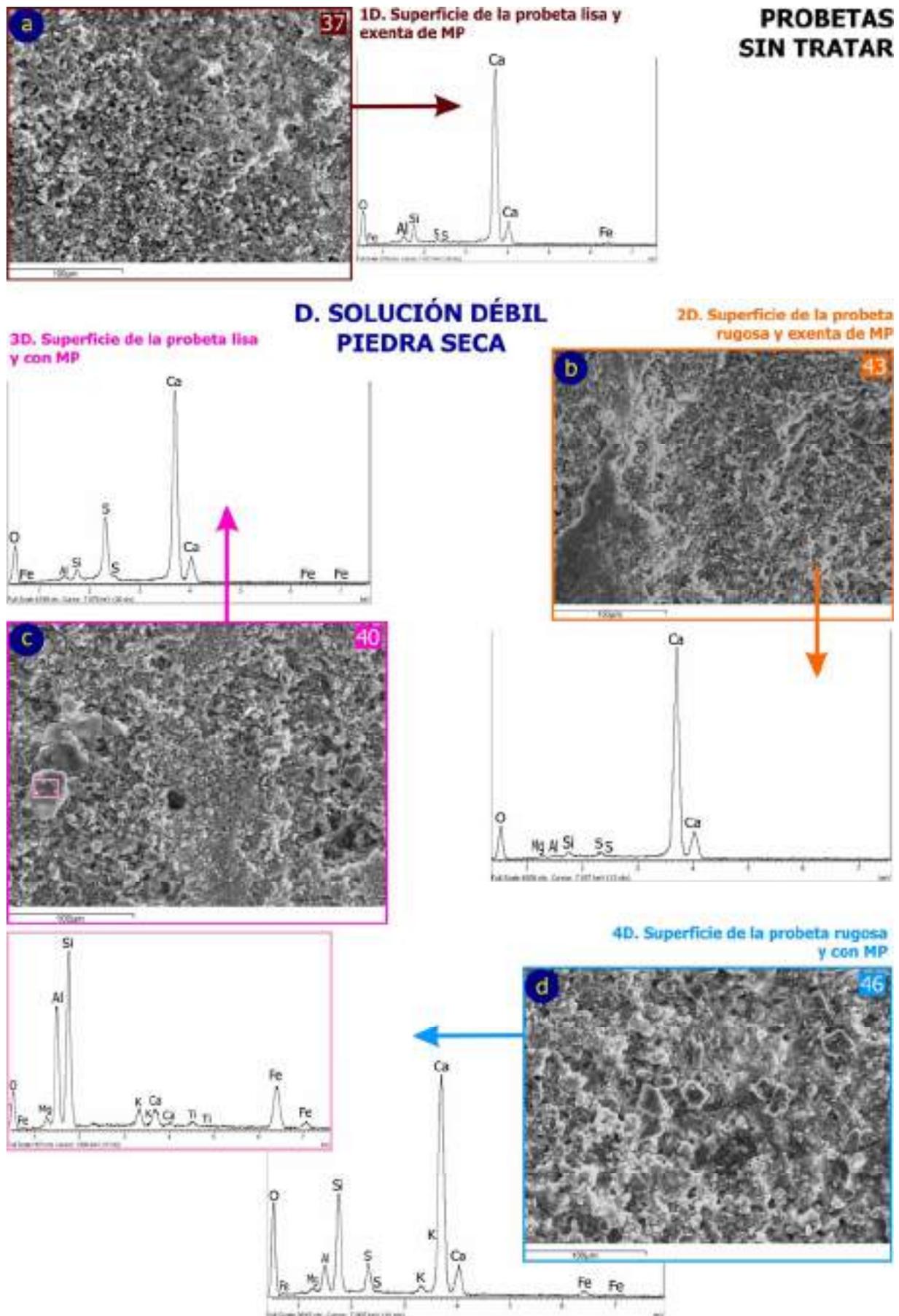


Fig.10.15. Imágenes obtenidas mediante MEB y espectros EDS de las superficies de las probetas sin tratar sometidas a la variante de ensayo D.

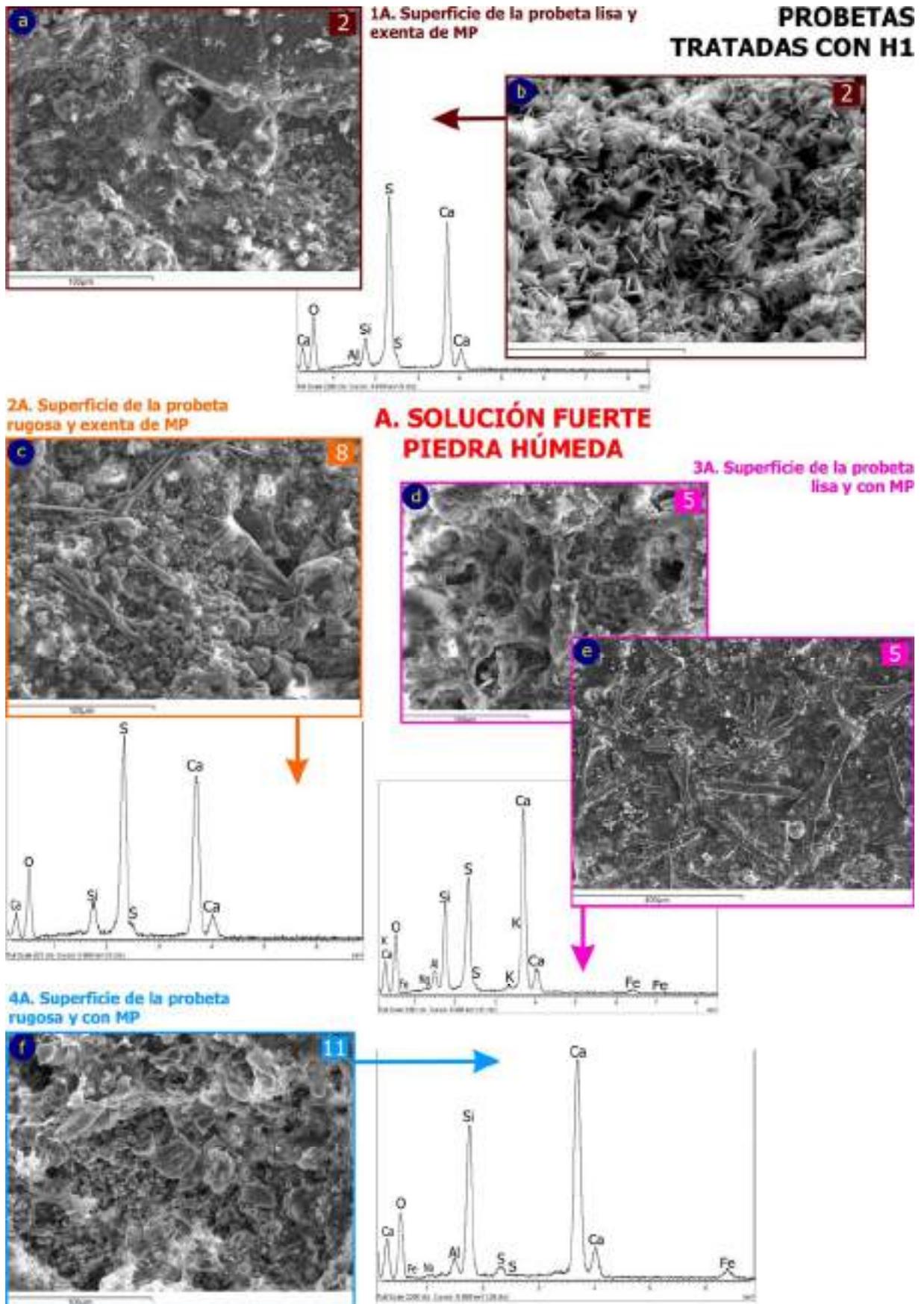


Fig.10.16. Imágenes obtenidas mediante MEB y espectros EDS de las superficies de las probetas tratadas con H1 sometidas a la variante de ensayo A.

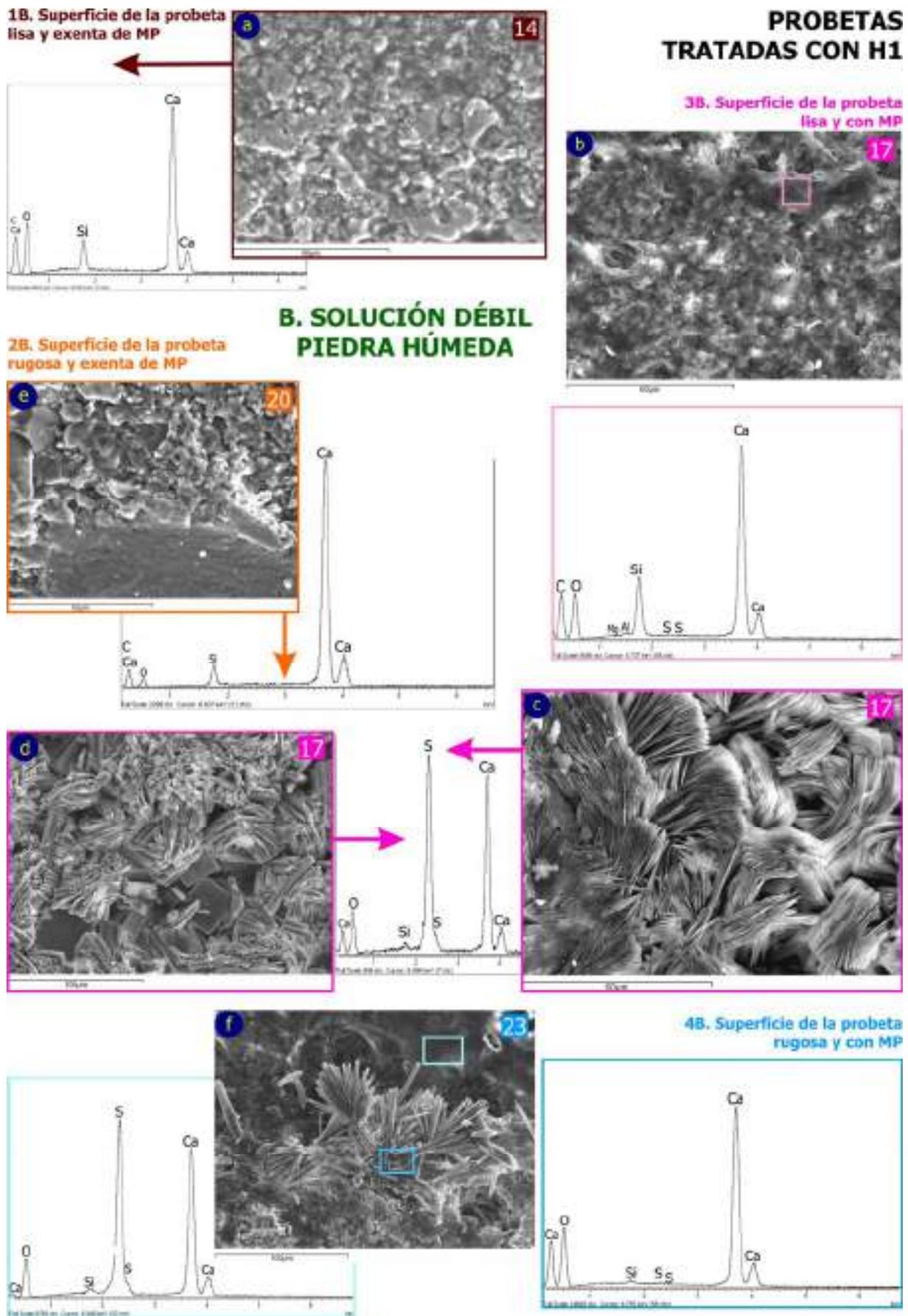


Fig.10.17. Imágenes obtenidas mediante MEB y espectros EDS de las superficies de las probetas tratadas con H1 sometidas a la variante de ensayo B.

1C. Superficie de la probeta lisa y exenta de MP

PROBETAS TRATADAS CON H1

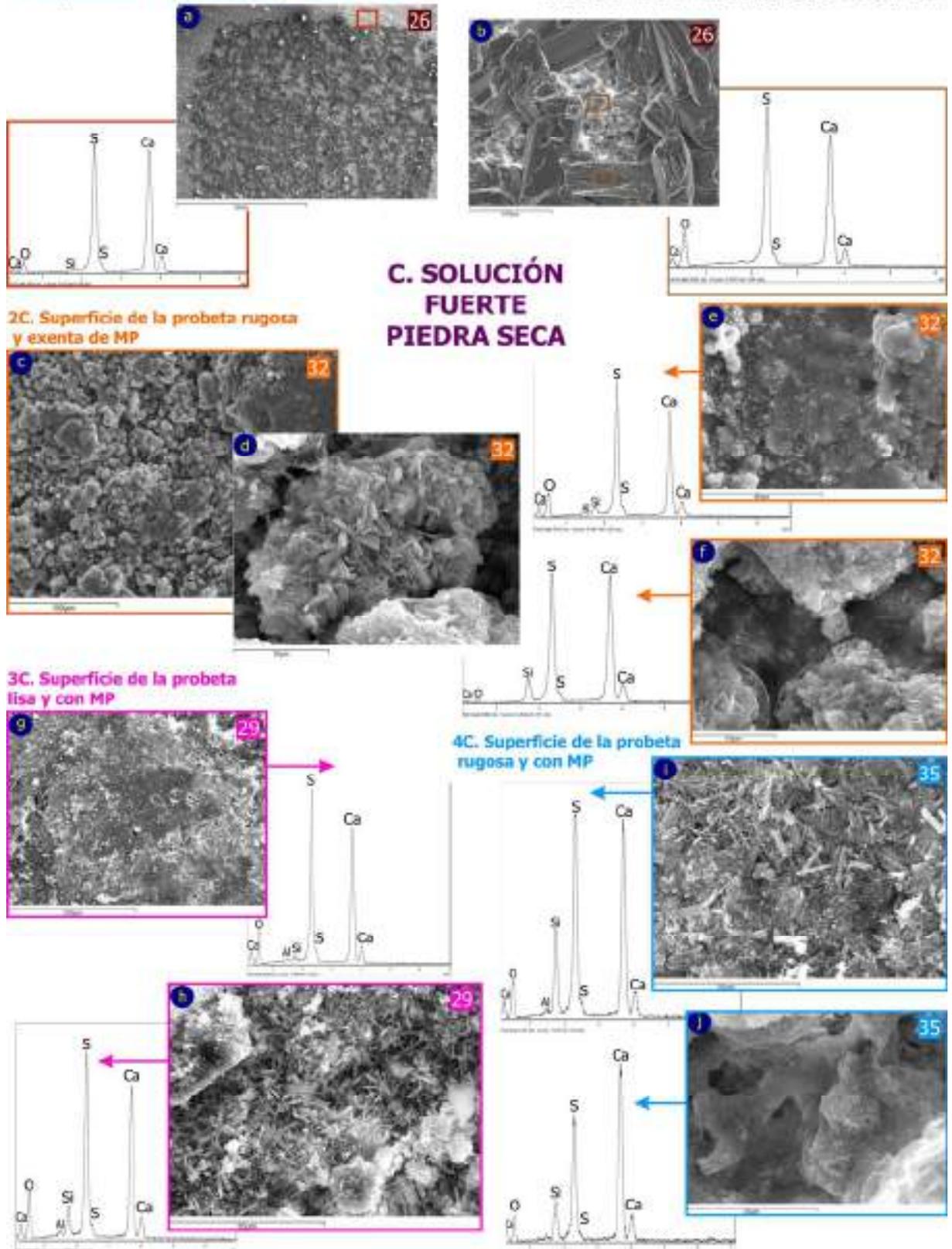


Fig.10.18. Imágenes obtenidas mediante MEB y espectros EDS de las superficies de las probetas tratadas con H1 sometidas a la variante de ensayo C.

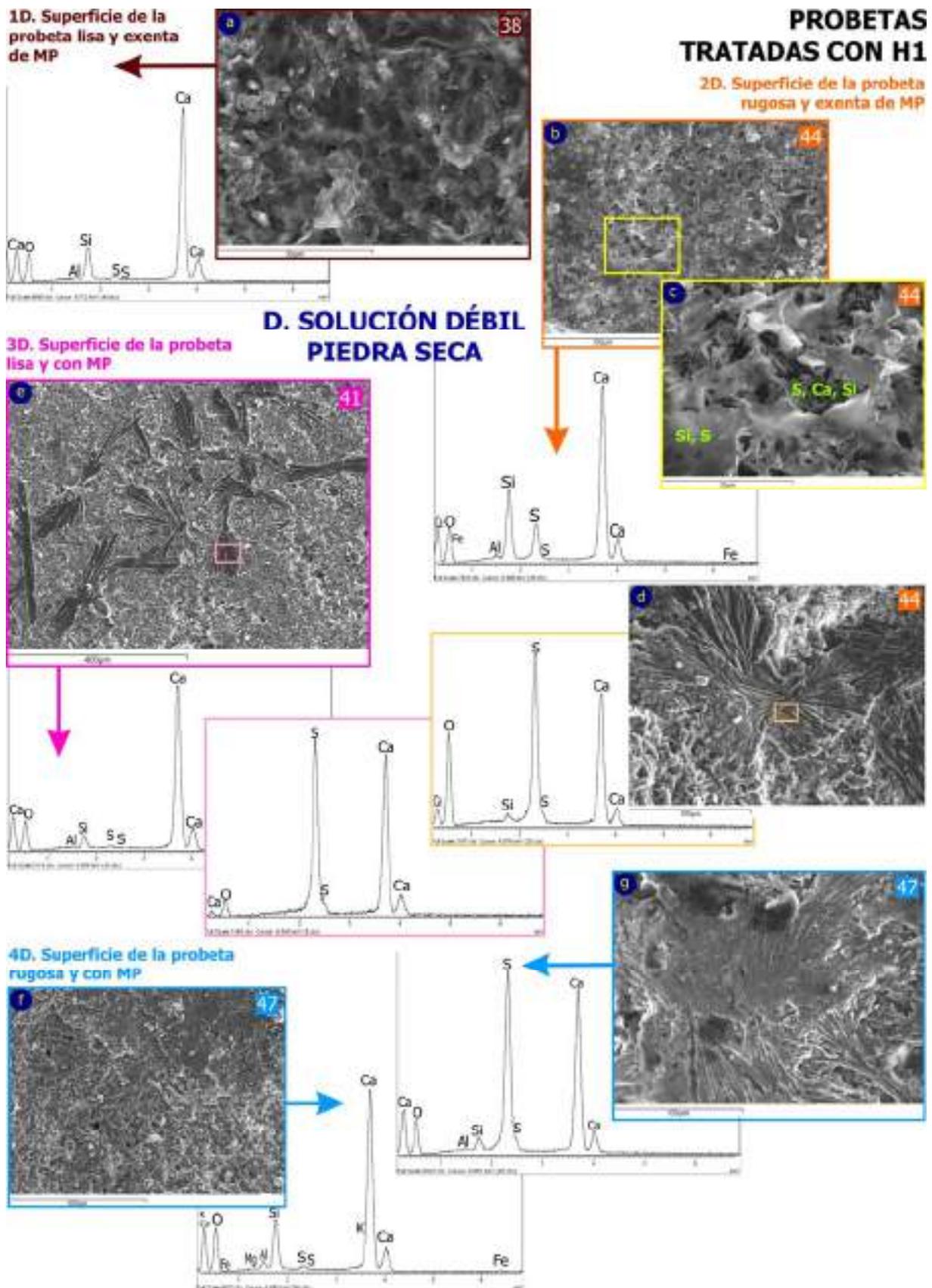


Fig.10.19. Imágenes obtenidas mediante MEB y espectros EDS de las superficies de las probetas tratadas con H1 sometidas a la variante de ensayo D.

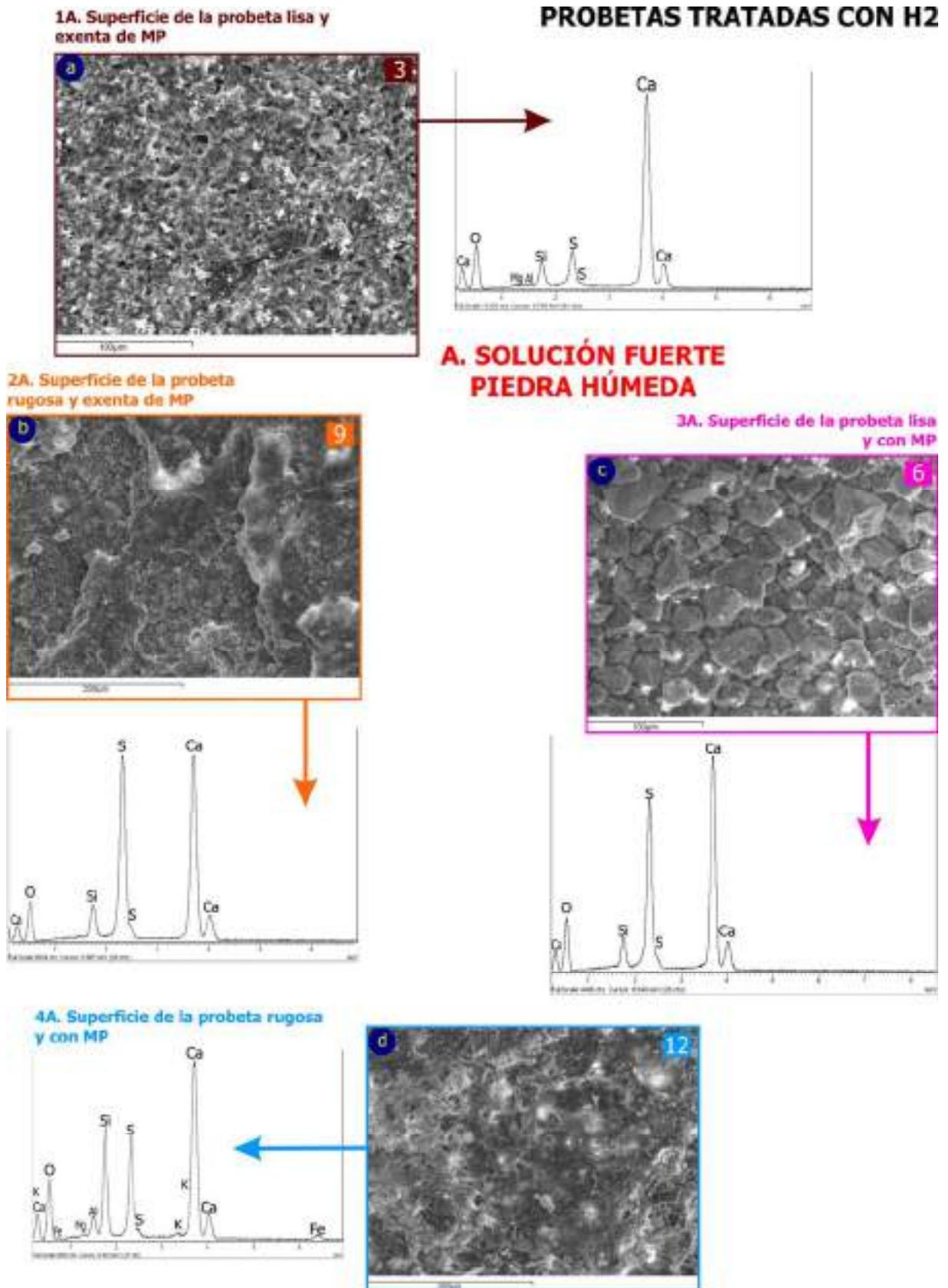


Fig.10.20. Imágenes obtenidas mediante MEB y espectros EDS de las superficies de las probetas tratadas con H₂ sometidas a la variante de ensayo A.

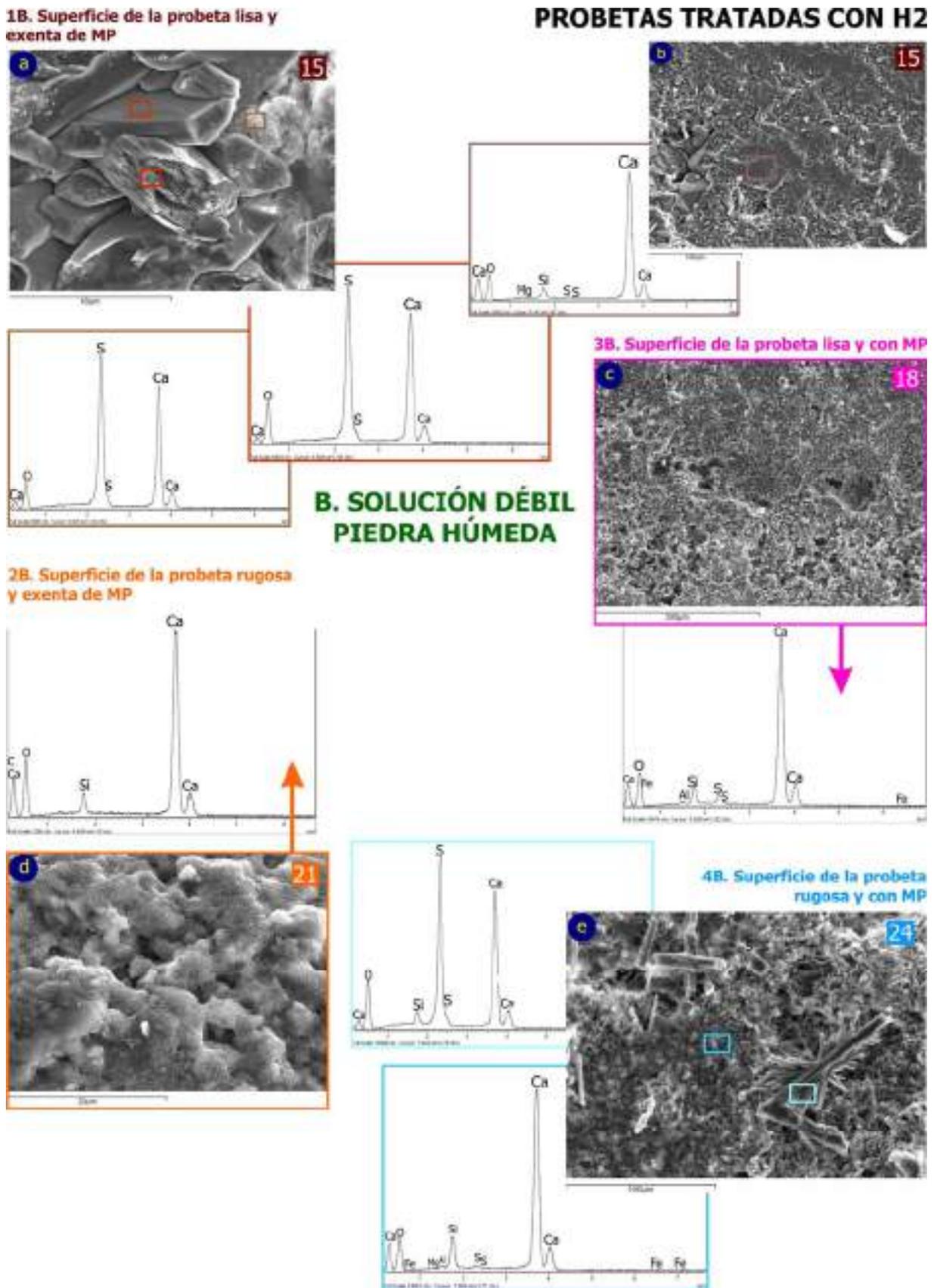
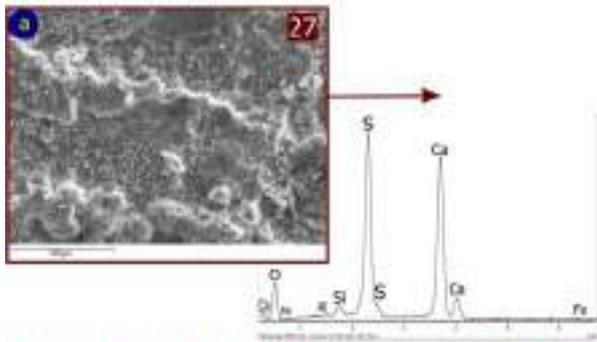
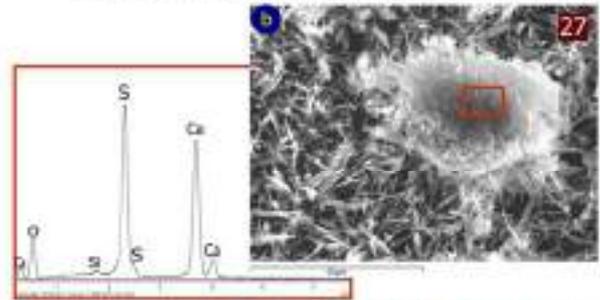


Fig.10.21. Imágenes obtenidas mediante MEB y espectros EDS de las superficies de las probetas tratadas con H₂ sometidas a la variante de ensayo B.

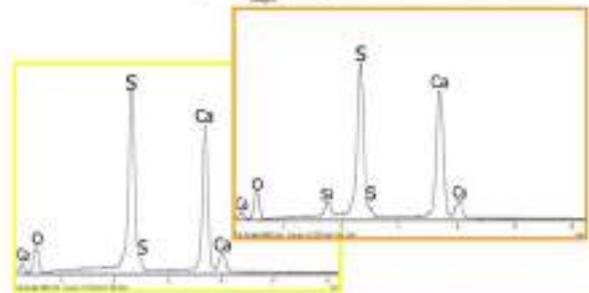
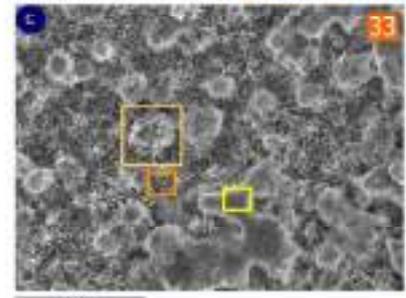
1C. Superficie de la probeta lisa y exenta de MP



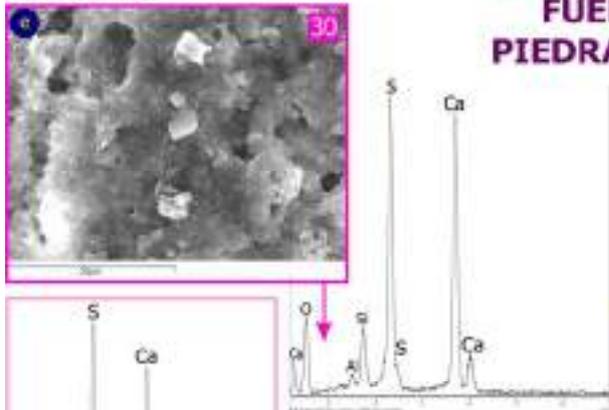
PROBETAS TRATADAS CON H₂



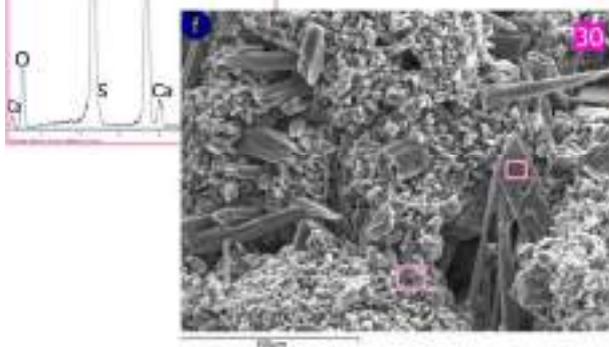
2C. Superficie de la probeta rugosa y exenta de MP



3C. Superficie de la probeta lisa y con MP



C. SOLUCIÓN FUERTE PIEDRA SECA



4C. Superficie de la probeta rugosa y con MP

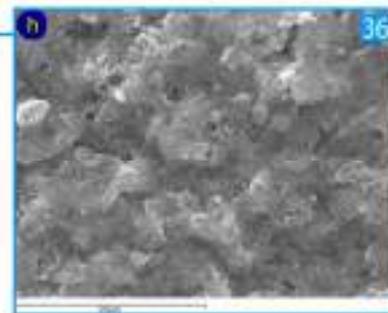
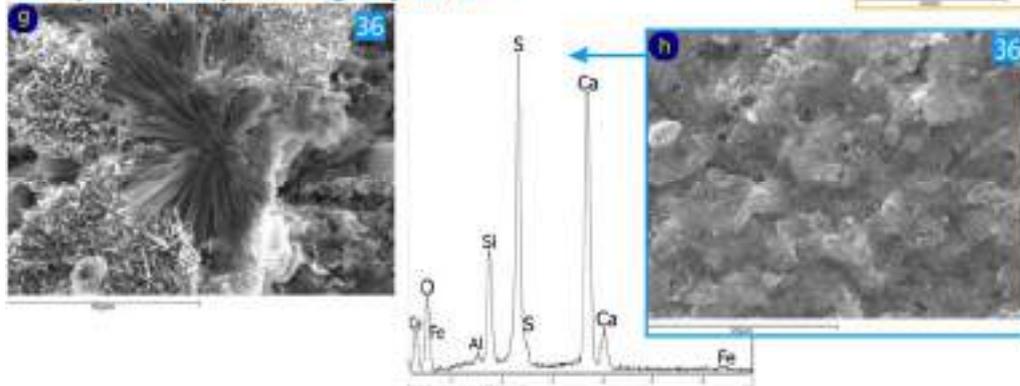
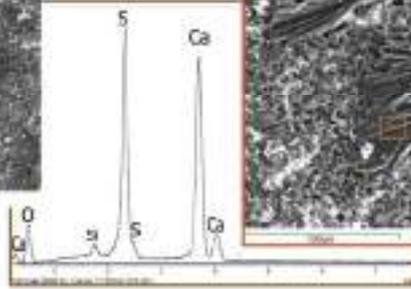
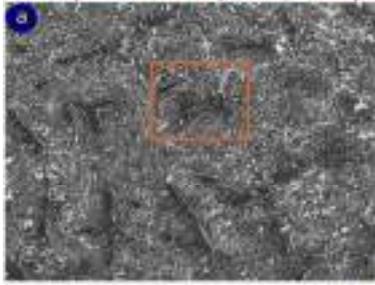
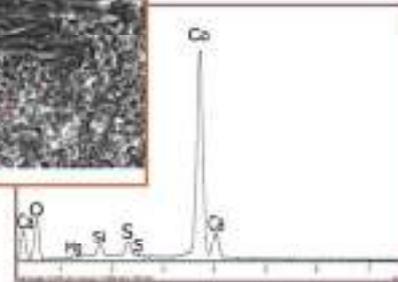
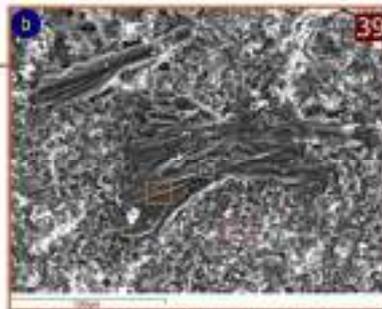


Fig.10.22. Imágenes obtenidas mediante MEB y espectros EDS de las superficies de las probetas tratadas con H₂ sometidas a la variante de ensayo C.

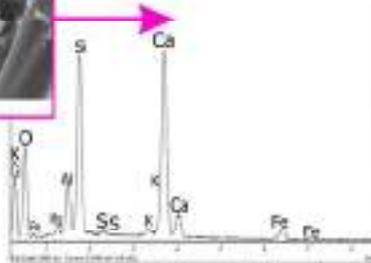
1D. Superficie de la probeta lisa y exenta de MP



PROBETAS TRATADAS CON H2

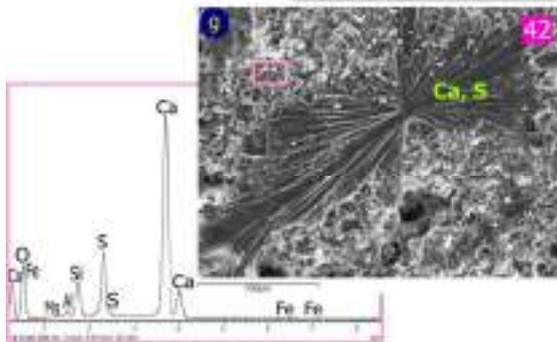
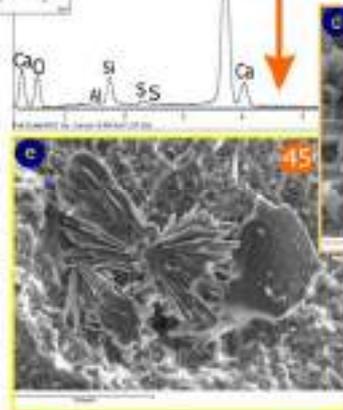
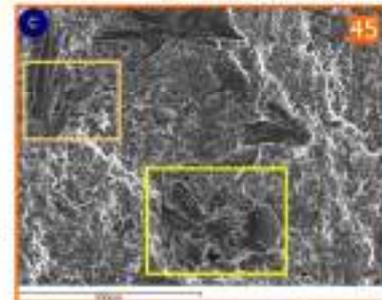


3D. Superficie de la probeta lisa y con MP



D. SOLUCIÓN DÉBIL PIEDRA SECA

2D. Superficie de la probeta rugosa y exenta de MP



4D. Superficie de la probeta rugosa y con MP

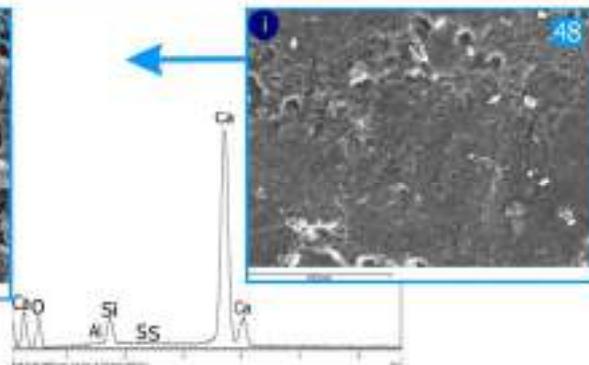
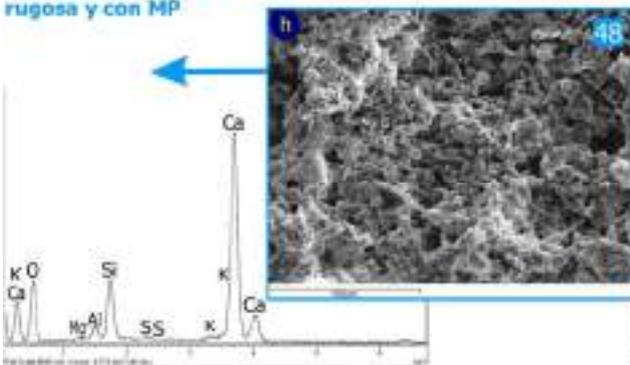


Fig.10.23. Imágenes obtenidas mediante MEB y espectros EDS de las superficies de las probetas tratadas con H2 sometidas a la variante de ensayo D.

10.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El ataque por acción del SO₂ genera en la superficie de la caliza una costra de sulfatación superficial constituida principalmente por sales autigénicas o de neoformación (Alonso et al. 2004, Mateos y Esbert 2007) y cuyo efecto más visible es el blanqueamiento de la piedra pues estas sales de neoformación tienden a concentrarse en las superficies (Grossi et al. 1998). La sulfatación de la caliza también implica en mayor o menor medida procesos de disolución, siendo su principal efecto la disgregación superficial de la piedra (Pérez-Bernal y Bello 2003, Franzoni y Sassoni 2011), que en general resulta más intensa cuanto mayor es el blanqueamiento de las superficies, e introduce cierta susceptibilidad para su deterioro, al quedar más vulnerables a la acción de los agentes de deterioro (Bede 2000, Grossi et al. 2000, Benavente et al. 2003, Alonso et al. 2004).

El ensayo revela que la MP favorece igualmente la sulfatación de la caliza, manifestada en este caso por procesos de amarillamiento superficial (Grossi et al. 2000), y presenta cierta capacidad abrasiva, incrementando su presencia los procesos de disolución relacionados con la acción del SO₂. La acción y los efectos de las partículas sobre las superficies queda ciertamente acotada, afectando a la zona sobre la que se depositan y difundiéndose a su alrededor. Antes de empezar a quedar retenidas en la superficie de la caliza, el depósito de la MP minimiza en cierta medida la variación cromática debida al intenso blanqueamiento.

La caliza ensayada ha resultado muy reactiva frente a atmósferas saturadas en SO₂, ofreciendo sin embargo buena resistencia en ambientes poco agresivos, especialmente si su superficie está húmeda. Los factores que en mayor medida controlan la sulfatación de la piedra, tanto en superficies tratadas como sin tratar, son el grado de agresividad o saturación (concentración de SO₂) de la atmósfera y la humedad de las superficies, siendo más significativa la cantidad de SO₂ depositado sobre las superficies secas que en las húmedas (Grossi et al. 1998). Resultan importantes las diferencias entre superficies tratadas y sin tratar, presentando los dos tratamientos ensayados cierto comportamiento diferencial en cuanto a las modificaciones superficiales que provocan. Los hidrofugantes ensayados resultan totalmente contraproducentes a la hora de minimizar la sulfatación de la caliza.

Si bien durante el ensayo se ha procurado mantener constantes la humedad y el aporte de SO₂ en el interior de la cámara, debe tenerse en cuenta que la dinámica de los procesos que tienen lugar durante el ataque pueden ir variando y la superficie de la piedra presenta un comportamiento diferencial, condicionado a su vez por su textura y humedad así como por la presencia de MP y aplicación de hidrofugantes. Además, en las probetas sometidas a la variante de ensayo C, las modificaciones cromáticas y de textura superficial resultan tan intensas y los productos de reacción generados tan abundantes que puede resultar complejo individualizar la acción de los factores analizados, y en aquellas sometidas a la variante B, en ocasiones los efectos de la sulfatación resultan tan mínimos que igualmente resulta complejo discernir en qué medida influyen cada uno de los factores considerados. Por tanto, a la hora de establecer las discusiones correspondientes, debe atenderse a los resultados obtenidos en su conjunto.

10.5.1. Resistencia de la piedra caliza a la acción del SO₂

10.5.1.a. Modificación cromática

Por un lado, el aumento de la L* y del IB está directamente relacionado con la intensidad del proceso de sulfatación que tiene lugar en la superficie de las probetas. La agresividad de la atmósfera en primera instancia y la menor humedad de las superficies en segunda son los factores que en mayor medida provocan el blanqueamiento de las superficies, especialmente significativo en superficies lisas y exentas de MP. Por otro lado, en superficies con MP, sobre la costra blanca se observa además cierto grado de amarillamiento, resultando más notorio el aumento del IA cuanto menos retenidas han quedado las partículas en las superficies.

El amarillamiento debido a la acción de MP es más intenso en superficies secas, revelando el ensayo que las partículas pueden provocar la sulfatación de la caliza a bajas concentraciones de SO_2 . El descenso de la L^* e IB así como el aumento del IA que se produce en las superficies rugosas con MP señalan que en estas superficies tienen lugar de forma conjunta dos procesos cuyos efectos en cuanto a la modificación cromática de las superficies resultan opuestos. Esto es, tras el lavado de las probetas, el amarillamiento se observa en aquellas zonas donde las partículas han sido eliminadas, siendo a su vez el oscurecimiento muy significativo en las zonas donde han quedado retenidas y esta mayor retención correspondería con la incipiente formación de costra negra.

Por tanto, el efecto del SO_2 en ausencia de MP provoca sólo el blanqueamiento de la caliza y los procesos de amarillamiento sólo se producen en presencia de MP, correspondiéndose ambas tonalidades con los productos de reacción que se generan durante el ataque. Puesto que un aumento de L^* e IB denota una mayor presencia de productos de reacción y modificaciones en el IA reflejan el grado de retención de la MP, estos parámetros podrían resultar adecuados para establecer el grado de sulfatación en la piedra y/o de desarrollo de las costras negras.

10.5.1.b. Modificación de la textura superficial

La variación de la textura superficial se debe principalmente a los procesos de disolución y sulfatación que tienen lugar durante el ataque, retroalimentándose ambos procesos entre sí. De este modo, la acción del SO_2 tanto aumenta la rugosidad natural de la piedra para las superficies lisas como favorece la pérdida del acabado rugoso otorgado, siendo ambos efectos opuestos debido en gran parte a la rugosidad inicial de las superficies.

El aumento generalizado de la rugosidad que experimentan las probetas con superficie lisa provoca el aumento de la superficie específica de la piedra (Bede 2000), existiendo más zonas potencialmente susceptibles a la nucleación de cristales. El descenso de la rugosidad en superficies rugosas responde en gran parte a la pérdida de carbonato por deposición seca de SO_2 y por disolución del material (Grossi et al. 1998). La mayor rugosidad que desde el principio presentan las superficies rugosas facilita la nucleación de cristales, pues en más zonas puede quedar adsorbido el SO_2 y, por tanto, mayor cantidad de SO_2 está disponible para reaccionar (McGee y Mossoti 1992, Alonso et al. 2004).

Los efectos de la acción conjunta de ambos procesos resultan igualmente más significativos en las probetas secas sometidas a atmósferas saturadas, otorgando el ataque ácido a las superficies cierta disgregación granular (Benedetti et al. 2008). Que en estas probetas el aumento de la rugosidad en superficies lisas sea considerablemente mayor que su disminución en las rugosas es debido a que los cambios que en general experimenta una superficie lisa resultan más notorios que en una rugosa, ya de por sí alterada. Además, al presentar las superficies rugosas más puntos que de partida permiten la nucleación de cristales de yeso, esta mayor sulfatación favorecería el suavizado de las superficies al contrarrestar el descenso de la rugosidad superficial debido al desgaste producido por efecto de los procesos de disolución, resultando por tanto los incrementos menos significativos.

10.5.1.c. Productos de reacción

Los resultados obtenidos mediante DRX y MEB-EDS permiten confirmar que el ataque realizado provoca la sulfatación de la caliza, generándose sales de neoformación correspondientes a sulfito cálcico hemihidratado (hannebachita), principalmente con morfologías en estrella (Olaru et al. 2010), y sulfato cálcico dihidratado (yeso). Las formas aciculares y en estrella se corresponden con los primeros estadios de la sulfatación (Del Monte y Sabbioni 1984), cuando el crecimiento cristalino es rápido. Como la humedad en la cámara se mantiene elevada durante todo el ataque, en la superficie de las probetas tienen lugar procesos de condensación, de modo que el sulfito se oxida e hidrata y se transforma en yeso.

De este modo, la condensación en la superficie de la caliza resulta más intensa para las probetas sometidas a la variante de ensayo C, donde las condiciones del ensayo bien han impedido la formación del sulfito, como sucede en condiciones reales de exposición (Grossi y Murray 1999), bien han favorecido que se haya transformado rápidamente en yeso, no observándose morfologías en estrella. Los cristales con morfologías globulares formados en estas probetas señalarían que las condiciones de ensayo provocan la rápida nucleación de los cristales, teniendo lugar su coalescencia al crecer sin tener espacio suficiente.

10.5.2. Influencia de los factores considerados en la sulfatación de la caliza

10.5.2.a. Agresividad de la atmósfera, humedad en la superficie de la piedra y textura superficial

La saturación en SO₂ se revela como el factor esencial a la hora de provocar la sulfatación de la caliza, en tanto que existe una correlación directa entre la exposición al SO₂ y la acumulación yeso (Mc Gee y Mossotti 1992). En superficies rugosas, una elevada concentración en SO₂ favorece la retención de MP, en gran parte por la intensa formación de cristales. Aunque son suficientes pequeñas concentraciones de SO₂ para que tenga lugar la sulfatación de la caliza (Grossi et al. 2004, Wiese et al. 2013) y el ensayo está retirado debido a su excesiva agresividad, la caliza ensayada presenta buena resistencia frente a la atmósfera creada por la solución débil.

Puesto que en las probetas secas la diferencia de humedad entre el ambiente de la cámara y la superficie de la piedra es mayor, para alcanzar el equilibrio la humedad se difunde más rápidamente por las superficies. De este modo, al absorber las superficies secas más humedad para compensar su diferencia de humedad con la del ambiente, en este caso una atmósfera con SO₂, las superficies secas vienen a actuar como catalizadores de las reacciones de sulfatación, de ahí la importante nucleación y desarrollo de morfologías cristalinas. La higroscopicidad del yeso retroalimenta el proceso, esto es, cuanto más yeso se forma más humedad absorbe la superficie y, por tanto, más se acelera el proceso de sulfatación (Grossi et al. 1998). Bajo atmósferas saturadas, en las superficies secas tiene lugar un proceso acumulativo de la sulfatación (Ausset et al. 1996) intensificándose los procesos de sulfatación en la superficie si continúa el aporte de SO₂. Por otro lado, si bien el depósito de MP es más efectivo en superficies húmedas (Bonazza et al. 2009), se ha visto que tras el lavado de las probetas las MP quedan menos retenidas precisamente en las probetas saturadas en agua.

El ensayo revela el importante papel de la textura superficial en la nucleación y desarrollo de morfologías cristalinas, facilitando las superficies rugosas la mayor adsorción del SO₂ y las lisas el crecimiento de los cristales. Así, frente a muy variadas condiciones, las superficies lisas posibilitan el mejor desarrollo de los cristales, al tener más espacio para crecer, mientras que en las superficies rugosas preferentemente tenderían a coalescer. Si bien la sulfatación de la caliza conlleva su disolución parcial, mientras que en superficies rugosas casi desde el principio del ataque tiene lugar conjuntamente el desgaste de la superficie por disolución y la nucleación de cristales, en las lisas se requiere cierta disolución previa de la superficie que favorezca la nucleación cristalina. Por otro lado, queda claro el papel de la rugosidad superficial en la retención de la MP, viéndose considerablemente incrementada frente a atmósferas saturadas y cuanto más seca esté la superficie, como se ha indicado.

10.5.2.b. Presencia de materia particulada

La acción de la MP provoca en las superficies un efecto físico-químico, manifestado por el amarillamiento y disgregación de la superficie por un lado y en la mayor presencia de azufre por otro. La presencia más significativa de azufre en superficies con MP señalaría que favorecen la sulfatación de la caliza (Novakov et al. 1974, Sabioni 1992, Grossi y Brimblecombe 2002). Sin embargo, las partículas parecen inhibir la nucleación y el crecimiento de cristales, suponiendo además un agente abrasivo. Atmósferas saturadas y un menor grado de humedad de las superficies incrementan la capacidad erosiva de las partículas.

El amarillamiento observado en probetas sobre las que se han depositado partículas constituye la capa de yeso epigénica (Vergés-Belmin y Dignard 2003), resultando esencial la presencia de MP para su formación y aportando la costra de sulfatación infrayacente parte del azufre necesario. También, la oxidación del hierro que forma parte de la MP puede provocar el amarillamiento (Klein et al. 2001). Ahora bien, puesto que en superficies secas a bajas concentraciones de SO_2 apenas se produce el blanqueamiento de la caliza pero sí tienen lugar procesos de amarillamiento, el ensayo revela que en presencia de MP este yeso epigénico también puede generarse directamente sobre la caliza en atmósferas poco agresivas. En este caso, el azufre necesario para su formación podría proceder del yeso presente en la MP (Camuffo et al. 1982, Del Monte y Sabbioni 1984).

10.5.3. Idoneidad, efectividad y durabilidad de los hidrofugantes frente a la acción del SO_2

10.5.3.a. Modificación cromática, retención de MP y variación de la textura superficial en la caliza

Principalmente, respecto a la caliza sin tratar, mientras que las superficies tratadas con H1 experimentan mayor grado de blanqueamiento, en las tratadas con H2 resultan algo más significativos los procesos de amarillamiento (Pérez-Monserrat et al. 2012). Esto señalaría que en las superficies tratadas con H1 los procesos de sulfatación resultan más intensos y que el H2 ofrece menos resistencia al efecto de amarillamiento generado por la MP, si bien debe tenerse en cuenta que la polimerización los tratamientos puede provocar el amarillamiento de las superficies (Grossi et al. 2007), revelando su escasa durabilidad (Fort et al. 2000, Fort et al. 2002, Varas et al. 2007). Para ambos hidrofugantes, el menor valor en el descenso de la L^* que en general se produce en las probetas rugosas con MP, respecto a la caliza sin tratar, podría corresponderse con la capacidad que parecen presentar las superficies hidrofugadas para la mejor eliminación de las partículas. Este aspecto resulta beneficioso, pues se reduce el tiempo de acción de la MP, minimizando sus efectos nocivos en la caliza.

Antes del ensayo, H1 aumenta la rugosidad en superficies lisas e introduce cierta heterogeneidad para superficies rugosas, mientras que H2 suaviza ligeramente la textura superficial de la caliza tanto para superficies lisas como rugosas. Sin embargo, este aspecto no influye en la variación de la textura superficial de las probetas tratadas por acción del SO_2 . Relacionado con el nivel de saturación referido por Ausset et al. (1996) a partir del cual frente a un continuo aporte de SO_2 los procesos de sulfatación se intensifican en la superficie, que en las superficies lisas sometidas a la variante C el aumento de la rugosidad resulte en general significativamente mayor que para la caliza sin tratar, indicaría que los procesos de sulfatación tienen lugar principalmente sobre la capa de hidrofugantes. Para las superficies rugosas, que el descenso de la rugosidad en las probetas sometidas a la variante C sea menor que para las probetas sin tratar podría revelar que los hidrofugantes en parte protegen las superficies frente a los procesos de disolución pero que, sin embargo, sobre los mismos tienen lugar también intensamente los procesos sulfatación, suavizando del mismo modo la modificación de la rugosidad superficial.

10.5.3.b. Productos de reacción generados

Debido a la retención de humedad que producen en la superficie, los hidrofugantes aumentan el depósito seco, permitiendo adsorber más SO_2 (Grossi et al. 1998, Grossi y Murray 1999), y favorecen los procesos de condensación, acelerando las reacciones de sulfatación (Camuffo et al. 1983, Olaru et al. 2010, Simionescu et al. 2011), de ahí que la sulfatación resulte tan intensa en las probetas hidrofugadas, especialmente en las tratadas con H1. Si bien la conservación parcial de los tratamientos revela que ofrecen cierta resistencia al ataque, los resultados no permiten establecer qué condiciones pueden resultar más favorables para su mejor durabilidad. No obstante, este aspecto resulta totalmente contraproducente, pues la humedad que penetra a través de las zonas en donde el tratamiento no se ha conservado y que queda atrapada precisamente debido a la presencia del hidrofugante, puede tener lugar la nucleación y el crecimiento cristalino (Varas et al. 2007, Luque et al. 2008).

Por un lado, esto explicaría los abundantes cristales formados en algunas probetas en el contacto de la piedra con la película, especialmente en las tratadas con H1, que al romper la capa de tratamiento a su vez favorecen la entrada de humedad, alimentando el proceso. Por otro, este aspecto indicaría que efectivamente los tratamientos aplicados resultan permeables al vapor de agua y SO₂. Además, la importante rugosidad que muestra en ocasiones la película tras el ensayo incrementa su superficie específica, favoreciendo igualmente un alto contenido en humedad y, por tanto, la sulfatación de las superficies.

El importante desarrollo de morfologías cristalinas en las superficies tratadas, algo más intenso para las tratadas con H1, ciertamente revela la participación de los hidrofugantes empleados en la nucleación y desarrollo de productos de reacción (Simionescu et al. 2011). Incluso se han generado cristales en forma de lámina agrupados en roseta, que señalan estados avanzados de sulfatación (Olaru et al. 2010). Ahora bien, la significativa presencia de cristales en forma de estrella en probetas sometidas a la variante de ensayo D, no observados en superficies sin tratar sometidas a la misma variante, señalaría además que los tratamientos favorecen el inicio de los procesos de sulfatación, nucleando cristales de sulfito cálcico hemihidratado, permitiendo por tanto la sulfatación de la caliza incluso en atmósferas menos agresivas.

La formación de cristales de cierto tamaño en superficies tratadas con ambos hidrofugantes (no observadas en superficies sin tratar) y sometidas a las atmósferas menos agresivas (variantes B y D), podría deberse al hecho de que frente a un menor grado de sobresaturación en SO₂ el crecimiento de los cristales resulta más lento, permitiendo el desarrollo de cristales mayores (Edinger 1973). Entonces, la formación de grandes cristales sobre las superficies tratadas con ambos hidrofugantes y sometidas a la variante C (con alto grado de saturación en SO₂) podría implicar cierto comportamiento diferencial del tratamiento aplicado, de modo que en algunas zonas la condensación sobre la película fuera tal que permitiera el crecimiento más lento de los cristales.

Ensayos similares señalan el crecimiento de abundantes y variadas morfologías cristalinas junto a la MP (Del Monte et al. 1984, Rodríguez-Navarro y Sebastián 1996). Ahora bien, como para la caliza sin tratar se ha visto que la presencia de MP parece inhibir la nucleación y el crecimiento de cristales, las morfologías cristalinas con diverso grado de desarrollo generadas en superficies tratadas y con MP podría revelar que los tratamientos aplicados minimizarían este efecto inhibitorio de las partículas, incluso quedara disipado al activarse de forma tan intensa los procesos de sulfatación en presencia de los tratamientos. Por otro lado, las morfologías de erosión observadas en algunas probetas indicarían que los hidrofugantes tampoco minimizan la capacidad abrasiva de las partículas, resultando incluso dañinas para los propios tratamientos, especialmente para H1. Incidiendo en que los efectos de la MP resultan ciertamente acotados, lo mismo puede suceder para superficies tratadas, de modo que en algunas zonas sus efectos queden difuminados y en otras actúen erosionando las superficies.

En definitiva, los hidrofugantes ensayados ofrecen una escasa eficacia e idoneidad frente a los procesos de sulfatación, pues suponen una película que modifica la cinética de las superficies, favoreciendo su condensación y acelerando la acción de los procesos de sulfatación frente a condiciones en las que la caliza presenta buena resistencia al SO₂. Al quedar acumulados los productos de reacción principalmente sobre los tratamientos, se podría pensar que de alguna manera actúan como una barrera y protegen a la piedra, dificultando que la sulfatación afecte de forma más directa a las superficies. Sin embargo, suponen una trampa que activa las reacciones de sulfatación, mostrando las superficies un blanqueamiento más intenso y generándose mayor cantidad de productos de reacción. Su conservación diferencial y permeabilidad al vapor de agua y al SO₂ favorece que los procesos de sulfatación tengan lugar también en el contacto de la superficie de la caliza con la película de tratamiento. Finalmente, aunque faciliten la retirada de la MP, no reducen el efecto abrasivo que las partículas no eliminadas producen en las superficies.

10.5.4. Acción del SO₂: envejecimiento artificial *versus* paramentos del Antiguo Hospital

Puesto que el amarillamiento está relacionado con la presencia de MP, antes de empezar a formarse las costras negras debido a su progresiva retención, la superficie de la caliza en el inmueble debió mostrar esta tonalidad, suponiendo las diversas tonalidades marrones y/o intensamente oscuras observadas en los paramentos en el año 2006 estadios más avanzados en la formación de costras negras. Como sucede para la coordenada b* (capítulo 8), el valor del IA también aumenta en los primeros estadios del ensuciamiento y disminuye progresivamente conforme a la mayor retención de MP, de modo que cuanto más oscura está la superficie de la caliza menos notorio resulta su amarillamiento y más intensa es por tanto la formación de las costras negras.

En cuanto a los productos de reacción y morfologías cristalinas se refiere, comparando los resultados obtenidos para las probetas exentas de hidrofugantes sometidas a la variante C (figura 10.14) con las muestras de caliza tomadas de los paramentos (figuras 9.5 y 9.6) se destacan dos aspectos. Por un lado, ni en las probetas ni en las superficies de caliza del inmueble analizadas se han identificado cristales en estrella (sulfito cálcico hemihidratado). Es sabido que la presencia de otros contaminantes (NO_x, O₃ y MP) favorece la oxidación directa de SO₂ a sulfato (Ross et al. 1989, Grossi y Murray 1999), favoreciendo igualmente las condiciones del ensayo (elevada concentración de SO₂ y superficies secas) esta oxidación. Por otro, los cristales en forma de lanza, que señalan procesos de sulfatación especialmente intensos (Rodríguez-Navarro y Sebastián 1996, Olaru et al. 2010, Simionescu et al. 2011), sólo se han identificado en las superficies del inmueble.

El ensayo realizado permite establecer cierta correspondencia entre los resultados obtenidos con los procesos de sulfatación y ensuciamiento que tienen lugar en los paramentos con el tiempo. En los primeros estadios de exposición, que equivaldrían a una baja concentración de SO₂, los procesos de disolución dejan las superficies más susceptibles para la acción de los procesos de sulfatación. En los siguientes estadios, la progresiva acumulación de SO₂ en la superficie de la caliza posibilita la nucleación de cristales de yeso, conformando la costra blanca de sulfatación. Progresivamente, aunque el SO₂ siga acumulándose en la superficie de la piedra (atmósferas saturadas) llega un momento que se alcanza tal nivel de saturación que impide la penetración del azufre en la roca (Ausset et al. 1996), intensificándose la sulfatación en la superficie.

Por otro lado, en las zonas donde se han depositado MP la percepción del cambio cromático debido al intenso blanqueamiento de la piedra por acción del SO₂ resulta menos significativa, pues el amarillamiento y el ligero descenso de la L* e IB que se producen en la superficie de la piedra minimiza los contrastes cromáticos. Este descenso estaría relacionado con la menor variación de la L* e IB que tiene lugar en superficies lisas con partículas (respecto a las exentas de MP) y se correspondería con las "zonas grises" referidas por Camuffo et al. (1983), en donde la MP depositadas no han empezado a formar incipientes costras negras y, por tanto, pueden ser fácilmente eliminadas. Con el tiempo, las superficies van oscureciéndose y el amarillamiento torna hacia tonalidades más oscuras debido a la progresiva retención de la MP y consiguiente formación de costras negras.

La elevada humedad en la cámara favorece que la acción de la MP resulte especialmente intensa, pues al permanecer empapadas sus efectos se difunden con mayor facilidad. Tras el ataque, si la MP es eliminada con el lavado, la superficie presentará mayor o menor grado de amarillamiento y disgregación superficial, según el deterioro que hayan generado durante el ensayo. Si no se eliminan, mientras permanezcan secas principalmente provocarán el oscurecimiento de las superficies, pudiéndose eliminar al principio por la acción del agua y/o viento. Ahora bien, en periodos húmedos la acción de la MP se reactiva (Camuffo 1998), quedando progresivamente más retenidas mediante los cristales de yeso que se hayan ido formando (Ausset et al. 1996), llegando un momento en el que ni aun estando las superficies secas la MP puede eliminarse fácilmente, pues ya se ha formado la costra negra. Por tanto, se deben retirar para reducir los efectos del SO₂ (Böke et al. 1999).

Tabla 10.5. Principales resultados obtenidos tras someter a la caliza a la acción del SO₂.

| | nº | IB | IA | ΔE* | ΔRz | Morfologías cristalinas | Morfologías disolución | Hidrofugantes | |
|----------------------------------------------------------------|----|-------|--------|--------|-------|-------------------------|----------------------------|---------------|--------------------|
| A. F U E R T E H Ú M E D A | ST | LS 1 | 1,68 | -0,48 | 4,22 | 3,24 | En estrella ⁽¹⁾ | No | |
| | | LC 4 | 4,20 | -1,39 | 6,78 | 7,68 | Sin formas | No | |
| | | RS 7 | 0,72 | -0,04 | 2,92 | -0,12 | Sin formas | No | |
| | | RC 10 | -4,12 | 0,16 | 3,2 | -4,90 | Sin formas | No | |
| | H1 | LS 2 | 31,68 | -11,39 | 12,41 | 11,80 | Tabulares | No | Se conserva |
| | | LC 5 | 7,24 | -2,36 | 6,45 | 10,36 | En estrella | Sí | Cristales sobre H1 |
| | | RS 8 | 10,63 | -4,62 | 3,20 | -1,49 | En estrella | No | Presencia Si |
| | | RC 11 | 9,43 | -4,70 | 5,06 | -6,26 | Sin formas | Leve | |
| | H2 | LS 3 | 5,22 | -1,57 | 3,39 | 8,20 | Sin formas | No | Presencia Si |
| | | LC 6 | -11,56 | 5,17 | 2,02 | 10,01 | Sin formas | No | |
| | | RS 9 | 16,18 | -6,02 | 4,59 | -6,51 | Sin formas | No | Presencia Si |
| | | RC 12 | -7,94 | 3 | 6,57 | -3,96 | Sin formas | No | |
| B. D É B I L H Ú M E D A | ST | LS 13 | 0,14 | 0,32 | 0,84 | 0,26 | Sin formas | No | |
| | | LC 16 | 3,49 | -2,64 | 4,04 | 1,65 | Sin formas | Leve | |
| | | RS 19 | 0,12 | 0,32 | 0,91 | -1,24 | Sin formas | No | |
| | | RC 22 | -1,11 | 4,36 | 2,29 | -3,11 | Sin formas | No | |
| | H1 | LS 14 | -2,28 | 1,24 | 1,96 | 0,67 | Sin formas | No | Se conserva (Si) |
| | | LC 17 | 3,04 | -1,24 | 1,92 | 5,26 | Rosetas | No | |
| | | RS 20 | -3,41 | 1,29 | 1,50 | -4,76 | Sin formas | No | Se conserva (Si) |
| | | RC 23 | 3,96 | -1,84 | 1,83 | -0,21 | Aciculares | No | |
| | H2 | LS 15 | 0,93 | -0,46 | 1,61 | 3,10 | Prismáticas | No | Presencia Si |
| | | LC 18 | -0,99 | 0,38 | 1,80 | 3,86 | Sin formas | Leve | |
| | | RS 21 | -6,79 | 2,57 | 2,14 | -5,50 | Sin formas | No | Se conserva (Si) |
| | | RC 24 | 2,94 | -1,52 | 2,76 | -5,53 | En estrella | No | |
| C. F U E R T E S E C A | ST | LS 25 | 50,52 | -14,66 | 13,02 | 6,27 | Glomérulos | No | |
| | | LC 28 | 13,33 | -3,66 | 7,50 | 21,15 | Aciculares ⁽¹⁾ | No | |
| | | RS 31 | 28,55 | -9,15 | 6,96 | -3,80 | Aciculares, glomérulos | No | |
| | | RC 34 | -17,64 | 5,97 | 4,14 | 0,60 | Sin formas | Sí | |
| | H1 | LS 26 | 57,20 | -16,04 | 17,34 | 18,63 | Prismáticas | No | |
| | | LC 29 | 15,55 | -6,63 | 6,32 | 19,03 | Aciculares | No | |
| | | RS 32 | 49,47 | -16,13 | 13,59 | -5,89 | Tabulares, glomérulos | No | Se conserva (Si) |
| | | RC 35 | -0,26 | -1,57 | 10,28 | 0,13 | Aciculares | Sí | |
| | H2 | LS 27 | 51,36 | -16,26 | 15,06 | 11,97 | Aciculares, glomérulos | No | |
| | | LC 30 | 4,88 | -0,66 | 6,22 | 23,37 | Prismáticas | Sí | |
| | | RS 33 | 32,94 | -9,89 | 9,84 | -1,87 | Tabulares, glomérulos | No | |
| | | RC 36 | -17,01 | 6,33 | 5,43 | 1,90 | En estrella, aciculares | Leve | Se conserva |
| D. D É B I L S E C A | ST | LS 37 | 5,75 | -1,80 | 2,21 | 3,64 | Sin formas | No | |
| | | LC 40 | 1,97 | -0,35 | 2,13 | 5,08 | Sin formas | No | |
| | | RS 43 | 0,97 | -0,61 | 1,59 | -4,45 | Sin formas | No | |
| | | RC 46 | -17,54 | 6,71 | 2,15 | -4,29 | Sin formas | No | |
| | H1 | LS 38 | 26,84 | -10,21 | 10,11 | 5,45 | Sin formas | No | Rugoso (Si) |
| | | LC 41 | 3,48 | -1,47 | 2,76 | 11,45 | En estrella | No | |
| | | RS 44 | 20,04 | -8,31 | 9,44 | -5,86 | En estrella, aciculares | No | Rugoso y roto (Si) |
| | | RC 47 | -9,62 | -0,62 | 2,77 | -1,26 | Estrella incipientes | No | |
| | H2 | LS 39 | 11,38 | -4,87 | 2,32 | 3,81 | En estrella | No | Presencia Si |
| | | LC 42 | -10,90 | 4,72 | 1,62 | 12,15 | En estrella | No | Se conserva |
| | | RS 45 | 10,52 | -4,11 | 1,72 | 0,88 | En estrella | No | Presencia Si |
| | | RC 48 | -8,79 | 3,63 | 4,74 | -7,33 | Sin formas | No | |

En sombreado se indican las probetas sobre las que se ha depositado MP.
LS y LC (superficies lisas sin y con MP), RS y RC (superficies rugosas sin y con MP).

⁽¹⁾Morfologías cristalinas identificadas muy puntualmente.

10.6. CONCLUSIONES

- El ensayo realizado ha permitido confirmar que la acción del SO_2 tiene un papel fundamental en el deterioro que experimenta la piedra caliza en los paramentos del Antiguo Hospital. El blanqueamiento, correspondiente a la costra de sulfatación constituida por sales autigénicas o de neoformación generadas durante el ensayo, el amarillamiento o capa de yeso epigénica y la disgregación superficial de la caliza resultan a partir de los procesos de deterioro que tienen lugar por la interacción del soporte pétreo con el SO_2 , la MP y la humedad. Los procesos de sulfatación en la caliza implican a su vez procesos de disolución superficial.
- La agresividad de la atmósfera y el menor grado de humedad en la superficie de la piedra son las variables que más influyen en la sulfatación de la caliza, actuando además las superficies secas como catalizadores de las reacciones. Si bien los procesos de deterioro se ven retroalimentados por la acción conjunta del SO_2 y MP, el ensayo revela que las partículas presentan cierta capacidad abrasiva, y pueden provocar la sulfatación de la caliza en atmósferas poco saturadas.
- Los hidrofugantes ensayados resultan totalmente contraproducentes en cuanto a su resistencia al ataque ácido se refiere, pues mayor es la sulfatación de las superficies cuanto mejor resisten la acción del SO_2 , así como a la protección que otorgan a la piedra frente a los procesos de sulfatación. Actúan como una pantalla que retiene la humedad, creando una dinámica que favorece los procesos de condensación y, por tanto, las reacciones de sulfatación, incluso bajo atmósferas poco agresivas. Además, resultan permeables al vapor de agua y SO_2 , no impidiendo la formación de cristales en la zona de contacto entre la superficie de la caliza y la capa de producto, que al romperla contribuyen a su conservación diferencial, permitiendo a su vez la entrada de humedad. Si bien durante el ataque no minimizan el efecto abrasivo de la MP, al facilitar mediante el lavado de las superficies su eliminación, los hidrofugantes dificultan que su acción se prolongue.
- Si bien hasta la fecha la sulfatación que experimenta la superficie de la caliza en los paramentos del Antiguo Hospital no compromete en ningún caso su durabilidad, sí modifica sensiblemente su tonalidad y rugosidad originales. Así, el color y la textura de la caliza son propiedades especialmente susceptibles a experimentar modificaciones por acción del SO_2 y de la MP, resultando sensiblemente diferente la percepción del cambio en función de la escala considerada. De este modo, mientras a nivel de probeta el aspecto de la caliza presenta cierta homogeneidad, a nivel de elemento constructivo y/o de fachada el propio color y rugosidad de las superficies introducen una importante heterogeneidad, que influyen decisivamente en la percepción estética de los paramentos.
- Puesto que la caliza ensayada ofrece buena resistencia bajo atmósferas poco agresivas, es de esperar que el progresivo descenso en los niveles de SO_2 ralentice considerablemente los procesos de sulfatación en su superficie. Ahora bien, teniendo en cuenta que se trata de una piedra muy reactiva frente a atmósferas saturadas, que en ambientes urbanos la deposición seca del SO_2 resulta un mecanismo de deterioro especialmente perjudicial para la caliza, que las costras de sulfatación actúan a su vez como catalizadores en las reacciones y el tiempo que lleva expuesta la caliza en los paramentos (carácter acumulativo del SO_2), el efecto de este descenso se notará a largo plazo.
- Por este mismo motivo, aunque desciendan los niveles de SO_2 , se desaconseja la aplicación de los hidrofugantes ensayados, recomendándose el ensayo de otro tipo de productos, como surfactantes o nanocomposites híbridos, especialmente con propiedades fotocatalíticas e hidrofílicas que les confieran capacidad autolimpiante, de modo eviten la sulfatación de la caliza y dificulten que las partículas se adhieran a las superficies.

CONSERVACIÓN DEL ANTIGUO HOSPITAL: ACTUACIÓN DE LIMPIEZA EN LOS PARAMENTOS

Desde hace unas décadas, la conservación de inmuebles patrimoniales apuesta principalmente por reducir el deterioro que afecta a los materiales de construcción con la mínima intervención posible y procurando no modificar sus propiedades, resultando la conservación preventiva la forma más aconsejable de proceder. Equilibrar los cambios en la contaminación atmosférica y el deterioro de materiales con el valor estético y el mantenimiento de inmuebles patrimoniales es una tarea complicada y costosa (Laurenzi-Tabasso 1992, Ball et al. 2000, Young et al. 2003). Deben tenerse en cuenta los importantes costes socioeconómicos que supone el deterioro de inmuebles patrimoniales debido a la contaminación atmosférica, de ahí la necesidad de evaluar dicho deterioro y buscar el balance de las intervenciones con los beneficios económicos que reportan, teniendo en cuenta que el proceso de deterioro continua, que para materiales de composición carbonática en ambientes contaminados el mantenimiento debe ser el doble y que a veces las medidas preventivas no son totalmente viables (Laurenzi-Tabasso 1992, Cowell y Apsimon 1996).

La Carta de Cracovia (2000) señala que los criterios de obra y de mantenimiento preventivo deben incluir la limpieza de paramentos, entendida como una importante intervención de conservación enmarcada en una serie de actuaciones y no como un hecho aislado. Como se ha indicado, las actuaciones de limpieza deben acometerse en base a criterios estéticos y de daños, definiendo previamente qué se pretende con la intervención, qué aspecto interesa modificar para disminuir los factores de alteración y si el deterioro estético implica un deterioro físico-químico. La mejora del impacto visual de un inmueble en ausencia de un daño material no justifica una limpieza, principalmente por los elevados costes que implica, además de resultar una actuación que puede suponer cierto riesgo para los materiales. Una limpieza puede generar daños con importantes implicaciones económicas (Laing et al. 2000), de modo que antes de efectuar una operación de limpieza deben conocerse los soportes a limpiar, las causas de deterioro así como la naturaleza del material a eliminar, para establecer las pautas de actuación y valorar su importancia (Vergès-Belmin 1996, Esbert 2003, Kavenagh y Wheeler 2003).

En ambientes urbanos contaminados la limpieza de fachadas se ha convertido en una operación de conservación necesaria, siendo un proceso irreversible y complejo, resultando en general estéticamente contraproducente que los edificios antiguos estén muy limpios o parezcan recién estrenados (Grossi y Brimblecombe 2008). Los daños producidos por una limpieza no suelen afectar a la funcionalidad ni estabilidad de los materiales, sino que su efecto puede generar una pérdida importante en el valor estético de los edificios, resultando esencial atender a las modificaciones superficiales, fundamentalmente cambios cromáticos y morfológicos, que puedan haberse generado (Moropoulou et al. 2002, Young et al. 2003). Por otro lado, debe tenerse en cuenta además la dificultad que puede suponer eliminar el ensuciamiento, resultando complicado de detener el deterioro que genera (Riederer 1974). Aunque toda limpieza implica ciertas modificaciones en las superficies a limpiar, el método empleado debe proporcionar los cambios deseados y no generar efectos secundarios que resulten contraproducentes con el paso del tiempo, optándose en numerosas ocasiones por soluciones de compromiso.

Las operaciones de limpieza efectuadas en los paramentos del Antiguo Hospital durante las intervenciones de 1984-1986 y 2006-2008 reflejan la concienciación y sensibilidad de las autoridades correspondientes para con la conservación y adecuada gestión del inmueble, apostando por la conservación de sus materiales en particular y del impacto visual de sus paramentos en general. Además, para la intervención de 2006-2008, cabe destacar la implicación de la Comunidad de Madrid en cuanto a la realización de estudios previos, seleccionando el método de limpieza más adecuado para la limpieza de la piedra caliza, en cuanto al grado de eficacia e idoneidad se refiere. Este tipo de estudios científicos permiten a las instituciones encargadas de la salvaguarda del patrimonio conocer los aspectos beneficiosos que la ciencia puede aportar para su conservación. Queda así además establecida la colaboración necesaria para seguir investigando sobre nuevas problemáticas y definir estrategias a medio y largo plazo que minimicen tanto el deterioro como el coste de las intervenciones a realizar. La restauración integral acometida en los paramentos del Antiguo Hospital entre 2006-2008, y en especial las operaciones de limpieza, supone la puesta en valor del inmueble, enmarcada en la tendencia actual de considerar la conservación de inmuebles patrimoniales y su percepción estética como estrategia turística.

Palacios (1909) se refiere al entorno donde se emplazaba el Hospital de Jornaleros como uno de los *barrios populares de mayor población de los suburbios de Madrid*, dudándose a partir del marcado carácter regionalista que otorgó a la construcción si el arquitecto visionó el rápido crecimiento y desarrollo que experimentaría el entorno, con una intensa actividad comercial ya a principios del siglo XX. Puede ser que el arquitecto no estuviera al tanto del deterioro que experimentaban los materiales de construcción de composición carbonática expuestos a atmósferas con importantes niveles de contaminación. De haberlo sabido, tal vez hubiera apostado por utilizar otra piedra, como señala Brimblecombe (2005) sobre la conveniencia de emplear materiales capaces de resistir la contaminación ambiental.

Por otro lado, recuerda Adolfo Otero-Cerdeira (2004) que Palacios comentaba *la vida de la piedra y su solera se adquirirán con el paso del tiempo, el material se naturalizaba por la pátina que le proporcionaban los líquenes y la oxidación de la roca por su exposición al aire libre*. Si bien este comentario refleja muy bien el pensamiento de Palacios, en el caso de la caliza que configura los paramentos del Antiguo Hospital de Maudes los agentes antrópicos y el propio paso del tiempo implican su deterioro inexorable, resultando indispensables actuaciones de conservación preventiva.

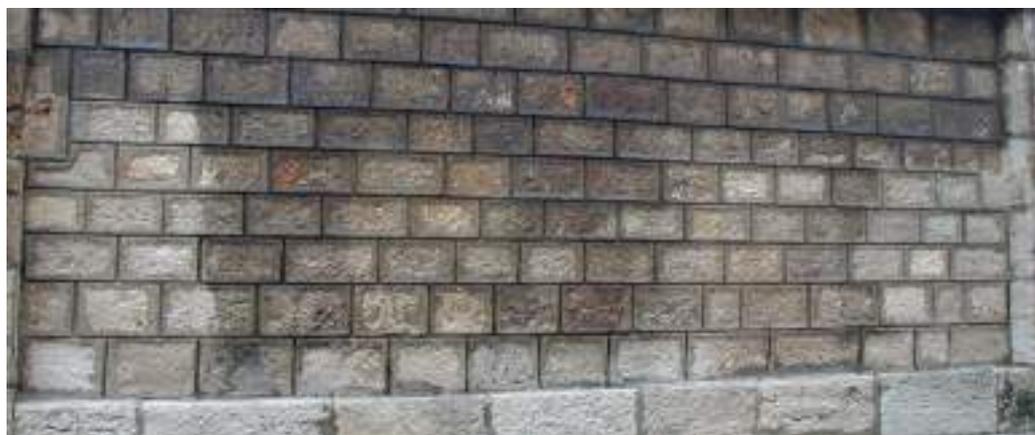
CAPÍTULO 11. ESTUDIOS PREVIOS PARA LA LIMPIEZA DE LA CALIZA EN EL ANTIGUO HOSPITAL

En el año 2006, dos décadas después de la limpieza efectuada en los años ochenta, el deterioro estético de los paramentos del Antiguo Hospital implicaba en numerosas zonas el deterioro físico-químico en la superficie de la caliza. Resultaba por tanto necesaria una operación de limpieza que apostara tanto por la conservación de la piedra (criterio de daños) como procurara la mejora del impacto visual del inmueble (criterio estético).

Previamente a la limpieza acometida en los paramentos entre 2006-2008, se evaluaron cinco métodos o sistemas de limpieza. Estos son, dos geles alcalinos (uno a base de hidróxido sódico, NaOH, y otro de hidróxido potásico, KOH), agua caliente a presión, proyección de microesferas de sílice y una emulsión de látex, que se ensayaron y/o aplicaron *in situ*. Se conjugó la efectividad e idoneidad de los métodos seleccionados con las ventajas e inconvenientes que presentaban, teniendo en cuenta principalmente las propiedades petrofísicas del soporte a limpiar y su deterioro físico-químico.

Los criterios seguidos para evaluar la efectividad de los métodos fueron la modificación cromática de las superficies limpiadas y el grado de eliminación de su deterioro físico (depósitos superficiales responsables del ensuciamiento) y químico (grado de sulfatación). En cuanto a la evaluación de la idoneidad, los criterios han sido la presencia en las superficies de productos de alteración o subproductos (fundamentalmente sales), por un lado, generados a partir de los sistemas ensayados y que pudieran ocasionar el deterioro de la piedra. Por otro, la variación textural de las superficies limpiadas como consecuencia de los métodos ensayados, atendiendo a las posibles morfologías de deterioro generadas y que pueden resultar contraproducentes a la hora de favorecer los procesos de deterioro. Las técnicas empleadas han sido Espectrofotometría, Cromatografía Iónica y MEB-EDS en modo en modo electrones secundarios.

El método que ha resultado más efectivo en cuanto a la modificación cromática se refiere ha sido el gel alcalino a base de NaOH y las microesferas han procurado la mejor eliminación del grado de sulfatación en la superficie de la caliza. La proyección de microesferas resulta también el sistema más idóneo, pues no introduce elemento alguno que pudiera ocasionar alteración en la caliza y la retirada del daño material que consigue implica la mínima modificación de su textura superficial. Para la limpieza de los paramentos del Antiguo Hospital se aconseja por tanto la proyección de microesferas, empleando una presión de proyección inferior a la utilizada en los ensayos previos y regulando la energía del impacto según el grado de ensuciamiento de las superficies.



Aspecto de la zona seleccionada en el muro perimetral (c/Treviño) tras el ensayo *in situ* de los métodos de limpieza evaluados.

11.1. INTRODUCCIÓN

11.1.1. Necesidad de una nueva limpieza en los paramentos del Antiguo Hospital

Para la limpieza efectuada en los paramentos durante la rehabilitación de los años 80 se seleccionó un método basado en la proyección de partículas (epígrafe 2.2.5), que retiró la práctica totalidad de los depósitos superficiales responsables del ensuciamiento de la caliza (comparar figuras 2.6.g y 2.7.1). Como se ha visto, unos 20 años después resultaba importante la pérdida en el valor arquitectónico del inmueble y muchas zonas de las fachadas volvían a mostrar un importante ensuciamiento, correspondiente con los grados de tolerancia estética C y D (capítulo 8). Esto implicaba el deterioro físico-químico de la caliza (capítulo 9), siendo por tanto necesaria una nueva operación de limpieza. Si bien el deterioro actual de los edificios puede deberse en parte a limpiezas efectuadas en el pasado (Young et al. 2003) y en el caso del Antiguo Hospital se desconoce en qué medida el grado de sulfatación de la caliza fue eliminado en la limpieza de los 80, los patrones de color que mostraba el inmueble en el año 2006 respondía principalmente a la composición y propiedades de la caliza, al entorno urbano contaminado y al diseño de los paramentos (Pérez-Monserrat et al. 2011).

A la hora de elegir el método o sistema de limpieza más apropiado deben conocerse las propiedades de las superficies a limpiar, la naturaleza del material a eliminar así como sus interacciones entre sí y con el medioambiente circundante (Fort et al. 2000b, Young et al. 2003, Laurenzi-Tabasso y Simon 2006). De este modo, resulta importante conocer las propiedades de la caliza (capítulo 4), la evolución medioambiental en el entorno del inmueble (capítulo 7), la incidencia del diseño de los paramentos en los patrones de color (capítulo 8) y el deterioro físico-químico de la caliza (capítulo 9), para valorar el método de limpieza finalmente a utilizar (Vergès-Belmin 1996), pues la realización de este tipo de operaciones en edificios históricos debe estar fundamentada en criterios científicos y estéticos (Esbert 2003, Kavenagh y Wheeler 2003, Zhang et al. 2014).

La práctica totalidad de las superficies a limpiar se corresponden con la variedad de piedra caliza crema-homogénea, cuyo índice de Schmidt (≈ 56) refleja el importante grado de cohesión superficial que presenta, el porcentaje de porosidad accesible al agua (4%) y de agua de saturación (1,57%) su elevada resistencia a la entrada de agua y el predominio de microporos con un tamaño comprendido entre 0,01-01 μm , indican que la caliza no presenta importantes riesgos frente a los procesos de deterioro relacionados con ciclos de hielo-deshielo y/o con la cristalización de sales. A este respecto, señalar que para efectuar la limpieza deben evitarse los días especialmente fríos, ante la posibilidad de heladas, y tenerse en cuenta que las sales a eliminar se corresponden principalmente con yeso, que no presentan especial riesgo de movilidad debido a su baja solubilidad. Por otro lado, los niveles de dióxido de azufre (SO_2) han ido y continúan descendiendo, mientras que la distribución de materia particulada (MP) muestra una pauta muy irregular (figura 7.3), resultando sus emisiones difíciles de controlar. El material a eliminar se corresponde en gran medida con el deterioro físico-químico de la caliza, esto es, la sulfatación de su superficie (deterioro químico) y las partículas o depósitos superficiales, cuya acumulación va ensuciando las superficies (deterioro físico) e implica el impacto visual no deseado del inmueble (deterioro estético). Estos depósitos superficiales, constituidos mayoritariamente por yeso y calcita así como por carbono, hierro, aluminio, silicio y hierro (epígrafe 9.4.2), proceden principalmente de las emisiones de los vehículos, del aerosol atmosférico y del soporte sobre el que se depositan (caliza y/o costra de sulfatación).

Entre los diferentes métodos de limpieza existentes en el mercado, para los estudios previos a la intervención acometida entre 2006 y 2008 se evaluaron cinco métodos; dos geles alcalinos (uno a base de hidróxido sódico y otro de hidróxido potásico), agua caliente a presión, proyección de microesferas de vidrio y la aplicación de una emulsión de látex. Su selección de estos métodos se efectuó en base a su empleo en materiales de composición carbonática, a los resultados que han proporcionado y a las principales ventajas e inconvenientes que presentan.

11.1.2. Sistemas o métodos de limpieza en fachadas de inmuebles patrimoniales

La bibliografía científica referente a operaciones de limpieza efectuadas en el pasado es ciertamente escasa, si bien es conocida la limpieza de las catedrales a lo largo de los siglos (Brimblecombe et al. 1992) o la evaluación de diversos métodos de limpieza en la segunda mitad y a finales del siglo XIX (Lewin 1966), empleados principalmente con la intención de frenar el deterioro alarmante que mostraban los edificios en áreas urbanas debido al desarrollo industrial acontecido a partir del siglo XIX y reducir así los costes de mantenimiento (Laurenzi-Tabasso y Simon 2006). Algunos de los métodos empleados en Europa especialmente entre los años 50 y 60 han provocado importantes daños en los materiales, como la pérdida de la labra (proyección de abrasivos, empleo de bujardas) y/o la formación de sales, aparición de manchas y el blanqueamiento de las superficies, incrementando a la larga el deterioro (Young et al. 2003).

La acción de los sistemas de limpieza puede ser principalmente física-mecánica y/o química, incluyendo normalmente las operaciones de limpieza varios pasos y la combinación de diversos métodos (Moropoulou et al. 2002). La normativa UNE clasifica los métodos de limpieza en función de su principio de actuación, existiendo, entre otros, las técnicas basadas en agua, los métodos mecánicos y los químicos. La elección del sistema de limpieza debe suponer una solución de compromiso entre el resultado estético que se desea alcanzar y la integridad de las superficies a limpiar (Appolonia et al. 2000), debiéndose evaluar conjuntamente su efectividad e idoneidad (Moropoulou y Kefalonitou 2002). Una limpieza debe ser cuantitativa y cualitativamente eficaz, apropiada para el material a eliminar, de sencilla aplicación y compatible con el soporte a limpiar, de modo que elimine o reduzca el deterioro pero sin modificar las propiedades físico-químicas del soporte infrayacente ni favorecer la aparición de nuevas formas de alteración (Fort et al. 2000a, Moropoulou y Kefalonitou 2002).

Los métodos basados en agua a presión se fundamentan en la capacidad disolvente del agua y en la presión con la que es proyectada, que permite la eliminación de los depósitos. La temperatura y presión del agua, el tiempo de contacto con la superficie a limpiar y la distancia a la misma son los parámetros a controlar (Esbert 2203, Gaspar et al. 2003, Iglesias et al. 2006, 2014). Estas técnicas resultan especialmente idóneas para eliminar depósitos cuya composición permite su disolución o reblandecimiento en agua y no están muy adheridos al soporte (UNE 41806-2:2009), esto es, zonas en donde la deposición de partículas no implique daño material en las superficies ("zonas grises" según Camuffo et al. 1982). Los principales riesgos que puede implicar su empleo son la migración de sales, disolución en las superficies, oxidaciones y filtraciones a favor de las juntas, además de tener que esperar al secado de las superficies para efectuar el control de la limpieza (UNE 41806-1:2009).

Entre los métodos mecánicos, se cita la proyección de partículas con equipos de presión directa, basada en la acción erosiva de partículas proyectadas mediante aire a presión que a través de una boquilla inciden en la superficie a limpiar, permitiendo la eliminación de los depósitos (Hutchings 1992, UNE 41806-1:2009). Las partículas proyectada son normalmente microesferas de sílice, polvo de pumita y/o alúmina proyectadas, y los principales parámetros a considerar son la presión (0,2-1,5 kg/cm² baja; 1,5-3,5 kg/cm² media; 3,5-7 kg/cm² alta), la distancia de trabajo y la velocidad del flujo (Iglesias et al. 2006). La velocidad a la que estos depósitos son eliminados depende principalmente del tamaño y forma de las partículas empleadas y, a la hora de valorar la selección de este método, es esencial considerar por un lado la integridad superficial del material a limpiar y, por otro, la necesidad de eliminar la suciedad (Appolonia et al. 2000, Gaspar et al. 2003, Iglesias et al. 2006, Vazquez-Calvo et al. 2012). La ventaja que ofrece este sistema, cuya acción es principalmente física (Moropoulou et al. 2002), es su rapidez y efectividad sobre superficies que presenten un elevado grado de cohesión (Young y Urquart 1992), además de resultar un método de sencilla aplicación y que evita la entrada de productos potencialmente dañinos, especialmente para materiales de composición carbonática.

En contrapartida, puede provocar la erosión de las superficies y la pérdida de fragmentos (UNE 41806-1:2009), debiéndose controlar rigurosamente el tamaño y naturaleza de las partículas, la distancia de trabajo y la presión de proyección, resultando esencial la pericia y experiencia del operario (Vergès-Belmin 1996), que debe tomar estrictas medidas de seguridad. Una variante de la técnica consiste en la adición de un mínima cantidad de agua (técnica torbo), de modo que a la acción de las partículas se le añade la capacidad disolvente del agua, minimizando su acción erosiva, reforzando la limpieza y reduciendo el polvo generado, si bien el control de la limpieza no puede efectuarse hasta que las superficies no han secado completamente (UNE 41806-3:2009).

Los métodos de limpieza químicos se basan fundamentalmente en que las reacciones químicas que generan con los depósitos favorecen su disolución (Ashurst 1994), siendo posteriormente los residuos arrastrados mediante la acción mecánica de agua proyectada (UNE 41806-5-1:2009). No resulta recomendable su utilización en inmuebles patrimoniales, si acaso en zonas muy puntuales, que el tiempo de aplicación sea el mínimo imprescindible, resultando esencial su neutralización, y valorar siempre la utilización preferible de otro método de limpieza (UNE 41806-1:2009). Entre los muy diversos métodos de limpieza existentes, se citan los productos desincrustantes de base alcalina en forma de gel. Estos geles resultan de fácil aplicación, siendo el principal problema que la elevada cantidad de agua necesaria es difícil de controlar (Appolonia et al. 2000). Es conocido el daño que puede generar la aplicación de productos a base de hidróxido sódico (NaOH) sobre soportes carbonáticos, pues los depósitos de sodio no eliminados pueden originar sales como mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) o thenardita (Na_2SO_4), sulfatos sódicos muy dañinos especialmente para materiales de composición carbonática (McMahon et al. 1992, Scherer 2000, Rodríguez-Navarro et al. 2000, Flatt 2003, Tsui et al. 2003, Benavente et al. 2004, Varas et al. 2007). Debe tenerse en cuenta el riesgo potencial que implica la aplicación de estos productos, que dependerá principalmente del grado de sobresaturación y de la distribución de poros del material (Scherer et al. 2001, Flatt 2003), resultando esencial su evaluación previa. Además, la norma UNE 41806-5-1:2009 señala que la aplicación de soluciones alcalinas a base de NaOH y KOH no resultan muy eficaces para la eliminación de costras negras, pues más bien actúan en las grasas que contienen.

Entre las técnicas de limpieza química basadas en la aplicación en forma de apósitos, se citan los apósitos de látex, emulsión constituida por látex natural con sal disódica del ácido etilen-diamino-tetraacético (EDTA) y amoníaco. Se trata de un producto líquido, cuya alta viscosidad dificulta su entrada en el soporte y que resulta especialmente adecuado para suciedades poco compactas, siendo importante que las superficies presenten buen estado de conservación (UNE 41806-5-2:2009). La aplicación de productos a base de EDTA supone uno de los métodos químicos tradicionalmente empleados para la limpieza de soportes pétreos, pues su acción quelante posibilita la eliminación de la suciedad (Fort et al. 2000b, Moropoulou et al. 2002, Moropoulou y Kefalonitou 2002). Su acción es química y física, el EDTA disuelve la suciedad y el látex la reblandece, posibilitando quede adherida al mismo y, por tanto, su eliminación al retirar el látex. Los parámetros más importantes a controlar son el pH de la emulsión y el tiempo de contacto con el soporte (Gaspar et al. 2003).

Tras la limpieza, el deterioro de los materiales se ralentiza pero las superficies son mucho más sensibles, al recuperar su textura original tras la total o parcial retirada del deterioro físico-químico, incrementándose el área expuesta y, por tanto, resultando más vulnerables al deterioro. Los materiales reaccionan a la limpieza en sí y, posteriormente, al método empleado, de modo que a su deterioro natural se le añade el originado por la limpieza, siendo en muchos casos la extensión del deterioro fundamentalmente debida a la respuesta del material y no tanto al método (Young et al. 2003). La durabilidad de una intervención de limpieza debe monitorizarse periódicamente (Vergès-Belmin 1996), estableciendo, por ejemplo, el progresivo ensuciamiento y/o la posible aparición de sales y manchas relacionadas con la limpieza efectuada.

11.2. OBJETIVOS

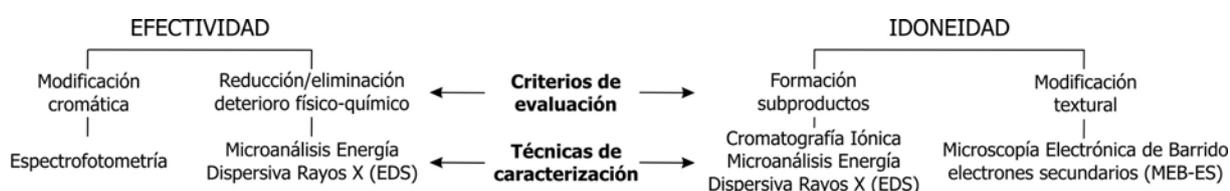
Establecida la necesidad de efectuar operaciones de limpieza en los paramentos del Antiguo Hospital, en base a criterios estéticos y de daños, así como de ensayar previamente diversos sistemas o métodos de limpieza, el principal objetivo del presente capítulo es evaluar conjuntamente la efectividad e idoneidad de cinco métodos ensayados sobre la superficie de la caliza (Moropoulou y Kefalonitou 2002). La efectividad de un método de limpieza se evalúa determinando la diferencia entre los resultados alcanzados y los inicialmente previstos, y la idoneidad estableciendo en qué medida los resultados deseados puede ser contraproducentes, en tanto que bien impliquen el deterioro de las superficies a limpiar bien generen en la piedra modificaciones que con el tiempo favorezcan los procesos de alteración. Los criterios de evaluación seguidos y las técnicas de caracterización empleadas son mostrados en el esquema inferior.

11.2.1. Efectividad de los sistemas de limpieza

- Evaluación del grado de eliminación y/o reducción del deterioro estético, midiendo *in situ* sobre la superficie de la caliza sus parámetros cromáticos mediante Espectrofotometría (antes y después de la limpieza).
- Con los métodos que han resultado más efectivos, en cuanto a que han procurado a la superficie de la caliza una modificación cromática lo más aproximada a la requerida, análisis del grado de reducción y/o eliminación del deterioro físico (atendiendo principalmente a los niveles de aluminio y silicio) y químico (al nivel de azufre) mediante microanálisis por EDS.

11.2.2. Idoneidad de los sistemas de limpieza

- Considerando igualmente los métodos más efectivos en cuanto a la variación cromática que proporcionan a las superficies limpiadas, determinación de los iones y/o elementos químicos que hubieran quedado en las superficies limpiadas y que pudieran originar productos de alteración (especialmente sales), mediante Cromatografía Iónica y microanálisis por EDS.
- Del mismo modo, en las superficies limpiadas con estos métodos más efectivos, analizar la modificación de la textura superficial de la caliza mediante MEB en modo electrones secundarios (MEB-EDS). Este análisis permite observar en qué medida la eliminación y/o reducción del material a eliminar afecta al soporte pétreo infrayacente.



Así como la acción y efectos del deterioro físico-químico y estético deben entenderse de forma conjunta, en toda operación de limpieza deben considerarse sendas formas de deterioro. En el caso de los paramentos Antiguo Hospital, su deterioro estético implica en numerosas zonas el deterioro físico-químico en la superficie de la caliza (capítulo 9), resultando por tanto necesaria una operación de limpieza en base a criterios estéticos y de daños. La información aportada en este capítulo supone un ejemplo real de cómo la investigación científica puede contribuir a una intervención más respetuosa en inmuebles patrimoniales, a partir del conocimiento de los materiales que los configuran y de su interacción con las intervenciones de conservación a realizar.

11.3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

11.3.1. Aplicación *in situ* de los sistemas de limpieza a evaluar

Los cinco sistemas de limpieza evaluados se han ensayado *in situ*, valorando así los resultados obtenidos en condiciones reales (Appolonia et al. 2000, Fort et al. 2000a, Moropoulou et al. 2002, Laurenzi-Tabasso y Simon 2006). La zona piloto seleccionada para efectuar las pruebas de limpieza ha sido la hoja externa del lienzo Oeste del muro perimetral (c/Treviño), concretamente el plano principal del paño localizado a la derecha de la entrada a la biblioteca (figuras 3.8.c y 11.1), seleccionado principalmente por su elevado ensuciamiento ($\bar{X}L^* < 55$, grado de tolerancia estética D). Los sillarejos que constituyen la zona elegida se corresponden con la caliza crema homogénea, variedad que conforma la práctica totalidad de los paramentos. Para la realización de las pruebas de limpieza se empleó agua tomada directamente del Canal de Isabel II¹, siendo la temperatura media ambiental de 14°C durante la realización de las pruebas. Los ensayos correspondientes a la limpieza con los cuatro primeros métodos fueron realizados por la empresa Proliser y la aplicación del látex por la empresa FTB.

Geles alcalinos: productos desincrustantes correspondientes a geles de base alcalina, uno constituido en base a hidróxido sódico (NaOH) y otro en base a hidróxido potásico (KOH), de ahí que se traten como dos métodos diferentes. Antes de su aplicación, la zona a ensayar se pulverizó con agua para facilitar la dilución del producto. Aplicado el agente desincrustante sobre la superficie húmeda de la piedra mediante brocha (figuras 11.1.a y 11.1.d), el producto se dejó actuar durante 30 min, comprobándose la elevada alcalinidad del producto aplicado (figuras 11.1.b y 11.1.e). Pasado este tiempo, se retiró el gel mediante el lavado de las superficies con agua abundante (figuras 11.1.c y 11.1.f), con una temperatura de salida de 60°C y una presión de 60 kg/cm². Fort et al. (2000b) obtienen resultados satisfactorios y sin generar sales con la aplicación de este sistema de limpieza.

Agua caliente a presión: aplicación de agua caliente (60°C) a una presión de 60 kg/cm² (presión media-alta para técnicas de limpieza con agua según UNE 41806-2:2009). Dadas las características de los depósitos a eliminar, este método no permitiría alcanzar una efectividad adecuada. No obstante, debido a la fácil ejecución del método (figura 11.1.g), se optó por realizar el ensayo para valorarlo, sobre todo pensando en su posible aplicación en las zonas menos sucias. Fort et al. (2000b y 2002) obtienen un buen resultado, resultando más efectivo con unas temperaturas de 90°C y 80°C y unas presiones de 120 kg/cm² y entre 50-80 kg/cm², respectivamente.

Proyección de microsferas de sílice: las partículas fueron proyectadas a una presión de 6 kg/cm² (presión alta para técnicas de limpieza mecánica basadas en proyección de partículas según UNE 41806-3:2009), empleando la técnica torbo (figuras 11.1.h y 11.1.i) en una proporción agua:microsferas de 1:4. Appolonia et al. (2000) y Gaspar et al. (2003) muestran resultados satisfactorios y sin provocar daños con el empleo de este método.

Aplicación de látex: el producto empleado contenía un 90% de látex y un 10% de EDTA. Se aplicó mediante brocha sobre superficies completamente secas y en cierta cantidad de modo que su espesor permitiera fácilmente su posterior retirada. Cuando la emulsión se aplica, el producto es blanco (figura 11.1.j) y, a medida que se va secando, torna a un color más amarillo. A emulsión se deja secar o polimerizar, y es durante el tiempo de secado cuando la acción del mismo es efectiva. La temperatura de secado debe ser superior a los 5°C e inferior a los 25°C, al menos en las primeras cuatro horas transcurridas desde la aplicación del producto. Si la temperatura supera los 25°C, el producto polimeriza rápidamente y enseguida finaliza su efectividad. Transcurridas 24 horas, se procede a la cuidadosa retirada del látex (figura 11.1.k) y se lava la superficie con una esponja (figura 11.1.l). Fort et al. (2000a) y (2000b) señalan la obtención de resultados satisfactorios con el empleo de EDTA y Stancliffe et al. (2005) discuten la limpieza realizada en paramentos pétreos interiores con papetas a base de látex.

¹ UNE 41806-2:2009 recomienda la utilización agua desionizada para la limpieza de edificios históricos.

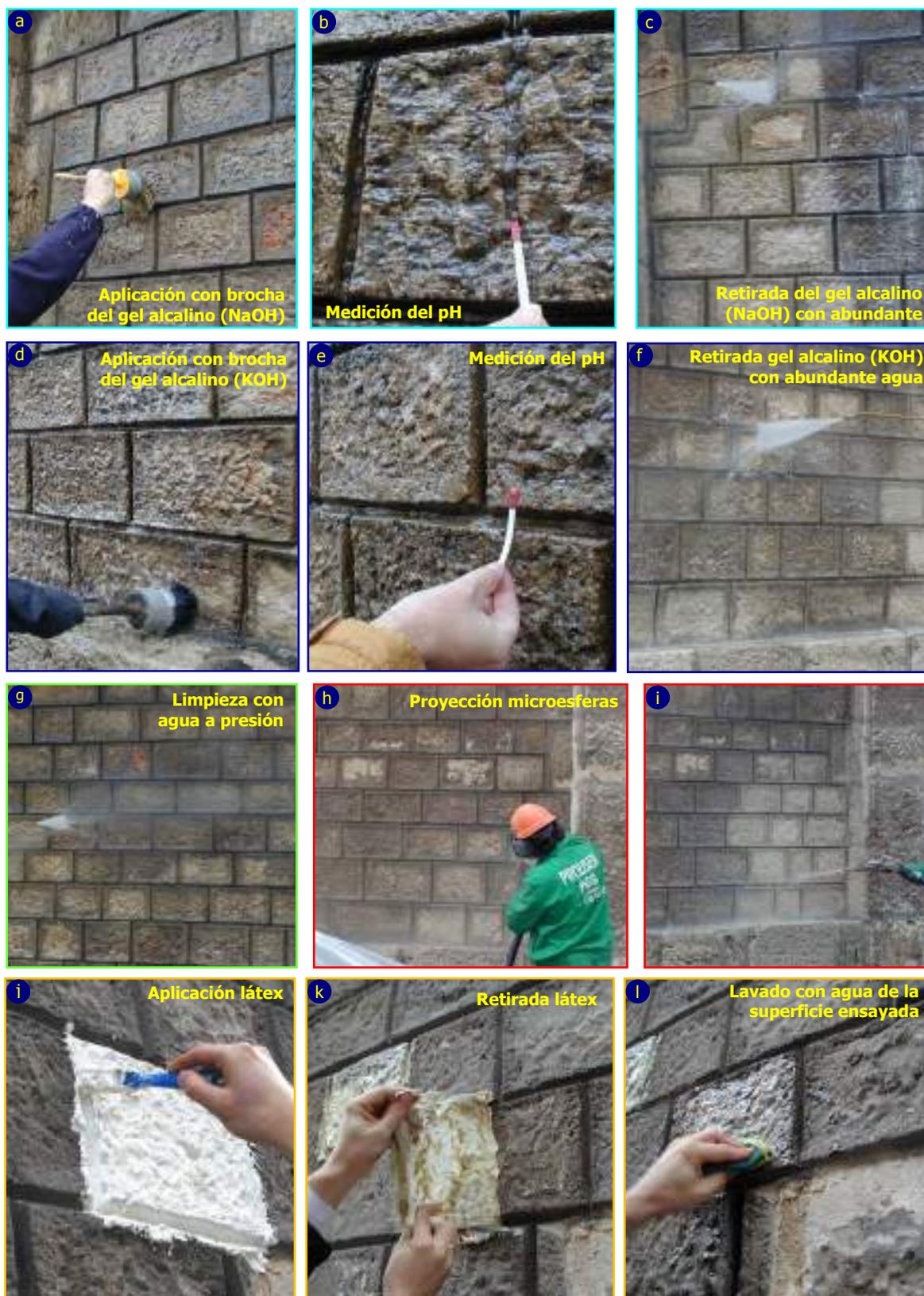


Fig.11.1. Aplicación *in situ* de los cinco métodos de limpieza ensayados en el muro perimetral (c/Treviño).

- Método 1: Gel alcalino a base de NaOH.
- Método 2: Gel alcalino a base de KOH.
- Método 3: Agua caliente a presión.
- Método 4: Proyección de microesferas de sílice.
- Método 5: Aplicación de emulsión de látex.

11.3.2. Técnicas de caracterización

Un análisis visual es la forma más sencilla de valorar la efectividad de una limpieza y el grado de homogeneidad alcanzado (Vérges-Belmin 1996). Como puede resultar subjetivo, la Espectrofotometría resulta el método más utilizado para diagnosticar la eficacia de una limpieza (Palazzi 1997, Fort et al. 2000a, Gaspar et al. 2003). Los parámetros seleccionados han sido la luminosidad de color (L^*) y la coordenada cromática b^* (Vergès-Belmin 1996, Gaspar et al. 2003), e índices de amarillo y de blancura (IA e IB). Las medidas se han efectuado en las superficies de piedra ensayadas. En las zonas limpiadas con geles, agua y microesferas se han considerado 9 sillarejos y en la limpiada con látex se han seleccionado 2, efectuándose 3 medidas en cada uno (antes y después de la limpieza), al igual que en la superficie de referencia (caliza del zócalo).

La eficacia del método de limpieza se ha evaluado atendiendo especialmente al índice o diferencia de cambio global de color $\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$ (Appolonia et al. 2000, Grossi et al. 2000, 2003 y 2007, Fort et al. 2000b, Boutin y Leroux 2000). Para su determinación se compararon los parámetros cromáticos medidos sobre la piedra en las cinco zonas ensayadas, antes y después de la limpieza, con los medidos en una superficie de referencia. A partir de los marcados contrastes cromáticos que mostraban los patrones de color en la zona seleccionada para efectuar las pruebas de limpieza (capítulo 8), se tomó como referencia la superficie del zócalo, lavada de forma natural por el agua de lluvia (Fort et al. 2000a). Cuanto menor sea el valor del índice ΔE^* tras la limpieza, menor diferencia existirá entre la tonalidad que presenta la piedra con respecto al valor de referencia, siendo por tanto más efectivo el método. Ahora bien, puesto que esta superficie de referencia mostraba un intenso blanqueamiento, el criterio cromático establecido apuesta por procurar una tonalidad aproximada pero sin pretender alcanzarla, aspecto que implicaría tener que blanquear artificialmente las superficies limpiadas.

Para evaluar la idoneidad de sistemas de limpieza, resulta necesario controlar la posible formación de subproductos o productos de alteración (Andrew et al. 1994) que pudieran haber generado. Para ello, un mes después de las pruebas de limpieza, una vez completamente secas las superficies, se lixivió artificialmente agua sobre las zonas ensayadas con los métodos que han resultado más efectivos en cuanto a la modificación cromática y sobre la piedra de referencia, en la que no se ha aplicado sistema de limpieza alguno. Mediante Cromatografía Iónica se ha analizado el agua lixiviada así como la proporcionada por la Subdirección de Calidad de las Aguas del Canal de Isabel II, que incluye valores máximos y mínimos. Se han seleccionado los iones solubles constituyentes de las sales que con mayor frecuencia cristalizan en materiales carbonáticos, considerando además la composición de la caliza, de la costra de sulfatación y de los geles alcalinos ensayados. Así, los aniones analizados han sido los cloruros, nitratos y sulfatos y, los cationes el sodio, potasio y calcio.

La efectividad de los métodos con respecto a la reducción de los depósitos superficiales y del grado de sulfatación que han procurado en la superficie de la caliza se ha evaluado mediante MEB-EDS. De este modo, atendiendo a la superficie de fragmentos tomados (dos en cada una de las zonas ensayadas con los métodos más efectivos en cuanto a variación cromática que proporcionan), la eliminación del deterioro físico-químico se ha establecido atendiendo a los niveles de aluminio (Al), silicio (Si) y azufre (S) principalmente. La caracterización de superficies con esta técnica (Appolonia et al. 2000, Moropoulou y Kefaloniyou 2002, Gaspar et al. 2003, Laurenzi-Tabasso y Simon 2006), en combinación con otras, resulta muy apropiada también para evaluar la idoneidad del método empleado, pues permite observar la morfología de las superficies limpiadas y analizar su composición química elemental (Vergès-Belmin 1996, Gaspar et al. 2003), observándose los efectos causados por la proyección partículas (Young y Urquhart 1992) y/o determinando los subproductos que hayan podido generarse sobre las superficies limpiadas (Philippon y Ausset 1992). Así, en los mismos fragmentos se ha examinado también la modificación textural que se produce en la superficie del soporte pétreo por efecto de la limpieza.

11.4. RESULTADOS

11.4.1. Efectividad de los métodos ensayados: modificación cromática

Dos semanas después de la aplicación *in situ* de los métodos de limpieza, a simple vista se observaba que la aplicación del gel alcalino a base de NaOH mejoró considerablemente el aspecto de las superficies (figuras 11.2.a y 11.2.b). El resultado conseguido por el gel a base de KOH no fue tan satisfactorio, observándose además sobre las superficies unos depósitos de tonalidad blanquecina que posiblemente se correspondan con eflorescencias salinas (figura 11.2.d). La utilización de agua caliente proporcionó una limpieza muy irregular, alcanzando escasa eficacia. Con la proyección de microesferas se obtuvo un grado de limpieza similar al conseguido con la aplicación del gel alcalino a base de NaOH, no apreciándose modificación alguna del acabado superficial de la piedra (figura 11.2.e). La aplicación del producto a base de látex no proporcionó resultado satisfactorio alguno, quedando además restos del producto adheridos a la superficie de la caliza una vez retirado el látex (figura 11.2.f).



Fig.11.2. Análisis visual de las zonas donde se han ensayado *in situ* los cinco métodos de limpieza, antes y después de su aplicación, y detalle tras la limpieza de las superficies limpiadas.

En la parte superior de la tabla 11.1 se muestran los valores absolutos de los parámetros cromáticos medidos antes y después de la limpieza (AL y DL) sobre las superficies ensayadas con los cinco sistemas de limpieza. Se observa que, tras la limpieza, los valores de luminosidad (L^*) aumentan y, salvo en las zonas donde se ha aplicado el látex, se han registrado menores valores en el índice de amarillo (IB) y mayores para el índice de blancura (IA). Los valores más elevados de luminosidad son alcanzados con la utilización de los geles alcalinos ($L^* = 72,4$ y $69,1$ para NaOH y KOH respectivamente) y con la proyección de microesferas ($L^* = 66,9$).

Para el índice de amarillo, los valores registrados sobre la caliza tras la limpieza con estos tres métodos (IA = 13,4 para NaOH, IA = 15,7 para KOH e IA = 16,5 para microesferas) son muy similares al valor de referencia (IA = 15,6). El índice de blancura medido sobre la superficie ensayada con el gel alcalino a base de NaOH (IB = 20,8) es muy parecido al que presenta la piedra del zócalo (IB = 21,8), obteniéndose valores inferiores para el gel a base de KOH (IB = 15,1) y con la proyección de microesferas (IB = 12,5). En las zonas ensayadas con el agua a caliente a presión y con la aplicación del látex, se han medido valores similares antes y después de la limpieza. Tras la limpieza, estas zonas presentan los menores valores de luminosidad ($L^* = 49,9$ para el agua y $52,9$ para el látex) y de índice de blancura (IB = 1,9 y -1,5), y los mayores índices de amarillo (IA = 22,6 y 22,6).

En la parte inferior de la tabla 11.1 se muestran los incrementos de los parámetros cromáticos seleccionados y el índice ΔE^* medidos en las zonas ensayadas, antes y después de la limpieza, con respecto a la piedra lavada por el agua de lluvia. Las mayores diferencias entre el valor del índice ΔE^* antes y después de la limpieza resultan con el empleo de los geles alcalinos y con la proyección de microesferas. Así, la mayor variación después de la limpieza resulta para la superficie lavada con el gel NaOH, seguido del gel a base de KOH ($\Delta E^* = 11,6$) y de la proyección de microesferas (con 21, 27,9 y 19,4 puntos de diferencia, respectivamente, entre el valor de ΔE^* antes y después de la limpieza).

Tabla 11.1. Media y desviación estándar de los parámetros cromáticos seleccionados, su variación respecto al color de referencia e índice de cambio global de color (ΔE^*) antes y después de la limpieza (AL y DL).

| | | L^* | b^* | IA | IB | |
|---------------------------------------------|----|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|--------------------------------|
| NaOH | AL | 51,2±9,5 | 7,5±1,0 | 18,4±0,2 | 5,4±2,3 | |
| | DL | 72,4±1,0 | 7,0±0,6 | 13,4±1,3 | 20,8±2,9 | |
| KOH | AL | 42,3±1,3 | 12,6±0,5 | 33,6±1,6 | -4,4±0,6 | |
| | DL | 69,1±3,6 | 7,9±1,0 | 15,7±2,4 | 15,1±5,8 | |
| Microesferas | AL | 47,5±2,6 | 9,6±1,1 | 24,6±3,5 | 0,4±2,4 | |
| | DL | 66,9±3,4 | 8,2±0,8 | 16,5±1,2 | 12,5±2,1 | |
| Agua | AL | 46,2±4,4 | 10,4±1,1 | 29,2±3,4 | -2,5±1,8 | |
| | DL | 49,9±2,1 | 9,1±1,5 | 22,6±3,9 | 1,9±2,9 | |
| Látex | AL | 44,8±0,8 | 9,5±0,5 | 25,3±1,0 | -0,2±0,6 | |
| | DL | 52,9±2,3 | 10,5±1,3 | 26,6±1,9 | -1,5±1,7 | |
| Piedra del zócalo (color referencia) | | 80,6±1,9 | 9,1±0,8 | 15,6±1,0 | 21,8±1,5 | |
| | | ΔL^* | Δb^* | ΔIA | ΔIB | ΔE^* |
| NaOH | AL | -29,4 | -1,6 | 2,8 | -16,4 | 29,4 |
| | DL | -8,2 | -2,1 | -2,2 | -1,0 | 8,4 |
| KOH | AL | -38,2 | 3,5 | 18,0 | -26,3 | 38,5 |
| | DL | -10,5 | -1,1 | 0,1 | -6,7 | 10,6 |
| Microesferas | AL | -33,0 | 0,6 | 9,0 | -21,4 | 33,1 |
| | DL | -13,7 | -0,9 | 0,9 | -9,4 | 13,7 |
| Agua | AL | -34,4 | 2,3 | 13,6 | -24,3 | 34,5 |
| | DL | -30,7 | 1,0 | 7,0 | -19,9 | 30,7 |
| Látex | AL | -35,7 | 0,4 | 9,7 | -22,0 | 35,8 |
| | DL | -27,7 | 2,4 | 10,0 | -23,3 | 27,8 |

Comparando los valores después de la limpieza respecto a los medidos antes de la limpieza, puede apreciarse el menor cambio experimentado en los valores de ΔE^* sobre la caliza lavada con agua caliente a presión (30,7 respecto a 34,5) y con la emulsión de látex (27,8 respecto a 35,8). Respecto a las variaciones en los índices de amarillo y de blancura, con los geles alcalinos y las microesferas se obtienen las menores diferencias, comparando con el valor de ambos índices medidos en la piedra lavada por el agua de lluvia ($\Delta IA = -2,2$ y $\Delta IB = -1,0$ para gel NaOH, $\Delta IA = 0,1$ y $\Delta IB = -6,7$ para gel KOH, y $\Delta IA = 0,9$ y $\Delta IB = -9,4$ para microesferas).

En los gráficos de la figura 11.3 se representan las medias en valor absoluto del índice de blancura (IB) frente al índice de amarillo (IA), junto con la desviación estándar resultante para cada uno de ambos índices representada mediante barras de error, obtenidas sobre la caliza en las zonas ensayadas con los cinco métodos de limpieza y sobre la piedra lavada por el agua de lluvia (referencia), antes y después de la limpieza. Estos gráficos permiten visualizar la eficacia de los métodos de limpieza. Puede observarse nuevamente que los dos geles alcalinos y la proyección de microesferas han resultado los métodos más efectivos. Así, para estos tres métodos, mayor es la variación de los valores de IB *versus* IA medidos en las zonas ensayadas antes y después de la limpieza, así como más cerca están tras la limpieza los valores de estos índices de aquellos que presenta la piedra del zócalo (valor de referencia). Sin embargo, si se atiende a las zonas ensayadas con el agua caliente a presión y con la aplicación del látex, se observa muy poca variación en ambos índices, presentando valores similares y estando prácticamente igual de alejados del valor de referencia antes y después de la limpieza.

Por otro lado, resulta interesante atender a las barras de error, especialmente para los tres métodos más efectivos. El aumento en la longitud de las barras de error para las medidas tomadas en las zonas ensayadas con los dos geles alcalinos, indica una mayor dispersión entre los valores de IA e IB respecto a la dispersión de los mismos antes de la limpieza. Para la zona en donde se han proyectado las microesferas, la menor longitud de las barras de error tras la limpieza resulta muy notoria en el eje X (IA) y apenas apreciable en el eje Y (IB).

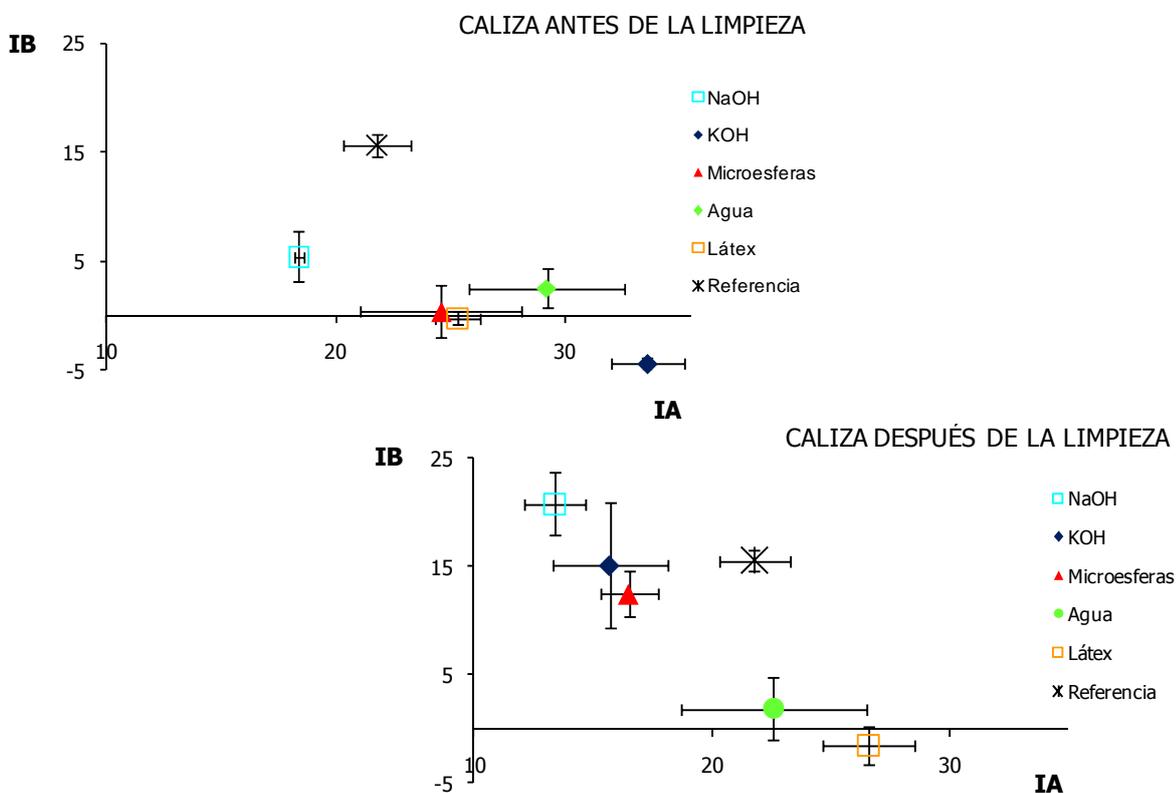


Fig.11.3. Comparativa de los índices de blancura (IB) y de amarillo (IA) medidos en las cinco zonas ensayadas con respecto a la superficie de referencia, antes y después de su limpieza.

11.4.2. Idoneidad y eficacia de los métodos ensayados

11.4.2.a. Presencia de subproductos generados por el proceso de la limpieza

En las zonas ensayadas con los dos geles alcalinos y proyección de microesferas se observa que los datos obtenidos en cuanto al contenido en cloruros, nitratos y sulfatos solubles en agua es considerablemente menor respecto al contenido de los mismos en la piedra lavada artificialmente por el agua de lluvia, pues en estas superficie no ha sido aplicado sistema de limpieza alguno (tabla 11.2). Sin embargo, ninguno de los tres métodos consigue su completa eliminación, analizándose contenidos considerablemente menores en la zona ensayada con la proyección de microesferas (17,10 mg/l en cloruros, 1,91 mg/l en nitratos y 35,58 mg/l en sulfatos). Respecto al contenido de los cationes solubles en agua, en las zonas ensayadas con los tres métodos más efectivos, el agua lixiviada artificialmente presenta un mayor contenido en sodio, potasio y calcio que la piedra del zócalo, salvo el contenido en potasio para la zona en donde se han ensayado las microesferas (3,92 mg/l frente a 4,18 mg/l). Del mismo, el contenido de sodio y calcio determinado en el agua lixiviada sobre esta zona, presenta valores más bajos (23,47 mg/l para el sodio y 13,73 mg/l para el calcio) que donde se han ensayados los dos geles alcalinos (26,63 y 25,91 mg/l de sodio y 21,38 y 16,65 mg/l de calcio).

Atendiendo al intervalo del contenido iónico que presenta el agua del Canal, se observa que el contenido aniónico en el agua lixiviada sobre la piedra ensayada con los dos geles alcalinos supera el valor máximo analizado para el agua del Canal, especialmente en el contenido de nitratos (70,70 y 59,44 mg/l frente a 7,8 mg/l) y de sulfatos (50,41 y 65,94 mg/l frente a 30 mg/l). El agua lixiviada artificialmente sobre la zona ensayada con la proyección de microesferas presenta un contenido iónico que mejor se ajusta a dicho intervalo. No obstante, se superan ligeramente los valores para el contenido en sulfatos (35,58 mg/l frente a 30,0 mg/l) y de sodio (23,47 mg/l frente a 20,0 mg/l), resultando más del doble para el potasio (3,92 mg/l frente a <2,0 mg/l).

Ciertamente, los contenidos en sodio determinados en el agua lixiviada sobre la piedra ensayada con los tres métodos son muy similares, resultando algo mayor el analizado sobre la piedra limpiada con el gel a base de NaOH (26,63 mg/l) y, en ningún caso, superan excesivamente el máximo del analizado en el agua del Canal (26,63 mg/l para NaOH y 25,91 mg/l para KOH frente a 20,0 mg/l). El contenido en calcio se ajusta a los contenidos analizados para el agua del Canal (21,38 mg/l para NaOH, 16,65 mg/l para KOH y 13,73 mg/l para microesferas frente a 5,8-34,8 mg/l). Para el potasio, los contenidos analizados reflejan igualmente un mayor contenido de este elemento en el agua lixiviada sobre las zonas ensayadas con los dos geles que sobre aquella donde se han proyectado las microesferas, resultando especialmente elevado el contenido analizado sobre la piedra limpiada con el gel a base de KOH (26,35 mg/l). Para el agua lixiviada sobre la piedra de referencia, se observa que el contenido en iones solubles supera con creces los valores del contenido iónico del agua del Canal. Sólo el contenido en sodio y calcio se encuentra en el intervalo de los análisis químicos del Canal (12,61 mg/l entre 4,0-20,0 para el sodio y 8,64 mg/l entre 5,8-34,8 para el calcio).

Tabla 11.2. Contenido en iones acuosos del agua lixiviada artificialmente sobre las zonas ensayadas con los tres métodos más efectivos y sobre la piedra del zócalo, comparado con los valores máximos y mínimos el agua del Canal de Isabel II (mg/l).

| | Aniones (mg/l) | | | Cationes (mg/l) | | |
|-----------------------------------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | Cloruros | Nitratos | Sulfatos | Sodio | Potasio | Calcio |
| NaOH | 22,51 | 70,70 | 50,41 | 26,63 | 5,45 | 21,38 |
| KOH | 29,45 | 59,44 | 65,94 | 25,91 | 26,35 | 16,65 |
| Microesferas | 17,10 | 1,91 | 35,58 | 23,47 | 3,92 | 13,73 |
| Canal Isabel II (valor referencia) | 10,0-20,0 | 0,9-7,8 | 8,0-30,0 | 4,0-20,0 | <2,0 | 5,8-34,8 |
| Piedra del zócalo | 46,64 | 109,15 | 101,79 | 12,61 | 4,18 | 8,64 |

11.4.2.b. Formación de subproductos, reducción del deterioro físico-químico y modificación textural

Los resultados obtenidos mediante MEB-EDS para las superficies que han sido limpiadas con el gel alcalino a base de NaOH, revelan la importante eliminación de los depósitos superficiales, resultando bajos los niveles de aluminio (Al) y silicio (Si). Respecto al grado de sulfatación superficial de la caliza, en algunas zonas se observa la práctica ausencia de azufre (S) mientras que en otras el grado de sulfatación sigue siendo importante (comparar figuras 11.4.a y 11.4.b). Se observa también que en zonas donde la capa de sulfatación ha sido completamente eliminada, el empleo del gel alcalino a base de NaOH ha favorecido la disolución parcial de los cristales de calcita (figura 11.4.c). En ninguna de las muestras analizadas los espectros EDS revelan la presencia de sodio (Na).

En las superficies limpiadas con el gel alcalino a base de KOH, se observa que la costra de sulfatación sobre la piedra no ha sido eliminada (figura 11.4.d), detectándose la presencia de azufre (S), en ocasiones especialmente elevada (figura 11.4.e). En el espectro EDS correspondiente al análisis zonal de la imagen mostrada en la figura 11.4.e, se observa además la importante presencia de potasio (K), si bien no se observan morfologías definidas que pudieran corresponderse con la formación de sales potásicas, y se identifica silicio (Si).

Los resultados de las muestras tomadas en las zonas limpiadas mediante proyección de microesferas permiten comprobar la retirada prácticamente total del grado de sulfatación y depósitos superficiales en su práctica totalidad, detectándose la ligera presencia de azufre (S) así como de magnesio (Mg), aluminio (Al) y silíceo (Si) (espectros EDS correspondientes a las figuras 11.4.f y 11.4.g). La superficie del soporte pétreo infrayacente muestra un aspecto homogéneo, no se observa la aparición de nuevas formas de deterioro y los cristales de calcita no han quedado demasiado expuestos (figura 11.4.f). Únicamente, atendiendo con mayor detalle, en los cristales de calcita se observan marcas que pudieran corresponderse con huellas o estrías originadas por el impacto de las microesferas (figuras 11.4.g y 11.4.h).

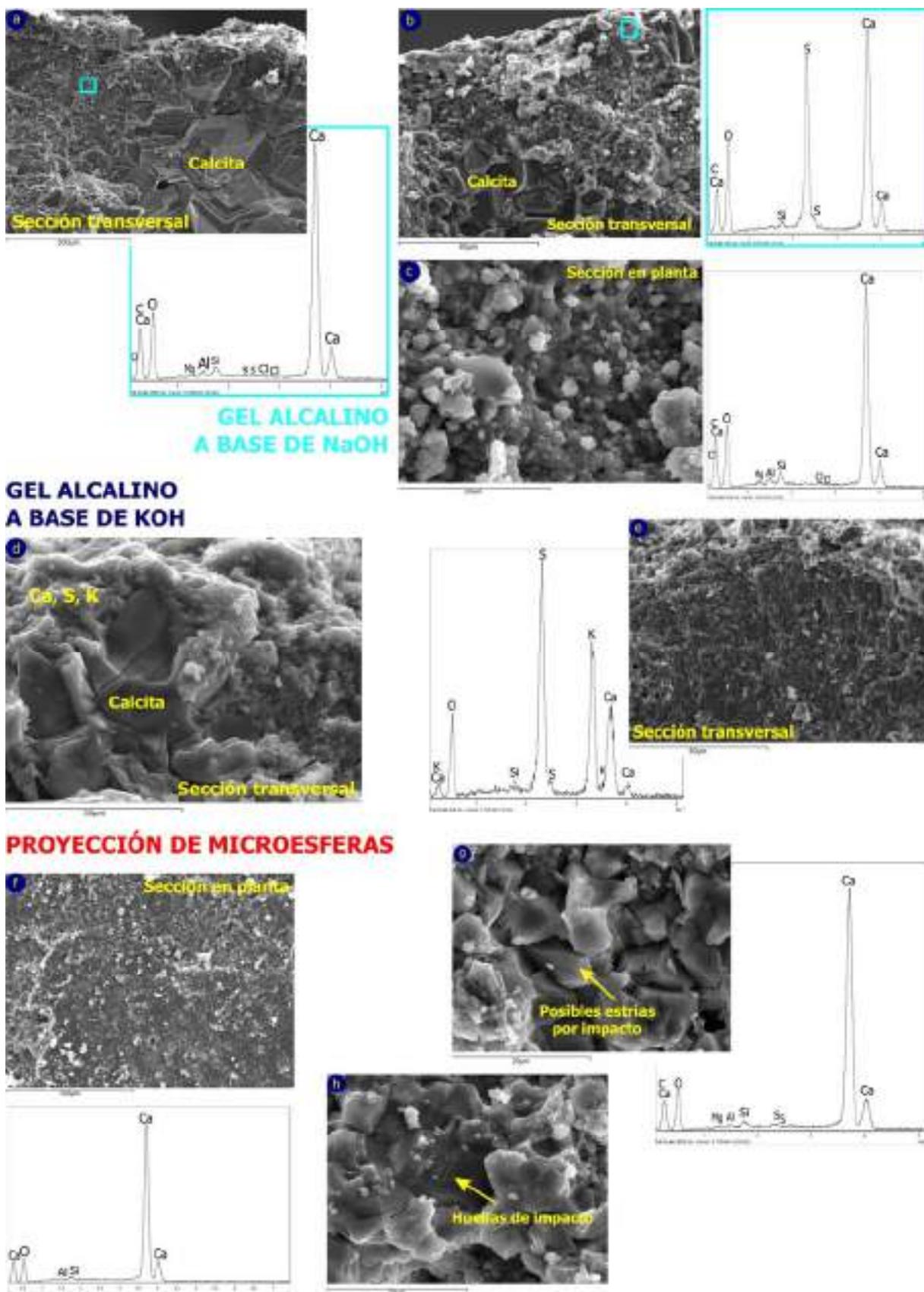


Fig.11.4. Imágenes de Microscopía Electrónica de Barrido en modo electrones secundarios (MEB-ES) y espectros obtenidos mediante microanálisis EDS de las zonas limpiadas con los dos geles alcalinos (a base de NaOH y de KOH), y mediante proyección de microesferas.

Los análisis químicos semicuantitativos puntuales se indican con un recuadro en las imágenes (figuras 11.4.a y 11.4.b) y los análisis zonales se han efectuado en las imágenes recuadradas (figuras 11.4.c, 11.4.e, 11.4.f y 11.4.g).

11.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

11.5.1. Evaluación de la efectividad de los métodos ensayados

En cuanto a la modificación cromática otorgada a las superficies limpiadas con los cinco sistemas de limpieza, en general los valores de luminosidad (L^*) e índice de blancura (IB) medidos sobre las superficies limpiadas aumentan, disminuyendo los correspondientes al índice de amarillo (IA) (tabla 11.1). El empleo de métodos químicos proporciona un aumento en el valor de la luminosidad (Fort et al. 2000a), relacionado con la retirada de los depósitos superficiales responsables del ensuciamiento y respondiendo valores muy elevados a su excesiva eliminación, quedando muy expuestos los cristales de calcita (Gaspar et al. 2003). Los similares parámetros cromáticos resultantes antes y después de la limpieza en las zonas limpiadas con agua a presión y mediante la emulsión a base de látex coincide con las observaciones realizadas *in situ*, resultando estos dos métodos los menos efectivos (figura 11.2 y tabla 11.1).

Considerando el elevado grado de blancura que presenta la superficie de referencia considerada y que el blanco ideal está en el valor 100 para el índice de blancura y en el valor 0 para el índice de amarillo, después de la limpieza el valor del índice de amarillo más debe aproximarse al 0 y el del índice de blancura al 100. Efectivamente, así se observa tras la limpieza para los tres métodos que han resultado más efectivos, los dos geles alcalinos y la proyección de microesferas (parte superior tabla 11.1). Además, tras la limpieza, los valores de ambos índices más deben aproximarse a los medidos sobre la superficie tomada de referencia, sucediendo así para las zonas ensayadas con estos tres métodos.

En las superficies limpiadas con el gel a base de NaOH, los valores de L^* e IB tras la limpieza más se aproximan a los de la superficie considerada de referencia (piedra del zócalo) y el menor valor para el sumatorio de las desviaciones estándar (3,9) de ambos parámetros ($StdL^* = \pm 1,0$ y $StdIB = 2,9$) indicaría que la limpieza ha resultado más homogénea (Fort et al. 2000a). Respecto al índice ΔE^* , la menor diferencia existente entre los valores medidos antes y después de la limpieza con respecto al valor de referencia ($\Delta E^* = 29,4$ y $\Delta E^* = 8,4$ respectivamente), revela que el gel a base de NaOH ha resultado más efectivo que el gel a base de KOH y la proyección de microesferas.

En las zonas donde se han aplicado los dos geles alcalinos, la mayor dispersión resultante entre los valores de IA e IB respecto a la variabilidad de los mismos antes de la limpieza (figura 11.3) podría responder a que el ensuciamiento de estas zonas fuera más homogéneo que el grado de limpieza conseguido tras la aplicación de ambos geles. Si bien el cromatismo de las superficies limpiadas con el gel a base de NaOH más se acerca al de la piedra del zócalo, la modificación en la longitud de las barras de error para las superficies en donde se han proyectado las microesferas indicaría que el grado de limpieza alcanzado por este método ha resultado más homogéneo que el conseguido con los geles alcalinos.

En cuanto a la reducción y/o eliminación del deterioro químico de la superficie de la caliza, la proyección de microesferas ha resultado el método más efectivo al eliminar la capa de sulfatación en su práctica totalidad (figuras 11.4.f y 11.4.g), reduciéndose parcialmente en las zonas ensayadas con el gel a base de NaOH (figuras 11.4.a, 11.4.b y 11.4.c), permaneciendo de forma muy significativa en las superficies limpiadas con el gel a base de KOH (figuras 11.4.d y 11.4.e). Del mismo modo, estos tres métodos resultan efectivos con respecto a la retirada de los depósitos superficiales responsables del ensuciamiento, eliminando y/o reduciendo la presencia de aluminio (Al) y silicio (Si) en las superficies ensayadas (figura 11.4). Debe tenerse en cuenta que la caliza presenta cierto contenido en silicio y que tal vez las microesferas (cuya composición es principalmente sílice, figura 12.1.g) no hayan sido retiradas en su totalidad.

11.5.2. Evaluación de la idoneidad de los métodos ensayados

Teniendo en cuenta que en la superficie lavada de forma natural por el agua de lluvia (piedra del zócalo) no se ha ensayado ninguno de los sistemas de limpieza evaluados, el elevado contenido en sulfatos (101,79 mg/l) del agua lixiviada sobre esta superficie de referencia (tabla 11.2) confirmaría los procesos de sulfatación que también tienen lugar en esta zona debido a su elevada exposición a las emisiones procedentes del tráfico rodado (capítulo 9), estando el también elevado contenido en nitratos (109,15 mg/l) relacionado con la contaminación que generan los excrementos de animales y humanos (Gomez-Heras et al. 2004). Respecto a los productos de alteración que podrían haberse generado como consecuencia de la limpieza con los métodos que han resultado más efectivos, si bien los dos geles alcalinos y la proyección de microesferas reducen en las superficies ensayadas el contenido aniónico respecto al cuantificado sobre la piedra del zócalo, con ninguno se consigue su completa eliminación. La proyección de microesferas aporta el mejor resultado, en tanto que el menor contenido en sulfatos (35,58 mg/l) indicaría la mejor eliminación de la costra de sulfatación, respondiendo posiblemente los valores de cloruros (17,10 mg/l) y nitratos (1,91) a los contenidos en estos iones en el agua del Canal.

En cuanto al contenido en sodio determinado mediante Cromatografía Iónica, comparando con la superficie del zócalo (tabla 11.2), los similares valores obtenidos para estos tres métodos podría deberse a un importante contenido en sodio en el agua empleada durante el ensayo de los métodos y/o en el agua lixiviada sobre las zonas ensayadas, aproximándose los valores registrados al valor máximo del intervalo proporcionado por el agua del Canal (20 mg/l). Para la zona ensayada con el gel alcalino a base de NaOH, el valor algo superior registrado de sodio (26,63 mg/l) podría indicar la presencia de residuos del producto empleado y, por tanto, el riesgo potencial que supondría su utilización al favorecer la posible formación de sulfatos sódicos muy destructivos para la caliza (Scherer 2000, Tsui et al. 2003). No obstante, mediante microanálisis EDS no se ha identificado sodio (Na) en las superficies limpiadas con el gel a base de NaOH una vez se ha retirado con agua (figuras 11.4.a, 11.4.b y 11.4.c). Tal vez por este motivo no se ha observado *in situ* la presencia de sales generadas a partir del método utilizado y el contenido en sodio presente en el agua lixiviada sobre la zona ensayada con este sistema no resulte especialmente más elevado que en las otras superficies (tabla 11.2). Debe tenerse en cuenta también el corto periodo de tiempo durante el que se ha dejado actuar el producto (30 min) antes de ser retirado así como el intenso lavado de las superficies, precisamente para evitar efectos secundarios derivados de su empleo.

La importante presencia de potasio (K) detectado mediante microanálisis EDS (figura 11.4.e), junto a su elevado contenido en el agua lixiviada sobre la zona donde el gel a base de KOH ha sido ensayado (tabla 11.2), revela que este elemento no ha sido eliminado y, por tanto, su presencia puede inducir la formación de productos de alteración. El velo blanquecino observado *in situ* sobre las superficies (figura 11.2.d), no identificado en las zonas donde se ensayaron los otros métodos, responde a sales formadas como resultado del producto aplicado.

En cuanto a la modificación textural que introduce en las superficies limpiadas la aplicación de los tres métodos que han resultado más efectivos, la disolución parcial de cristales de calcita en zonas donde la costra de sulfatación ha sido eliminada por el gel a base de NaOH (figura 11.4.c) podría indicar que el gel ejerce cierta agresividad sobre el soporte pétreo, otro motivo por el cual se desaconseja su utilización. En el caso del gel a base de KOH no se ha podido observar la superficie de la caliza pues la costra de sulfatación apenas ha sido retirada (figuras 11.4.d y 11.4.e). Por otro lado, se considera mínima la erosión que la proyección de microesferas ha generado sobre los cristales de calcita, habiéndose observado *in situ* que no habían afectado al acabado rugoso superficial que presentan los elementos pétreos (11.2.e). Este aspecto se considera esencial, puesto que el tratamiento otorgado por Palacios a la caliza, en ocasiones parcialmente perdido a los procesos de disolución y sulfatación que operan sobre los paramentos del inmueble, supone un elemento esencial a conservar.

11.5.3. Selección del método de limpieza definitivo: una solución de compromiso

La tabla 11.3 resume la información obtenida a partir de la evaluación realizada, según los criterios de evaluación seguidos y las técnicas de caracterización empleadas, para los tres sistemas que han resultado más efectivos en cuanto a la variación cromática que han procurado a las superficies ensayadas. Los resultados óptimos, buenos, aceptables y deficientes se indican en los colores verde, azul, rojo y marrón, respectivamente. En cuanto a la efectividad, el mejor método ha resultado el gel alcalino a base de NaOH, en la medida que otorga los mejores resultados en cuanto a la modificación cromática requerida para la superficie de la caliza, si bien las microesferas consiguen la mejor eliminación del grado de sulfatación en la superficie de la caliza. Respecto a la idoneidad, es la proyección de microesferas el sistema que ofrece los mejores resultados, pues por un lado no introduce elemento alguno que pueda dar lugar a la formación de productos de alteración, consiguiendo además la mejor retirada de los que pudieran estar en las superficies antes de la limpieza y, por otro, se considera mínima la modificación que provoca en la textura superficial del soporte pétreo.

Tabla 11.3. Evaluación de la efectividad e idoneidad de los geles alcalinos y de la proyección de microesferas.

| | Efectividad (reducción deterioro) | | | | Idoneidad (resultados contraproducentes) | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|----------------------------------------------|---|-----------------|------------------------------|------------------------------|----|---|----|-----|---|
| | Deterioro estético | | Det. F-Q | | Posible formación de productos de alteración | | | | Δ textura | | | | | |
| | Espectrofotometría | | EDS | | Cromatografía iónica | | | | EDS | | | | MEB | |
| | Δ L* | Δ IA | Δ IB | Δ E* | PSC | S | Cl ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ⁻ | Na | K | Na | K | |
| NaOH | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| KOH | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Microesferas | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |

● Resultado óptimo ● Resultado bueno ● Resultado aceptable ● Resultado deficiente

Celdas en blanco (sin resultados).

La eliminación del grado de sulfatación conseguido con las microesferas se debe principalmente a la retirada de la costra de sulfatación durante su proyección (Appolonia et al. 2000). Ahora bien, con la práctica total desaparición de la costra y de los depósitos superficiales puede haberse eliminado parte superficial del sustrato, quedando más expuesto (Gaspar et al. 2003) y, por tanto, más susceptible al deterioro. Este aspecto puede ser en parte responsable del contenido aniónico significativamente menor registrado en el agua lixiviada sobre la piedra limpiada con microesferas (tabla 11.2), respondiendo los menores valores (respecto a las zonas ensayadas con los geles alcalinos) a una retirada de la costra de sulfatación y de la zona más superficial de la caliza. De ser así, se confirmaría un importante contenido en sodio (Na) en el agua empleada para el lixiviado artificial, pues el valor obtenido en el agua lixiviada sobre la piedra limpiada con microesferas (23,47 mg/l) es muy similar al registrado en el agua lixiviada sobre las zonas ensayadas con los geles alcalinos (26,63 mg/l y 25,91 mg/l).

A partir de los resultados obtenidos tras la evaluación realizada y teniendo en cuenta las propiedades petrofísicas de la variedad pétreo más ampliamente representada en los paramentos del Antiguo Hospital (crema-homogénea, tablas 4.5, 4.6 y 4.7), principalmente en cuanto a su porosidad accesible al agua (4,09%), cantidad de agua absorbida por saturación al vacío (1,61%), índice de compacidad (95,91%) e índice de Schmidt (\approx 56) se refiere, en principio su limpieza con el gel a base de NaOH o mediante la proyección de microesferas de sílice, e incluso mediante la combinación de ambos, podría resultar aconsejable. Ahora bien, para la limpieza de grandes superficies la aplicación de métodos químicos puede resultar difícil de controlar (Appolonia et al. 2000) e implica la utilización de importantes cantidades de agua, con el riesgo asociado de ocasionar la removilización de sales. Por otro lado, la capacidad hidrofugante no especialmente elevada de la caliza (AC \approx 63) así como el posible peligro que puede implicar la presencia de sodio que no fuera eliminado, se desaconseja su limpieza con la aplicación del gel alcalino a base de NaOH.

Respecto a la proyección de microesferas, si bien los resultados cromáticos obtenidos no son los más óptimos, el método procura una modificación cromática homogénea, la eliminación prácticamente total de la costra de sulfatación, no introduce elementos que puedan ocasionar la formación de productos de alteración perjudiciales para la caliza y la eliminación del deterioro que consigue apenas implica la aparición de nuevas formas de deterioro en la superficie de la caliza. Considerando que el sistema de limpieza ha procurado la reducción significativa de los depósitos superficiales responsables del ensuciamiento, que no haya resultado el más efectivo con respecto a la modificación cromática proporcionada puede incluso resultar positivo, señalando que los cristales de calcita no han quedado excesivamente expuestos (Gaspar et al. 2003), como se ha observado precisamente mediante MEB (figura 11.4.f, 11.4.g y 11.4.h).

Además, el valor de luminosidad proporcionado por la limpieza mediante microesferas ($\bar{X}L^* \approx 67$) se incluye en el grado B de tolerancia estética (L^* entre 68-64, capítulo 8), correspondiente a un oscurecimiento que no resulta molesto, y prácticamente percibiéndose claras las superficies limpiadas (grado A de tolerancia estética, L^* 68-74). Que el aspecto muestran las superficies limpiadas con microesferas se corresponda con un valor de $L^* \approx 67$, señalaría que entre una tonalidad clara (grado de tolerancia estética A) y la percepción del oscurecimiento en las superficies sin causar molestia (grado de tolerancia estética B_1) habría igualmente una interfase. Por tanto, como para un valor de $L^* \approx 67$ la piedra muestra una tonalidad clara, se establece en los valores $L^* \approx 67-68$ una transición entre los grados de tolerancia A y B_1 , percibiéndose las superficies claras y no resultando necesaria intervención alguna como indicaba el modelo planteado (capítulo 8).

La elección de la piedra del zócalo también se efectuó en base a los patrones de color que mostraban los paramentos del muro, en donde los fuertes contrastes cromáticos se correspondían con superficies en donde la piedra mostraba una intensa tonalidad blanca o un intenso grado de ensuciamiento, sin existir apenas tonalidades intermedias (capítulo 8). Dado que las pruebas de limpieza se efectuaron en el muro perimetral, se estimó apropiado considerar que la tonalidad de las superficies una vez limpiadas con los cinco métodos ensayados debían aproximarse a la que mostraba la piedra del zócalo. Ahora bien, aunque otros autores en estudios similares toman como referencia superficies lavadas de forma natural por el agua de lluvia (Fort et al. 2000a), el intenso blanqueamiento que presenta la caliza en el zócalo del Antiguo Hospital, debido a los procesos de carbonatación y sulfatación que tienen lugar en su superficie, señalaría la conveniencia de considerar otra superficie como referencia, pues ambos procesos conllevan el aumento considerable de la luminosidad (capítulos 9 y 10), de ahí la importante diferencia entre el valor de luminosidad de la caliza en el zócalo ($L^* \approx 80$, tabla 11.1) con el que presentan las superficies limpiadas mediante proyección de microesferas ($L^* \approx 67$).

Para el caso de la caliza del Antiguo Hospital, hubiera resultado más apropiado tomar como valor de referencia la luminosidad el considerado en el capítulo 8 ($L^*_0 = 74$). No obstante, debe tenerse en cuenta que como criterio para evaluar la efectividad de los métodos se ha planteado una aproximación a la luminosidad de la caliza en el zócalo, sabiendo que se corresponde con una tonalidad que ni se va a alcanzar ni se pretende alcanzar mediante la limpieza. Además, a partir de los datos de la tabla 11.1, si se tomara el valor $L^*_0 = 74$ como referencia los resultados obtenidos tras la evaluación se podrían extrapolar. En cualquier caso, tras la limpieza se notará la diferencia entre las superficies lavadas por el agua de lluvia y las limpiadas, siendo recomendable que la luminosidad alcanzada supere el valor de 67, de modo se aproxime al valor de 74.

Del mismo modo, a tenor de los resultados obtenidos, principalmente en cuanto al contenido en aniones solubles en agua se refiere, se considera hubiera resultado más apropiado tomar como valor de referencia una superficie expuesta lo menos posible a los procesos de deterioro. De este modo, el contenido iónico analizado en el agua lixiviada artificialmente sobre la piedra de referencia en gran parte se deba precisamente a su ubicación, presentando los zócalos una elevada exposición a las principales fuentes de nitratos y sulfatos.

Por tanto, atendiendo de forma conjunta a los resultados proporcionados por las diferentes técnicas de caracterización empleadas y a las propiedades petrofísicas de la caliza, para la limpieza de los paramentos del Antiguo Hospital se aconseja la proyección de microesferas de sílice en húmedo (técnica torbo). Si bien resulta mínima la variación de la textura superficial de la caliza que implica la retirada y/o reducción de su deterioro físico-químico mediante este sistema de limpieza, se recomienda bien reducir la presión de proyección (emplear preferiblemente una presión media según señala la normativa UNE para las técnicas de limpieza basadas en la proyección de partículas), bien controlar la energía del impacto con la inclinación y distancia de la boquilla a las superficies y con el tiempo de aplicación (Esbert 2003, Iglesias et al. 2006, 2014), especialmente en la limpieza de piezas constituidas con las variedades más arenosas y porosas, poco representativas en la totalidad de los paramentos (capítulo 4).

En base a criterios estéticos, se indicaba que la limpieza de las superficies que mostraran grados de tolerancia A y B no resultaba necesaria. En el caso se optara por limpiar las "zonas blancas" (superficies lavadas y/o expuestas a procesos de sulfatación sin acumulación de partículas, incluyendo también zonas con $L^* > 74$), tal vez resultara apropiado emplear otro sistema de limpieza. De limpiarse con microesferas de sílice, se deberá prestar especial cuidado a las variaciones oportunas referentes al tiempo de aplicación y a la distancia de la boquilla de proyección a las superficies, modificando incluso la proporción agua:microesferas. Finalmente, debe tenerse en cuenta que el ruido y el residuo generados por este método suponen un importante inconveniente a salvar.

11.6. CONCLUSIONES

- La evaluación efectuada ha atendido especialmente al deterioro físico-químico que presentaba la superficie de la caliza, redundando en el deterioro estético de los paramentos del Antiguo Hospital.
- De los cinco sistemas de limpieza ensayados, el empleo de agua a presión y la aplicación de la emulsión a base de látex han resultado muy poco efectivos en tanto que el cromatismo de las superficies lavadas se ha visto muy ligeramente modificado tras su limpieza. Este aspecto principalmente se traduce en que los depósitos responsables del ensuciamiento de la caliza apenas han sido retirados.
- Atendiendo al criterio cromático, los dos geles alcalinos y la proyección con microesferas de sílice han sido los métodos más efectivos, procurando con la importante reducción de los depósitos superficiales que las superficies muestren una tonalidad bastante aproximada a la requerida. No obstante, presentan ciertos inconvenientes, pues el gel a base de KOH favorece la formación de subproductos y el mayor contenido en sodio en el agua lixiviada por las superficies limpiadas con el gel a base de NaOH podría señalar el riesgo que su utilización supone para la caliza en cuanto a la formación de sulfatos sódicos.
- Respecto a la efectividad, el gel alcalino a base de NaOH ha resultado el mejor método en la medida que otorga un resultado óptimo en cuanto a la modificación cromática requerida para la superficie de la caliza, si bien las microesferas consiguen la mejor eliminación de la costra de sulfatación. Respecto a la idoneidad, la proyección de microesferas ofrece los mejores resultados, pues por un lado no introduce elementos que puedan dar lugar a la formación de productos de alteración, consiguiendo además la retirada de otros que pudieran estar en las superficies antes de la limpieza. Por otro, la casi total reducción del deterioro físico-químico en la superficie de la piedra que procuran las microesferas modifica muy ligeramente la textura superficial del soporte pétreo.
- Aunque los resultados cromáticos proporcionados por la proyección de microesferas no han sido los óptimos, se considera muy adecuado el valor de luminosidad que proporcionan a la superficie de la caliza. De este modo, el valor $L^* \approx 67$ se incluye en el grado B₁ de tolerancia estética (se percibe oscurecimiento sin molestia), lindando con el grado de tolerancia A (superficies se perciben claras).
- A partir de los resultados obtenidos y de las propiedades de la caliza, en principio su limpieza tanto con el gel a base de NaOH como mediante la proyección de microesferas resultaría efectiva e idónea. Ahora bien, teniendo en cuenta la capacidad hidrofugante no especialmente elevada de la caliza y el posible peligro que puede suponer la no eliminación completa del sodio, se aconseja la proyección de microesferas en húmedo (técnica torbo) para la limpieza de los paramentos del inmueble.
- Si bien la modificación textural del soporte pétreo otorgada por la proyección de microesferas ha resultado mínima, se recomienda emplear una presión de proyección inferior a la utilizada en los ensayos previos así como controlar la energía del impacto con la distancia de la boquilla a las superficies y con el tiempo de aplicación.
- El estudio presentado supone un ejemplo real de cómo la metodología científica puede contribuir a la mejor conservación del patrimonio construido. Si bien es cierto que se debe seguir concienciando a las instituciones encargadas de la salvaguarda del patrimonio sobre la necesidad de efectuar estudios previos antes de intervenir, la Comunidad de Madrid apostó por evaluar científicamente diferentes sistemas de limpieza, descartando los que no proporcionaron buenos resultados y seleccionando el que resultó más efectivo e idóneo para la limpieza de la caliza del antiguo Hospital.

12. LIMPIEZA MEDIANTE PROYECCIÓN DE PARTÍCULAS EN LOS PARAMENTOS DEL ANTIGUO HOSPITAL (2006-2008)

La intervención efectuada en los paramentos entre 2006-2008 apostó por la conservación de la caliza, pretendiendo con la limpieza reducir en la medida de lo posible su deterioro físico-químico y, con ello, eliminar el deterioro estético de los paramentos. Establecido el método de limpieza más adecuado a emplear, a partir de las recomendaciones señaladas tras la evaluación previa, y teniendo en cuenta ciertos aspectos de la intervención a acometer, los paramentos fueron limpiados mediante proyección en húmedo de partículas de sílice, empleando dos tipologías diferentes según el grado de ensuciamiento de las superficies (microesferas y micropartículas).

En el capítulo presentado se evalúa la eficacia e idoneidad del método finalmente empleado, en base a los resultados que ha proporcionado. Para evaluar el grado de eficacia se atiende a la variación de la luminosidad así como de la composición química de las superficies, comparando con los valores de luminosidad y la composición que mostraban antes de la limpieza. La idoneidad se evalúa observando la modificación textural que experimenta la superficie de la caliza como consecuencia de su limpieza, prestando especial atención a las diferencias que se producen en función de la tipología de partícula proyectada. Los resultados alcanzados tras la limpieza han sido analizados mediante Espectrofotometría y MEB-EDS.

Se confirma la proyección en húmedo de microesferas de sílice como un método efectivo e idóneo para la limpieza de la caliza en los paramentos del Antiguo Hospital, al retirar y/o reducir el deterioro físico-químico en la superficie de la caliza. De este modo, la limpieza efectuada ha eliminado a su vez significativamente el deterioro estético de los paramentos, recuperando por tanto el inmueble su apariencia estética original. El estudio realizado permite comprobar además que la acción de las partículas proyectadas afecta a las superficies limpiadas de forma diferencial, condicionando sus efectos el deterioro futuro de la caliza sustancialmente.

Establecida la necesidad de intervenir en los paramentos del Antiguo Hospital, pues su deterioro estético implicaba en muchas zonas un daño material (deterioro físico-químico) importante en la superficie de la caliza, la limpieza efectuada ha permitido eliminar en gran medida las costras negras de sulfatación, morfología de deterioro que a su vez supone un importante agente de alteración para la caliza. Además, ha procurado la considerable mejora del impacto visual del inmueble, recuperando así su apariencia estética original.



Aspecto que mostraban diversas fachadas del cuerpo de la iglesia y algunos paños del muro perimetral tras su limpieza (año 2008).

12.1. INTRODUCCIÓN

12.1.1. Limpieza de la piedra caliza en la intervención de 2006-2008

Las operaciones de limpieza se enmarcaban en los objetivos de la restauración integral acometida en los paramentos durante los años 2006-2008, esto es, reducir su deterioro, ralentizar los procesos de alteración y mejorar su apariencia estética (epígrafe 2.2.6)¹. A partir del deterioro que mostraba la caliza en particular y los paramentos en general, la limpieza apostó por la conservación de la piedra procurando reducir su deterioro físico-químico y estético en la medida de lo posible. La limpieza se efectuó mediante proyección en húmedo (técnica torvo) de partículas de sílice (figura 12.1), siguiendo las recomendaciones indicadas tras la evaluación previa de los métodos de limpieza ensayados *in situ* (capítulo 11). Además de la importante cohesión superficial que mostraba la variedad pétreo mas ampliamente utilizada en los paramentos (crema-homogénea) y de la ausencia de elementos pétreos decorativos así como de recubrimientos superficiales a conservar, otro aspecto que también favoreció la selección del sistema finalmente empleado fue que los antiguos morteros de junta se retiraron antes de proceder con las operaciones de limpieza (epígrafe 2.2.6). Al quedar las juntas exentas (figura 12.1.e y 12.1.f), posibilitaban la entrada de los diversos productos y/o materiales del sistema de limpieza, resultando apropiado el empleo de un método principalmente físico y que empleara un material lo más inerte posible (sílice).

La piedra se limpió tanto en las zonas que antes de la limpieza estaban oscurecidas ("zonas negras") como en las que mostraban una tonalidad clara ("zonas blancas"). En las primeras, el nivel de limpieza a conseguir se estableció a partir del valor de luminosidad proporcionado por la proyección de microesferas ensayadas ($L^* \approx 67$), percibiéndose las superficies limpiadas con una tonalidad clara (interfase entre grados de tolerancia estética A y B, L^* entre 67-68). Se optó por proyectar dos tipologías de partículas, microesferas para las fachadas y micropartículas para el plano principal de la hoja externa del muro, debido al intenso ensuciamiento que presentaba, con un grado D de tolerancia estética ($L^* < 55$) e importante desarrollo de costras negras de sulfatación (capítulo 9). La presión de trabajo fue la misma en ambos casos ($2,5 \text{ kg/cm}^2$), inferior a la empleada para la evaluación previa, y regulándose la energía del impacto con la inclinación y la distancia de la boquilla a la superficie a limpiar y con el tiempo de aplicación (Esbert 2003, Iglesias et al. 2006, 2014), siendo la distancia menor y el tiempo mayor para las superficies correspondientes a "zonas negras".

La técnica MEB-EDS resulta muy adecuada para conocer la forma, el tamaño y la composición de micropartículas empleadas para la limpieza de materiales (Vèrges-Belmin 1996). De este modo, en la figura 12.1.g puede observarse la esfericidad de las microesferas y su tamaño, que oscila entre los 0,07 mm y 0,34 mm, así como a la presencia de escasas micropartículas con formas angulosas (las microesferas empleadas fueron muy similares a las utilizadas en los ensayos previos efectuados *in situ*, capítulo 11). Las micropartículas presentan morfologías muy angulosas (figura 12.1.h) y un tamaño entre los 0,15 y 0,6 mm. Los espectros EDS revelan prácticamente la misma composición para ambos tipos de partículas, principalmente silicio (Si), y también calcio (Ca), sodio (Na), magnesio (Mg) y aluminio (Al). Si bien los diversos planos de avance y retranqueo de los paramentos así como el acabado rugoso de las piezas pétreas ralentizaron las operaciones de limpieza, el importante grado de cohesión superficial que en general presentaban los elementos pétreos y la ausencia de elementos decorativos referidos, supusieron aspectos ciertamente ventajosos. Puesto que durante la restauración de los paramentos el inmueble siguió en uso, para minimizar las molestias en la medida de lo posible las operaciones de limpieza se efectuaron por la tarde y las partículas se recogían según se finalizaba la jornada.

¹ Además de la limpieza de la caliza, se recuerda que se intervino en la totalidad de los materiales, suponiendo la sustitución de los morteros de junta otra de las principales operaciones efectuadas en los paramentos (epígrafe 2.2.6).

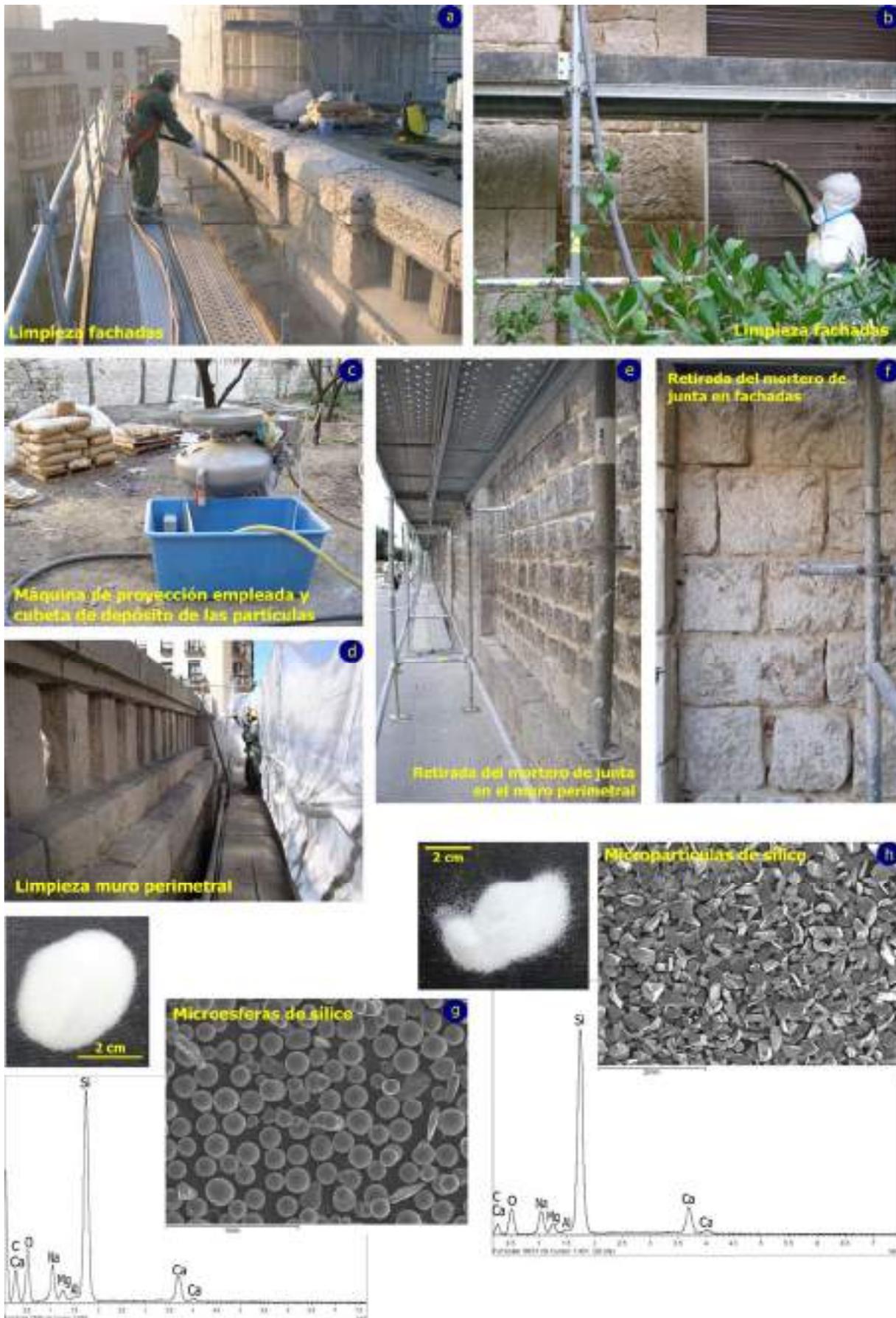
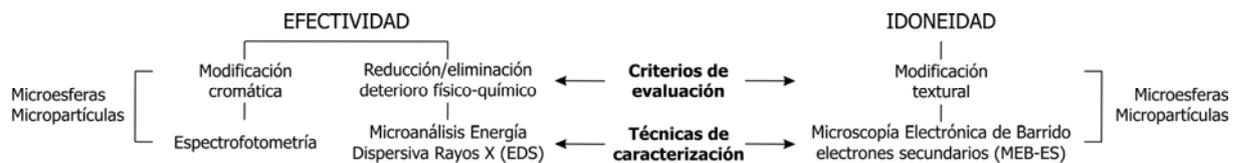


Fig.12.1. Limpieza mediante proyección de partículas en los paramentos del Antiguo Hospital entre 2006 y 2008. Diversos aspectos relativos al método de limpieza empleado, retirada de los morteros de junta antes de la limpieza y aspecto de *visu* y caracterización mediante MEB-EDS de las partículas proyectadas (microesferas y micropartículas de sílice).

12.2. OBJETIVOS

Una vez descrito el aspecto general que presentaban los paramentos tras su limpieza, el principal objetivo perseguido en el presente capítulo es evaluar la eficacia e idoneidad de la proyección de partículas de sílice en cuanto a la eliminación y/o reducción del deterioro físico-químico de la caliza y del deterioro estético de los paramentos que procuran, atendiendo especialmente a la acción y efectos que los dos tipos de partículas de sílice proyectadas (microesferas y micropartículas) otorgan en las superficies limpiadas. En el esquema inferior quedan sintetizados los criterios de evaluación y las técnicas de caracterización empleadas, muy similares a los seguidos en el capítulo anterior.

- Establecer la eficacia del método de limpieza empleado, en cuanto al grado de aproximación al nivel de limpieza requerido, midiendo con Espectrofotometría el parámetro cromático luminosidad de color (L^*) que ha experimentado la superficie de la caliza por efecto de la limpieza efectuada.
- Establecer el grado de eficacia del método también respecto a la reducción del deterioro físico-químico que ha procurado a la caliza, analizando la composición de las superficies limpiadas mediante EDS.
- Establecer la idoneidad del sistema de limpieza en cuanto a la modificación textural que los efectos de las micropartículas proyectadas han supuesto para el soporte pétreo, analizando la morfología de las superficies limpiadas mediante MEB en modo electrones secundarios.



Los resultados obtenidos tras la limpieza se analizan atendiendo a las diferencias que han tenido lugar en las superficies en donde antes de la limpieza la piedra mostraba una tonalidad clara ("zonas blancas") y en donde presentaba diverso grado de ensuciamiento ("zonas negras"). Tal y como se indicaba en el capítulo 8, en las "zonas blancas" la superficie de la piedra se percibía clara o se percibía su oscurecimiento (niveles de tolerancia estética A y B, respectivamente), y en "las zonas negras" el deterioro estético de la caliza se percibía como tal o resultaba intolerable (niveles de tolerancia estética C y D, respectivamente). Además de evaluar la efectividad e idoneidad del método empleado, el análisis de la modificación cromática, textural y composicional de la superficie de la caliza como consecuencia de su limpieza se efectúa también en base a su comparativa con la información aportada en los capítulos 8 y 9, especialmente en el epígrafe 9.4.3.

12.3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Tras la limpieza, las medidas de color y la toma de muestras para el examen de las superficies limpiadas mediante MEB-EDS se efectuaron en la portada de la iglesia, incluyendo el cuerpo central (fachada 1D_{R2}) y los dos laterales (fachadas 1D_{R1} y 1D_{R3}) así como cada uno de los niveles establecidos en la vertical. Se ha seleccionado esta fachada principalmente por su importancia en el conjunto del inmueble, por el elevado grado de ensuciamiento que mostraba antes de la limpieza y porque en la misma se incluyen paramentos limpiados con los dos tipos de partículas proyectadas. Para evaluar la efectividad del sistema empleado, por un lado se ha efectuado mediante Espectrofotometría la medición en la superficie de la caliza de la luminosidad de color (L^*), siguiendo la misma retícula establecida en el capítulo 8 (anexo A), incluyendo los puntos de medida tanto antiguas "zonas blancas" y "zonas negras" como zonas expuestas y zonas protegidas (anexo B). La medida de la luminosidad (L^*) se ha tomado *in situ* sobre la caliza, efectuando del mismo modo una medida por pieza y en planos verticales, modificando en caso necesario ligeramente el punto de medida de modo se midiera siempre sobre la variedad pétreo más ampliamente representada en los paramentos (crema-homogénea).

Por otro, para analizar la eliminación y/o reducción del deterioro físico-químico en la superficie de la caliza se han tomado pequeños fragmentos superficiales, igualmente en zonas donde antes de la limpieza la piedra mostraba tanto una tonalidad clara como diverso grado de ensuciamiento, pero sólo en superficies correspondientes a zonas expuestas (figura 12.2 y tabla 12.1). En las fachadas, limpiadas con microesferas, se han tomado 18 muestras (denominadas $L_{\mu esf}$) abarcando los niveles inferior (1), medio (2) y superior (3). En el caso de las micropartículas, se han tomado 8 muestras (denominadas $L_{\mu part}$) y se ha considerado el nivel basamento (0) de los cuerpos laterales de la portada de la iglesia (fachadas 1D_{R1} y 1D_{R3}), pues al formar parte del muro se ha limpiado con micropartículas de sílice. En los niveles inferior (1) y basamento (0) las muestras tomadas en las antiguas "zonas negras" se corresponden con superficies expuestas en donde, como se indicaba en el capítulo 9, los procesos de sulfatación y ensuciamiento resultan especialmente intensos (figuras 9.5. y 9.6). Para evaluar la idoneidad del sistema de limpieza en cuanto a la modificación textural de la superficie del soporte pétreo por efecto de la limpieza se refiere, se han considerado estas mismas 18 muestras.

Teniendo en cuenta que el valor de luminosidad alcanzado en la superficie de la caliza limpiada con las microesferas de sílice ensayadas en la evaluación previa era $L^* \approx 67$ (tabla 11.2) y que la luminosidad deseable a conseguir debía aproximarse a 74, el nivel de limpieza a alcanzar en las "zonas negras" requirió que las superficies mostraran al menos un valor de $L^* = 67$ tras la limpieza, resultando apropiado que este nivel mínimo de limpieza fuera superado. Se considera por tanto en este capítulo $L^*_0 = 67$ como valor de referencia y se define el parámetro ΔL^*_{nR} , correspondiente a la diferencia entre el valor de luminosidad en cada uno de los puntos de medida tras la limpieza y el valor de referencia establecido. Este parámetro ΔL^*_{nR} permite cuantificar la efectividad de la limpieza en tanto que los valores de luminosidad tras la limpieza superan ($\Delta L^*_{nR} > 0$) o no alcanzan ($\Delta L^*_{nR} < 0$) el valor mínimo requerido. Cuanto menor sea el valor absoluto del parámetro ΔL^*_{nR} más efectiva resulta la limpieza pues en mayor medida el nivel de limpieza conseguido se aproxima al requerido.

Las tablas incluidas en el anexo B presentan igualmente dos apartados. Por un lado, para cada uno de los puntos de medida se muestran los valores medidos *in situ* de luminosidad, antes (L^*_{nA} , tomados del anexo A) y después (L^*_{nD}) de la limpieza, el porcentaje del incremento en el valor de la luminosidad antes y después de la limpieza ($\% \Delta L^*_{nL}$) y el parámetro ΔL^*_{nR} . Por otro, en las tablas se indica también el tipo de exposición que presenta cada uno de los puntos y el nivel en altura donde se localizan. Estos parámetros permiten principalmente analizar los nuevos patrones de color que presenta un paramento como consecuencia de su limpieza, estableciendo su comparativa con los que mostraba antes de la limpieza (capítulo 8, anexo A).

Mediante Microscopía Electrónica de Barrido y microanálisis de Energía Dispersiva de Rayos X acoplado (MEB-EDS), se ha observado la superficie de los fragmentos tomados, analizando por un lado el grado de eliminación del deterioro físico, atendiendo a los niveles de aluminio (Al) y silicio (Si) principalmente, y químico, en función del nivel de azufre (S), mediante su comparativa con la presencia de estos tres elementos en la superficie de la caliza antes de la limpieza (figuras 9.5 y 9.6). Por otro, se ha examinado la modificación textural que se produce en la superficie del soporte pétreo por efecto de la limpieza, atendiendo a los diferentes cambios morfológicos que experimenta según el tipo de partícula de proyección empleada.

Un aspecto importante a tener en cuenta para evaluar los efectos y la acción de la limpieza es que las medidas de color y las muestras se tomaron justo después de la limpieza, antes que los andamios fueran retirados. Por otro lado, se considera que la información aportada a partir del análisis de la luminosidad medida y del estudio de las muestras tomadas tras la limpieza en la portada de la iglesia puede extrapolarse a la totalidad de los paramentos del Antiguo Hospital. Del mismo modo, los resultados obtenidos mediante MEB-EDS para las muestras tomadas de zonas expuestas en donde los procesos de sulfatación y ensuciamiento son importantes podrían extrapolarse a las protegidas, que no han sido muestreadas.

Tabla 12.1. Muestras tomadas para el análisis mediante MEB-EDS de la modificación textural y composicional de la superficie de la caliza tras su limpieza, con microesferas ($L_{\mu esf}$) y con micropartículas ($L_{\mu part}$).

| Estudio | Nº | Paramento | Localización | Nivel/subnivel |
|-----------------------------------------------------|--------------------|-----------|----------------------------------------------------|----------------|
| Limpieza con microesferas de sílice (18 muestras) | $L_{\mu esf_1}$ | Edificio | Cuerpo central portada iglesia (1D _{R2}) | Superior (3) |
| | $L_{\mu esf_2}$ | Edificio | Cuerpo central portada iglesia (1D _{R2}) | Superior (3) |
| | $L_{\mu esf_3}$ | Edificio | Cuerpo central portada iglesia (1D _{R2}) | Medio (2) |
| | $L_{\mu esf_4}$ | Edificio | Cuerpo central portada iglesia (1D _{R2}) | Medio (2) |
| | $L_{\mu esf_5}$ | Edificio | Cuerpo central portada iglesia (1D _{R2}) | Inferior (1) |
| | $L_{\mu esf_6}$ | Edificio | Cuerpo central portada iglesia (1D _{R2}) | Inferior (1) |
| | $L_{\mu esf_7}$ | Edificio | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R1}) | Superior (3) |
| | $L_{\mu esf_8}$ | Edificio | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R1}) | Superior (3) |
| | $L_{\mu esf_9}$ | Edificio | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R3}) | Superior (3) |
| | $L_{\mu esf_{10}}$ | Edificio | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R3}) | Superior (3) |
| | $L_{\mu esf_{11}}$ | Edificio | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R1}) | Medio (2) |
| | $L_{\mu esf_{12}}$ | Edificio | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R1}) | Medio (2) |
| | $L_{\mu esf_{13}}$ | Edificio | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R3}) | Medio (2) |
| | $L_{\mu esf_{14}}$ | Edificio | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R3}) | Medio (2) |
| | $L_{\mu esf_{15}}$ | Edificio | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R1}) | Inferior (1) |
| | $L_{\mu esf_{16}}$ | Edificio | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R1}) | Inferior (1) |
| | $L_{\mu esf_{17}}$ | Edificio | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R3}) | Inferior (1) |
| | $L_{\mu esf_{18}}$ | Edificio | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R3}) | Inferior (1) |
| Limpieza con micropartículas de sílice (8 muestras) | $L_{\mu part_1}$ | Muro | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R1}) | Basamento (0) |
| | $L_{\mu part_2}$ | Muro | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R1}) | Basamento (0) |
| | $L_{\mu part_3}$ | Muro | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R3}) | Basamento (0) |
| | $L_{\mu part_4}$ | Muro | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R3}) | Basamento (0) |
| | $L_{\mu part_5}$ | Muro | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R1}) | Basamento (0) |
| | $L_{\mu part_6}$ | Muro | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R1}) | Basamento (0) |
| | $L_{\mu part_7}$ | Muro | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R3}) | Basamento (0) |
| | $L_{\mu part_8}$ | Muro | Cuerpo lateral portada iglesia (1D _{R3}) | Basamento (0) |

En naranja, muestras tomadas en superficies correspondientes a "zonas blancas" antes de la limpieza y en marrón, muestras tomadas en superficies donde antes de la limpieza la piedra mostraba diverso grado de ensuciamiento o "zonas negras".

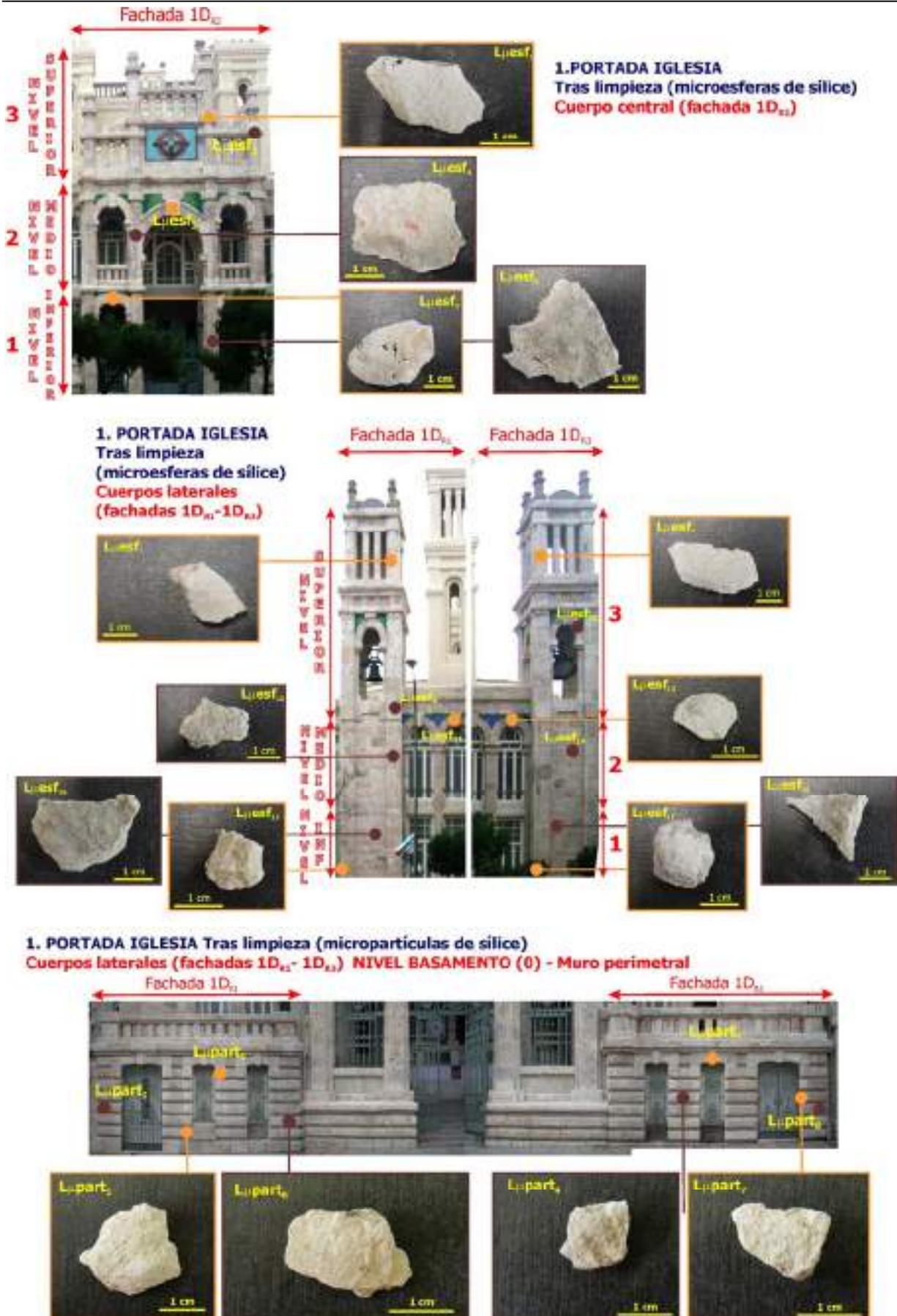


Fig.12.2. Localización y aspecto *de visu* de las muestras tomadas en las zonas expuestas de la portada de la iglesia /fachadas (1D_{R1}-1D_{R2}-1D_{R3}) tras la limpieza.

Muestras tomadas en superficies que antes de la limpieza se correspondían con "zonas blancas" indicadas en naranja, con "zonas negras" en marrón. Muestras tomadas en superficies limpiadas con microesferas (L_{μesf}) y con micropartículas (L_{μpart}).

12.4. RESULTADOS

12.4.1. Aspecto de los paramentos tras la limpieza de la piedra caliza

Los paramentos muestran en general una importante homogeneidad en cuanto a la distribución de color se refiere² (figuras 12.3 y 12.4), si bien en las zonas anteriormente oscurecidas puede observarse en numerosas ocasiones a las diferentes variedades de caliza empleadas (capítulo 4), aspecto que otorga cierta variabilidad cromática a los paramentos. En algunos paramentos se puede atender a la distribución de color que presentaban antes de la limpieza, reconociéndose las anteriores "zonas blancas", con una tonalidad muy similar, y las antiguas "zonas negras", limpias pero no tan blancas (comparar figuras 12.3.a-12.3.b, 12.3.e-12.3.f y 12.4.g-12.4.h). La limpieza ha retirado también el biofilm desarrollado en la superficie de algunos elementos pétreos del nivel superior (3), en fachadas (comparar figura 12.3.i con 12.3.j.) y en el muro (comparar figura 12.4.i con 3.8.i).



Fig.12.3. Comparativa en la distribución o patrones de color antes (2006) y después (2008) de la limpieza.

² La tonalidad y forma de aplicación del nuevo mortero de junta puesto en obra (epígrafe 2.2.6) participan también de este aspecto homogéneo.

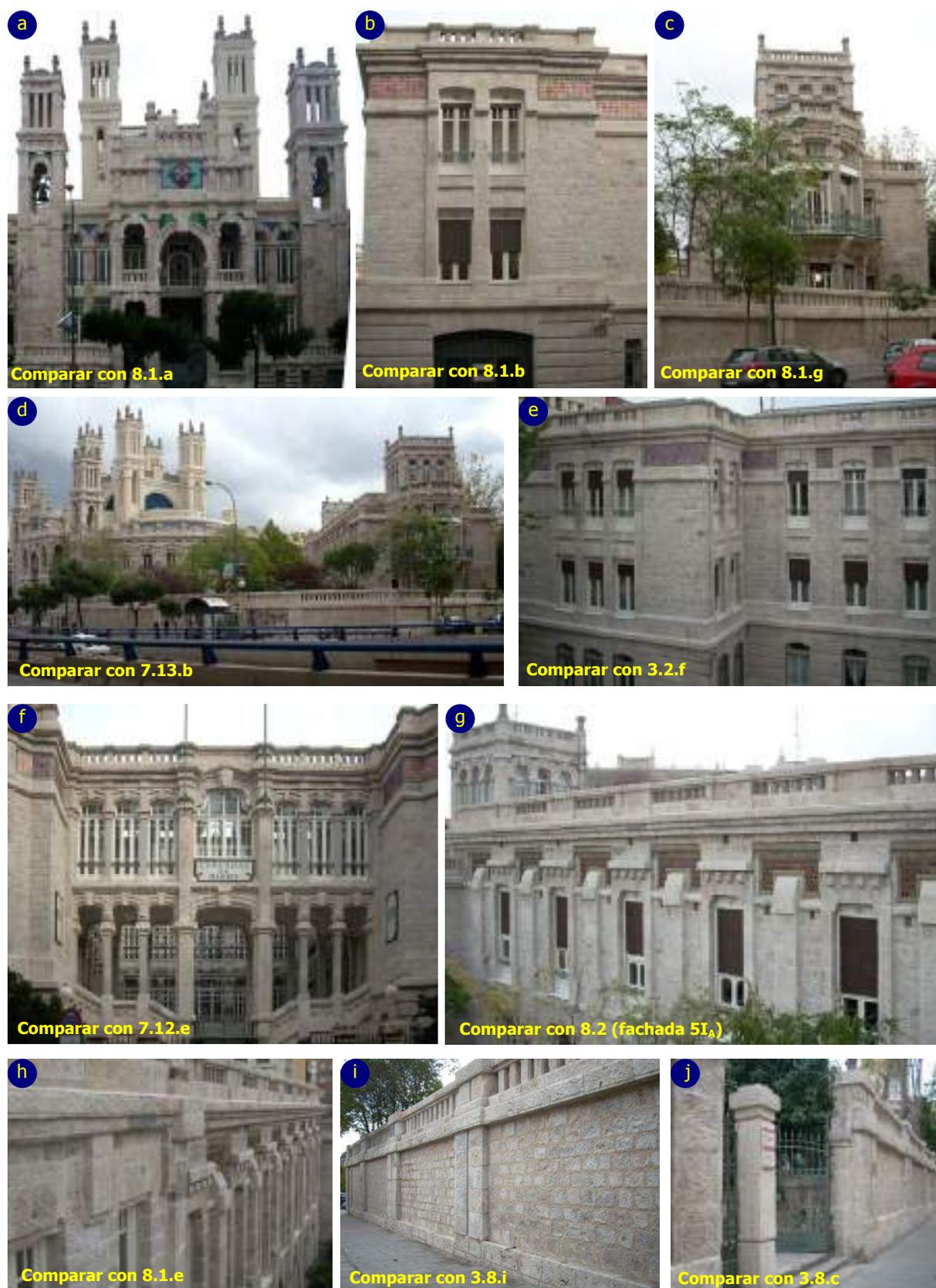


Fig.12.4. Aspecto de los paramentos del Antiguo Hospital tras su limpieza (año 2008).

El aspecto que mostraban estos mismos paramentos antes de la limpieza puede observarse en las figuras 3.2, 3.8, 8.1, 8.2, 7.12 y 7.13.

12.4.2. Eficacia del sistema de limpieza: grado de eliminación del deterioro estético

En la tabla 12.2 se recogen los valores medios de luminosidad antes ($\bar{X}L^*_{nA}$) y después ($\bar{X}L^*_{nD}$) de la limpieza así como del porcentaje del incremento ($\bar{X}\Delta L^*_{nL}\%$), en el cuerpo central ($1D_{R2}$) y cuerpos laterales separadamente ($1D_{R1}$ y $1D_{R3}$) de la portada de la iglesia. En la parte superior de la tabla se atiende a cada uno de los niveles establecidos en la vertical y en la parte inferior a la totalidad de cada uno de los tres cuerpos, indicándose también la desviación estándar de la luminosidad antes y después de la limpieza (datos tomados a partir de las medidas mostradas en las tablas del anexo B).

Atendiendo a cada uno de los niveles en los tres cuerpos, los valores medios de luminosidad tras la limpieza oscilan entre 66 y 71. El aumento de la luminosidad resulta en general menor en el nivel superior (3) ($\bar{X}\Delta L^*_{nL} < 24\%$), pues antes de la limpieza este nivel mostraba los valores de luminosidad más elevados ($\bar{X}L^*_{nA} > 58$). Por otro lado, el aumento de la luminosidad en el nivel inferior (1) resulta significativamente mayor para el cuerpo central que en los laterales ($\bar{X}\Delta L^*_{nL} \approx 40\%$ frente a $< 27\%$), porque la luminosidad de partida era inferior en este cuerpo central ($\bar{X}L^*_{nA} = 48,26$). En el nivel basamento (0), el aumento de la luminosidad resulta considerablemente inferior en el cuerpo central que en los laterales ($\bar{X}\Delta L^*_{nL} \approx 21\%$ frente a $> 37\%$), teniendo en cuenta igualmente que la luminosidad antes de la limpieza era significativamente mayor en el cuerpo central ($\bar{X}L^*_{nA} = 57,29$).

Los valores mostrados en la parte inferior de la tabla permiten atender por un lado al aumento general de la luminosidad en la superficie de la piedra tras la limpieza para cada uno de los tres cuerpos de la iglesia, resultando la media de luminosidad total bastante similar ($\bar{X}L^*_{nD} \approx 67 - 68$) y suponiendo un porcentaje de aumento respecto al que mostraban antes de la limpieza entre el 25-29%. Por otro, se observa el importante descenso en cuanto a los valores de la desviación estándar se refiere, en más de la mitad para el cuerpo central (de 10,87 a 4,26) y casi una tercera parte para los cuerpos laterales (de ≈ 11 a ≈ 4).

Tabla 12.2. Media de L^* antes y después de la limpieza ($\bar{X}L^*_{nA}$ y $\bar{X}L^*_{nD}$) y de su incremento ($\bar{X}\Delta L^*_{nL}\%$) en los cuerpos central y laterales de la portada de la iglesia para los niveles establecidos en la vertical. Parte inferior, valores medios y desviación estándar de la totalidad de cada uno de los tres cuerpos.

| | Cuerpo central ($1D_{R2}$) | | | Cuerpo lateral ($1D_{R1}$) | | | Cuerpo lateral ($1D_{R3}$) | | | |
|---------------------------|------------------------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------|
| | $\bar{X}L^*_{nA}$ | $\bar{X}L^*_{nD}$ | $\bar{X}\Delta L^*_{nL}\%$ | $\bar{X}L^*_{nA}$ | $\bar{X}L^*_{nD}$ | $\bar{X}\Delta L^*_{nL}\%$ | $\bar{X}L^*_{nA}$ | $\bar{X}L^*_{nD}$ | $\bar{X}\Delta L^*_{nL}\%$ | |
| Basamento(0) ¹ | 57,29 | 67,79 | 20,61 | 43,43 | 65,74 | 51,78 | 48,31 | 66,39 | 37,96 | |
| Inferior (1) | 48,26 | 66,68 | 39,94 | 56,35 | 66,34 | 19,00 | 54,15 | 67,33 | 26,80 | |
| Medio (2) | 51,84 | 67,73 | 34,03 | 55,28 | 68,55 | 27,47 | 51,25 | 66,81 | 35,83 | |
| Superior (3) | 63,82 | 71,04 | 13,22 | 61,39 | 70,09 | 16,11 | 58,45 | 69,56 | 23,67 | |
| TOTAL | Media | 56,17 | 68,70 | 25,87 | 56,75 | 68,55 | 24,58 | 54,75 | 68,15 | 29,18 |
| | Std | 10,87 | 4,26 | - | 10,57 | 3,76 | - | 11,24 | 3,75 | - |

¹Paramentos limpiados con micropartículas de sílice en los cuerpos laterales.

Los valores medios de luminosidad tras la limpieza recogidos en la tabla 12.2 se muestran en la figura 12.5, considerando los cuerpos laterales de forma conjunta y representando además la desviación estándar mediante barras de error, para las zonas expuestas (en azul) y protegidas (en rojo), tal y como se mostraba en la figura 8.5 para antes de la limpieza, en esta ocasión sólo para la portada de la iglesia. Comparando con los valores correspondientes a la distribución de color antes de la limpieza (figura 8.5), se observa el aumento generalizado de la luminosidad, especialmente en los niveles basamento (0) e inferior (1); la homogeneización de los valores entre zonas expuestas y protegidas, tanto separadamente como de forma conjunta, resultando igualmente en las zonas protegidas valores de luminosidad inferiores. Por otro, el grado de dispersión en los valores ha disminuido significativamente, mostrando todavía las zonas expuestas del cuerpo central (1D_{R2}) cierta dispersión.

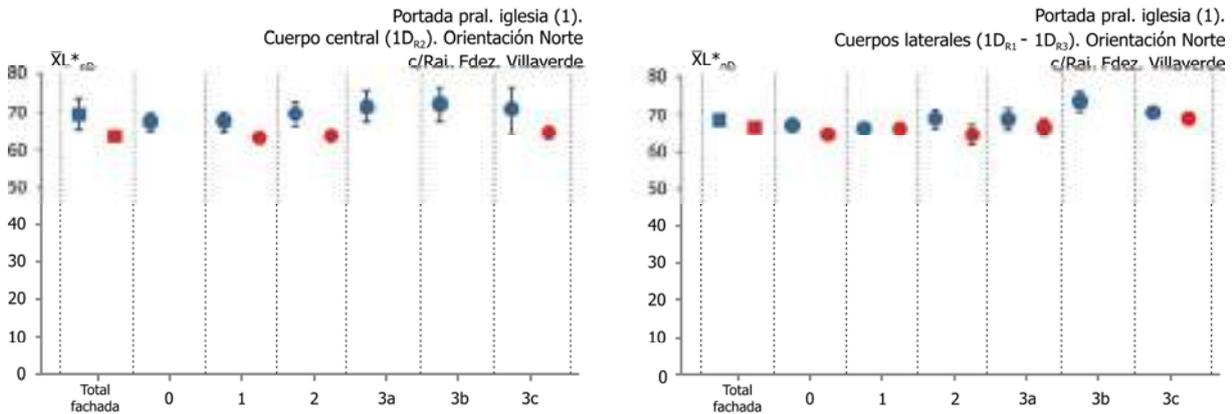


Fig. 12.5. $\bar{X}L^*_{nd}$ y $stdL^*_{nd}$ para el cuerpo central (1D_{R1}) y laterales (1D_{R1} - 1D_{R3}) de la portada de la iglesia.

En azul zonas expuestas y en rojo las protegidas. El valor total, atendiendo a todos los niveles, se representa con un cuadrado y mediante círculos para cada uno de los niveles establecidos en la vertical.

En los diagramas de barras de la figura 12.6 (resultantes igualmente a partir de los valores mostrados en las tablas del anexo B), se observa que antes de la limpieza la práctica totalidad de los valores de luminosidad medidos se reparten entre [40-80], mostrando los intervalos [40-50] y [50-60] similar distribución. Después de la limpieza, los valores se localizan en el intervalo [60-80], resultando mucho más significativo la cantidad de valores comprendidos en el intervalo [60-70].

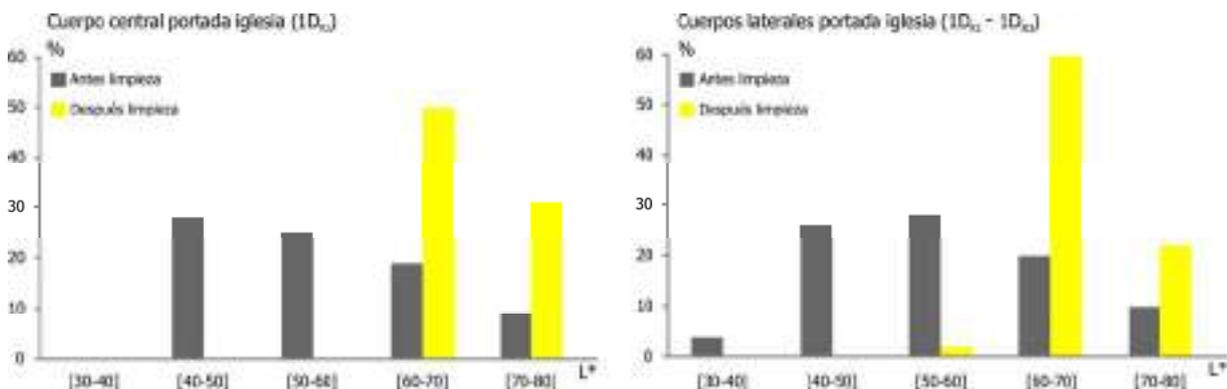


Fig.12.6. Agrupación en porcentaje de los valores de luminosidad medidos antes (marrón, año 2006) y después (naranja, año 2008) de la limpieza en el cuerpo central (1D_{R2}) y laterales (1D_{R1}-1D_{R3}) de la portada de la iglesia.

Puesto que para el nivel de limpieza a alcanzar se estableció un valor de $L^* = 67$ como el mínimo que debían presentar las superficies limpiadas, en la tabla 12.3 se recogen los valores medios de luminosidad en el cuerpo central (1D_{R2}) y conjuntamente los dos laterales (1D_{R1} - 1D_{R3}), antes y después de la limpieza ($\bar{X}L^*_{nA}$ y $\bar{X}L^*_{nD}$) y el porcentaje de aumento de la luminosidad tras la limpieza ΔL^*_{nL} (%), atendiendo a todos los puntos de medida que mostraban antes de la limpieza un valor de $L^* > 67$, en su práctica totalidad correspondientes a zonas expuestas, así como a las zonas expuestas y protegidas que antes de la limpieza presentaban valores de $L^* < 67$ (datos tomados de los anexos A y B).

Atendiendo de forma individual a estas tres asociaciones establecidas en el total de la portada, en el cuerpo central y en los dos laterales, se observa que tras la limpieza su valor medio de luminosidad resulta muy similar. Esto es, las zonas que antes de la limpieza presentaban un valor de $L^* > 67$ muestran un valor $\bar{X}L^*_{nD} \approx 73$, zonas protegidas con un valor de $L^* < 67$ un valor $\bar{X}L^*_{nD} \approx 64-65$ y zonas expuestas con un valor de $L^* < 67$ un valor $\bar{X}L^*_{nD} \approx 68$. Las zonas que mostraban antes de la limpieza valores de $L^* > 67$ experimentan los menores incrementos en lja luminosidad (ΔL^*_{nL} entre 2-3%). Respecto a las zonas con valores de $L^* < 67$ antes de la limpieza, las protegidas han visto considerablemente aumentada su luminosidad, mostrando además el porcentaje de aumento una importante variabilidad (ΔL^*_{nL} desde aproximadamente 30 al 45%), y en las expuestas la luminosidad tras la limpieza ha aumentado en torno a un 30%.

Tabla 12.3. Valores medios de L^* antes y después de la limpieza ($\bar{X}L^*_{nA}$ y $\bar{X}L^*_{nD}$) y porcentaje de su incremento (ΔL^*_{nL} %) en la portada de la iglesia atendiendo al valor mínimo de luminosidad requerido ($L^*_0 = 67$).

| | | Antes limpieza | $\bar{X}L^*_{nA}$ | $\bar{X}L^*_{nD}$ | ΔL^*_{nL} (%) |
|---------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| TOTAL PORTADA | $L^* > 67$ | | 71,61 | 73,25 | 2,32 |
| | Protegidas $L^* < 67$ | | 48,35 | 64,82 | 36,91 |
| | Expuestas $L^* < 67$ | | 53,35 | 68,39 | 30,79 |
| Cuerpo central (1D _{R2}) | $L^* > 67$ | | 71,62 | 73,00 | 1,96 |
| | Protegidas $L^* < 67$ | | 44,52 | 63,97 | 44,83 |
| | Expuestas $L^* < 67$ | | 54,37 | 68,65 | 28,36 |
| Cuerpos laterales (1D _{R1} -1D _{R3}) | $L^* > 67$ | | 71,60 | 73,50 | 2,68 |
| | Protegidas $L^* < 67$ | | 52,18 | 65,67 | 28,99 |
| | Expuestas $L^* < 67$ | | 52,32 | 68,13 | 33,23 |

En la tabla 12.4 se representa el valor medio del parámetro ΔL^*_{nR} resultante para la totalidad de la portada, para el cuerpo central (1D_{R2}) y para cada uno de los dos cuerpos laterales (1D_{R1} y 1D_{R3}), atendiendo de forma separada a la todos los valores de en cada uno de los tres cuerpos (ΔL^*_{nR}), a los que presentan un valor positivo ($\Delta L^*_{nR} > 0$) y a los que presentan un valor negativo ($\Delta L^*_{nR} < 0$). Puesto que este parámetro representa la distancia de la luminosidad de la piedra después de la limpieza respecto al valor mínimo establecido, los valores medios resultantes permiten establecer que esta diferencia es mayor en los puntos de medida donde el parámetro ΔL^*_{nR} resulta positivo (3,88) y menor para los que muestran valores negativo (-2,35), compensándose ambos valores si se considera la luminosidad que presenta la piedra limpia en la totalidad de los puntos de medida (1,52). En las tablas mostradas en el anexo B, se observa que el parámetro ΔL^*_{nR} es negativo en general en las zonas protegidas de los niveles basamento (0), inferior (1) y medio (2), resultando también negativo en algunos puntos localizados en zonas expuestas, especialmente en los niveles basamento (0) e inferior (1).

A partir de los valores de desviación estándar del parámetro ΔL^*_{nR} resultantes en la totalidad de la portada, se observa que tras la limpieza los valores de luminosidad presentan menor dispersión atendiendo a los puntos en donde el parámetro ΔL^*_{nR} ha resultado negativo (Std = 1,84).

Tabla 12.4. Media y desviación estándar de ΔL^*_{nR} en la portada, cuerpos central y laterales, atendiendo separadamente a $\Delta L^*_{nR} > 0$ y $\Delta L^*_{nR} < 0$.

| ΔL^*_{nR} | | Cuerpo central (1D _{R2}) | Cuerpo lateral (1D _{R1}) | Cuerpo lateral (1D _{R3}) | Total portada |
|---------------------------------------|--------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------|
| ΔL^*_{nR} (todos los valores) | nº (%) | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Media | 1,7 | 1,55 | 1,15 | 1,52 |
| | Std | 4,26 | 3,76 | 3,75 | 3,99 |
| $\Delta L^*_{nR} > 0$ | nº (%) | 64 | 56,82 | 63,64 | 62,13 |
| | Media | 4,15 | 3,95 | 3,3 | 3,88 |
| | Std | 3,07 | 3,24 | 2,49 | 2,97 |
| $\Delta L^*_{nR} < 0$ | nº (%) | 36 | 43,18 | 36,36 | 37,87 |
| | Media | -2,79 | -1,61 | -2,61 | -2,35 |
| | Std | 1,8 | 1,1 | 2,33 | 1,84 |

nº (%): porcentaje de medidas o de puntos de medida considerados para cada una de las tres separaciones establecidas.

12.4.3. Eficacia e idoneidad del sistema de limpieza: reducción del deterioro físico-químico y modificación textural en la superficie del soporte pétreo

En las figuras 12.7 y 12.8 se muestran los resultados obtenidos tras analizar mediante MEB-EDS las muestras tomadas una vez finalizadas las operaciones de limpieza en los niveles inferior (1), medio (2) y superior (3) del cuerpo central ($1D_{R2}$) y laterales ($1D_{R1}$ y $1D_{R3}$) de la portada de la iglesia (comparar con figuras 9.5 y 9.6, zonas expuestas), tanto en las zonas que antes de la limpieza mostraban una tonalidad clara (recuadros en naranja) como en las superficies que la piedra estaba oscurecida (recuadros en marrón).

Para los paramentos de fachada, limpiados con microesferas de sílice, atendiendo a las "zonas blancas", las superficies presentan un aspecto muy similar en los niveles superior (3) y medio (2) del cuerpo central de la iglesia, observándose vestigios de disolución en los cristales de calcita (figuras 12.7.a y 12.7.d), y en los cuerpos laterales las superficies muestran menor grado de disgregación (figuras 12.8.a, 12.8.c, 12.8.e y 12.8.h). En el nivel inferior (1) las superficies muestran un aspecto en general homogéneo y compacto (figuras 12.7.g y 12.8.n). Los espectros EDS correspondientes a estas "zonas blancas" tras la limpieza de las superficies revelan la práctica ausencia de azufre (S) y aluminio (Al), así como una escasa presencia de silicio (Si).

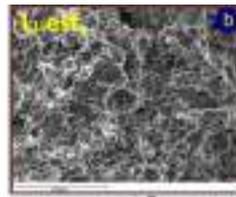
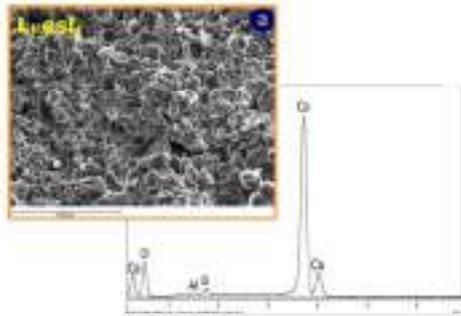
Continuando con los paramentos de fachada, respecto a las muestras tomadas de las antiguas "zonas negras", en los niveles superior (3) y medio (2) las superficies muestran en general cierto grado de cohesión y no se observan rasgos de disolución (figuras 12.7.b, 12.7.e, 12.8.d, 12.8.f y 12.8.i). Los espectros EDS señalan la ausencia casi total de azufre (S) y una escasa presencia de aluminio (Al) y silicio (Si), algo más significativa en el nivel medio (2). En el nivel inferior, resulta significativa la presencia de cristales observados en las muestras tomadas en los cuerpos laterales, posiblemente de yeso a partir de los niveles de azufre (S) detectados (figuras 12.8.l y 12.8.o). La presencia de azufre (S) resultan igualmente notoria en la superficie de la muestra tomada del cuerpo central, aunque no se observen morfologías cristalinas (figura 12.7.h). En este nivel inferior la presencia de aluminio (Al) y silicio (Si) resulta algo más significativa que en los niveles superior y medio.

Por otro lado, en los espectros EDS de algunas muestras tomadas en las "zonas blancas" de los niveles inferiores se ha identificado la presencia de cloro (Cl), sodio (Na) y/o potasio (K)³. Además, mientras que en las muestras tomadas de estas "zonas blancas" no se ha observado esfera de contaminación alguna, en aquellas tomadas de las zonas en donde antes de la limpieza la piedra mostraba diverso grado de ensuciamiento, salvo en el nivel superior de los cuerpos laterales, se han identificado esferas de contaminación, principalmente de silicio (Si) y aluminio (Al) (figuras 12.7.f, 12.7.i, 12.8.j, 12.8.m y 12.8.p).

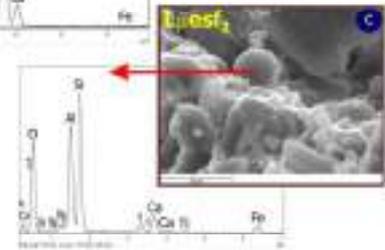
Atendiendo a las muestras tomadas del nivel basamento de los cuerpos laterales de la iglesia ($1D_{R1}$ y $1D_{R3}$), correspondiente al muro perimetral y limpiadas por tanto con micropartículas de sílice, los resultados son mostrados en la figura 12.9. Para las "zonas blancas", en la superficie de la piedra puede observarse en general a los cristales de calcita (figuras 12.9.b y 12.9.d), que en ocasiones presentan morfologías angulosas y vestigios de erosión (figuras 12.9.f y 12.9.g). Los espectros obtenidos revelan la ausencia total de azufre (S), silicio (Si) y aluminio (Al). En las muestras tomadas de zonas que antes de la limpieza mostraban un importante grado de ensuciamiento, se observan abundantes cristales de calcita, presentando las superficies en ocasiones cierta disgregación (figuras 12.9.c y 12.9.e) y en otras un buen estado de cohesión (figuras 12.9.h y 12.9.i). Los espectros señalan la escasa o muy puntual presencia de azufre (S), silicio (Si) y/o aluminio (Al) en las superficies analizadas y no se han observado esferas de contaminación.

³ A la hora de considerar los elementos químicos identificados, además de la composición de los depósitos superficiales (figura 9.4), debe tenerse en cuenta la composición de la caliza (que puntualmente contiene cuarzo, figura 4.19.a), la de las micropartículas proyectadas (Si y Ca principalmente y en menor medida Na, Mg y Al, figura 12.1.g y 12.1.h) así como la del agua empleada (K y Cl, tabla 11.3).

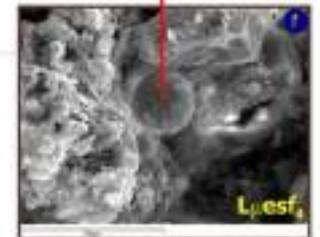
1. PORTADA IGLESIA
Tras limpieza (microesferas de sílice)
Cuerpo central (fachada 1D_{R2})



Nivel superior (3)



Nivel medio (2)



Nivel inferior (1)

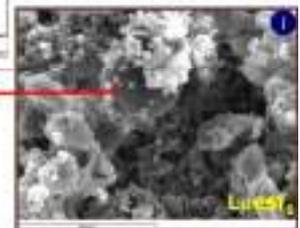
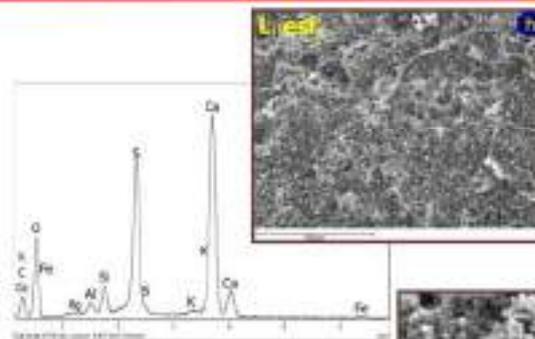


Fig.12.7. Imágenes obtenidas con MEB-ES y microanálisis EDS de las muestras tomadas en el cuerpo lateral de la portada de la iglesia (1D_{R2}) tras la limpieza de sus paramentos con microesferas de sílice.

Muestras tomadas de "zonas blancas" antes de la limpieza (en naranja) y de zonas donde la superficie de la piedra mostraba diverso grado de ensuciamiento (en marrón).

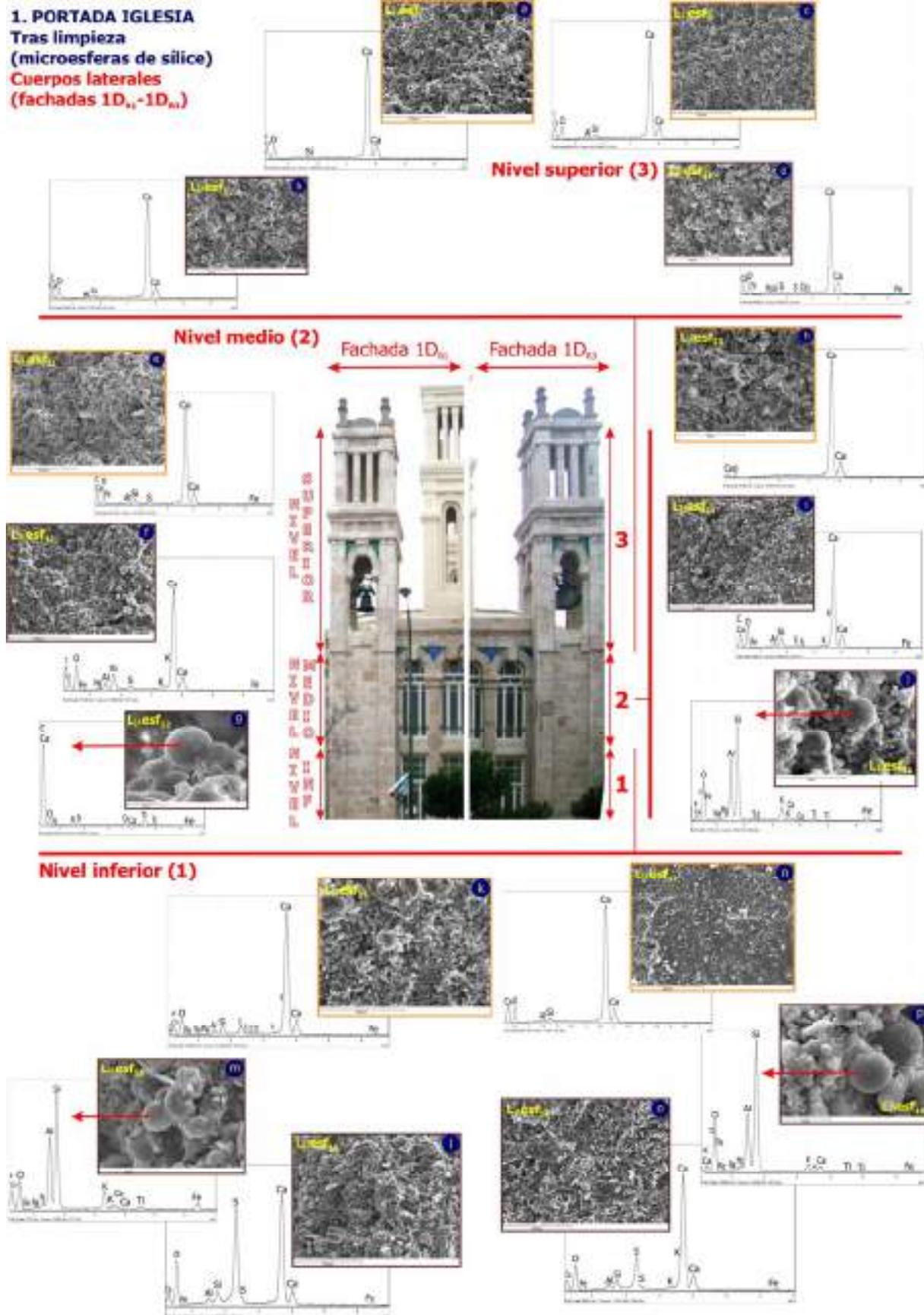


Fig.12.8. Imágenes obtenidas con MEB-ES y microanálisis EDS de las muestras tomadas en los cuerpos laterales de la portada de la iglesia (1D_{R1} y 1D_{R3}) tras la limpieza de sus paramentos con microesferas de sílice.

Muestras tomadas de "zonas blancas" antes de la limpieza (en naranja) y de zonas donde la superficie de la piedra mostraba diverso grado de ensuciamiento (en marrón).

1. PORTADA IGLESIA

Tras limpieza (micropartículas de sílice)

Cuerpos laterales (fachadas 1D_{R1}- 1D_{R3})

NIVEL BASAMENTO (0) - Muro perimetral

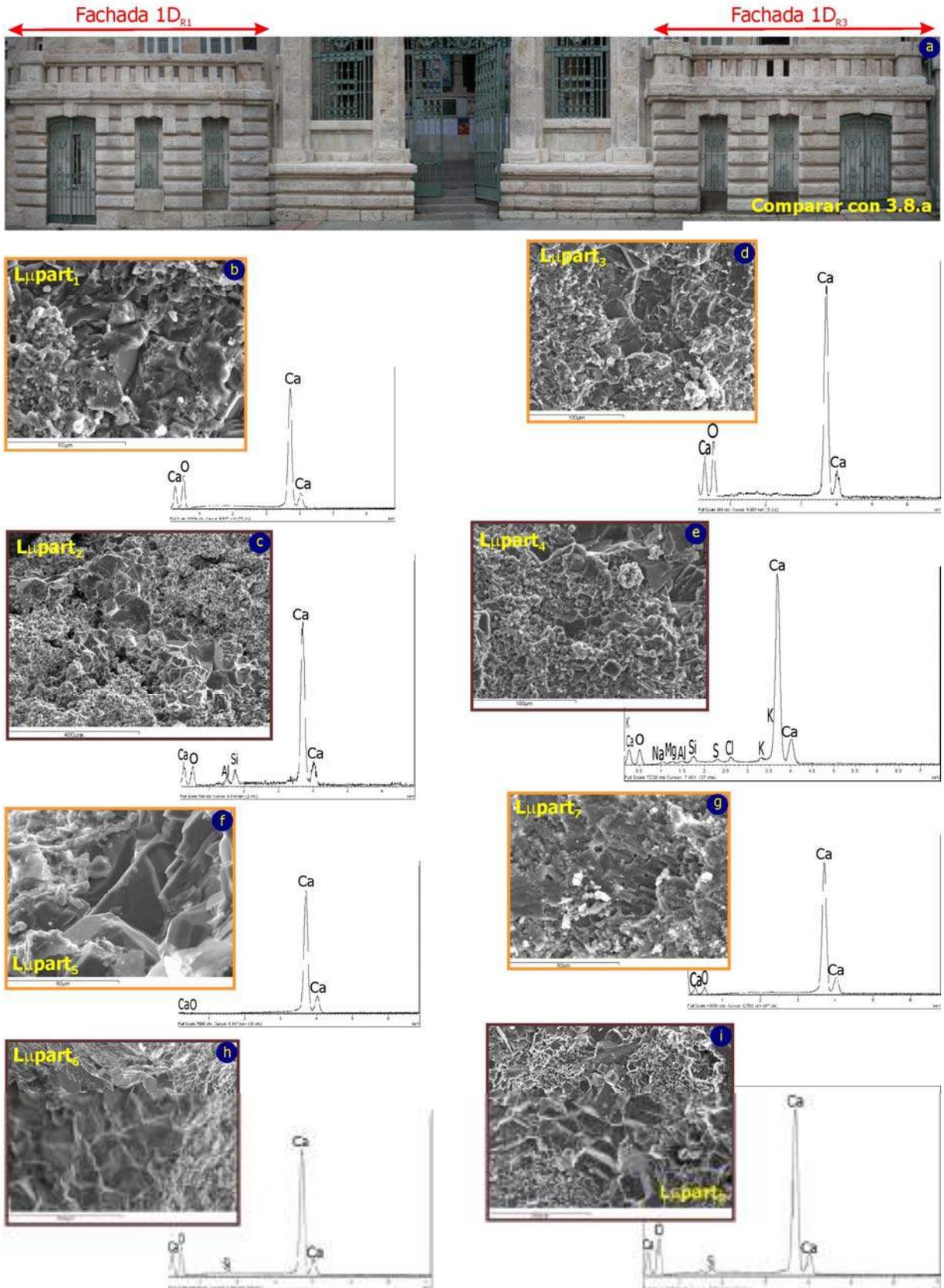


Fig.12.9. Imágenes obtenidas con MEB-ES y microanálisis EDS de las muestras tomadas en el nivel basamento de los cuerpos laterales de la portada de la iglesia (1D_{R1} y 1D_{R3}) tras su limpieza con micropartículas de sílice.

Muestras tomadas de "zonas blancas" antes de la limpieza (en naranja) y de zonas donde la superficie de la piedra mostraba diverso grado de ensuciamiento (en marrón).

12.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con la retirada de los depósitos superficiales responsables del ensuciamiento, la limpieza ha eliminado la práctica totalidad del deterioro físico de la caliza, redundando directamente en la mejora del impacto visual del inmueble al reducirse significativamente el deterioro estético de los paramentos. La limpieza ha reducido en general también el grado de sulfatación en la superficie de la piedra, salvo en las zonas de las fachadas donde los procesos de sulfatación resultan especialmente intensos. Se considera por tanto que la proyección de partículas (microesferas y micropartículas) supone un método significativamente eficaz en tanto que ha procurado la reducción del deterioro físico-químico de la caliza y la mejora considerable de la apariencia estética de los paramentos, resultando el empleo de microesferas especialmente idóneo en la medida que apenas provocan efectos secundarios en la superficie de la piedra que con el tiempo favorezcan su deterioro.

Al emplearse un sistema de limpieza cuya acción es principalmente física, las superficies limpiadas han experimentado principalmente una modificación física, resultando su variación cromática y textural los principales efectos de la limpieza y la variación composicional una consecuencia de estos efectos físicos. Efectivamente, el nivel medio de limpieza alcanzado ($\bar{X}L^*_{nD} \approx 68-69$, tabla 12.2.), debido a la retirada de los depósitos responsables del ensuciamiento, ha implicado estas modificaciones superficiales, siendo el aumento de la luminosidad especialmente significativo en las zonas que antes de la limpieza estaban oscuras (superficies en donde la piedra mostraba un grado de tolerancia estética C o D) y afectando las modificaciones texturales y composicionales en mayor o menor medida a la totalidad de las superficies limpiadas.

La mejora de la apariencia estética del inmueble proporciona una nueva distribución de color en los paramentos, marcada principalmente por la disminución de los contrastes cromáticos existentes antes de la limpieza, de ahí la importante homogeneidad de color resultante tras la limpieza, confirmada a partir de los nuevos valores de luminosidad. Como las superficies limpiadas no han alcanzado la luminosidad que presentan las superficies lavadas de forma natural por el agua de lluvia, como era de esperar y desear pues un exceso de blancura podría resultar estéticamente contraproducente (Grossi y Brimblecombe 2008), en algunas zonas se siguen reconociendo los patrones de color existentes antes de a la limpieza. Es en las antiguas "zonas negras" donde la piedra muestra una tonalidad similar a la de las superficie tomada de referencia en el capítulo 8 ($L^*_0 = 74$), percibiéndose las superficies claras pero sin mostrar un intenso blanqueamiento. Por otro lado, que en las anteriores "zonas blancas" las superficies sigan resultando "igual de blancas", refleja la irreversibilidad en cuanto a la modificación cromática se refiere que suponen los procesos de carbonatación y/o sulfatación superficial (estos últimos en ausencia de partículas).

Atendiendo a la totalidad de la portada de la iglesia (parte inferior en la tabla 12.2), la limpieza efectuada ha posibilitado un aumento en el valor de la luminosidad superior al 25%, superando casi en dos puntos el mínimo nivel de limpieza requerido ($\bar{X}L^*_{nD} \approx 68-70$ frente a $L^*_0 = 67$). Como tras la limpieza los paramentos muestran una distribución de color más homogénea, la dispersión de los valores de luminosidad se ha reducido en más de la mitad (tabla 12.2), distribuyéndose en sólo dos intervalos (L^* entre 60-70 y L^* entre 70-80, figura 12.6). Esta homogeneización en los patrones de color resulta más significativa para las zonas expuestas, especialmente en los niveles inferiores, y las zonas protegidas siguen mostrando menor valor de luminosidad así como mayor homogeneidad cromática que las expuestas (figura 12.5), como sucedía antes de la limpieza.

Aunque en las zonas protegidas que antes de la limpieza mostraban un valor de $L^* < 67$ el valor mínimo de limpieza no ha sido alcanzado ($\bar{X}L^*_{nD} = 64,82$; tabla 12.3), se considera que el método ha resultado igualmente efectivo, pues el grado de ensuciamiento en estas zonas era muy significativo ($\bar{X}L^*_{nA} = 48,35$), pasando de presentar un grado de tolerancia estética D a un grado B_2 (L^* entre 64-65).

Si bien el aumento de la luminosidad resulta en general mayor en las zonas protegidas, pues antes de la limpieza presentaban los menores valores de luminosidad, que los valores medios de luminosidad alcanzados en estas zonas sean inferiores a los de las zonas expuestas señalaría que posiblemente el método de limpieza ha resultado menos eficaz en las zonas protegidas, debido principalmente a la mayor acumulación de depósitos superficiales que presentan y resultando por tanto más difícil su eliminación.

Se establece que la limpieza ha resultado en general cuantitativamente efectiva, en tanto que para el total de la portada de la iglesia (tabla 12.4) el 62% de los puntos de medida muestran un $\Delta L^*_{nR} > 0$ y el 38% un $\Delta L^*_{nR} < 0$. Ciertamente, hubiera sido preferible que este porcentaje del 38% resultara inferior, si bien debe tenerse en cuenta que la mayoría de los puntos en donde el parámetro ΔL^*_{nR} ha resultado negativo se localizan en zonas que mostraban un grado de ensuciamiento especialmente intenso (protegidas y/o niveles inferiores, con grado de tolerancia estética D, $L^* < 55$) y que el $\bar{\Delta} L^*_{nR} < 0$ se aleja sólo 2,35 puntos del nivel de luminosidad requerido. De este modo, que se compense el valor $\bar{\Delta} L^*_{nR} > 0$ (3,88) con $\bar{\Delta} L^*_{nR} < 0$ (-2,35) y resulte un valor $\bar{\Delta} L^*_{nR} = 1,52$ para el total de la portada, refleja que el nivel de limpieza conseguido ha superado el mínimo requerido. Que los valores de luminosidad presenten menor dispersión en los puntos donde el parámetro ΔL^*_{nR} ha resultado negativo ($Std = 1,84$) señala tras la limpieza las "zonas negras" muestran mayor homogeneidad cromática que las "zonas expuestas", al igual sucedía antes de la limpieza.

Al alcanzarse tras la limpieza un valor medio de $\bar{X} L^*_{nD} \approx 68-69$, se establece que en la portada de la iglesia la caliza muestra en general un grado de tolerancia A (L^* entre 68-74). Como, el grado de limpieza finalmente alcanzado supera ligeramente los valores de la interfase establecida entre los grados de tolerancia A y B ($L^* \approx 67-68$, capítulo 11), se considera muy adecuado el nivel de limpieza procurado a la piedra tras la limpieza. De este modo, las superficies se perciben claras, superándose el nivel mínimo de limpieza requerido sin mostrar la piedra blanqueamiento alguno por efecto de la limpieza efectuada.

El tipo de partículas proyectadas y el grado de acumulación de los depósitos superficiales responsables del ensuciamiento son los aspectos que principalmente han condicionado la modificación textural en la superficie de la piedra. De este modo, la proyección de microesferas permite alcanzar similares valores de luminosidad ante diversos grados de ensuciamiento (tabla 12.2), resultando al menos una $\bar{X} L^* > 66$ (grado de tolerancia B) para superficies que antes de la limpieza mostraban valores de luminosidad desde 48 (grado de tolerancia D) hasta 63 (grado de tolerancia C lindando con el B). Además, procura la importante retirada de los depósitos superficiales, a partir fundamentalmente de la presencia menos significativa de aluminio (Al) y silicio (Si) en las superficies que antes de la limpieza estaban oscurecidas y mostraban un grado de tolerancia estética C o D (comparar con figuras 9.5 y 9.6). No obstante, la identificación de esferas de contaminación revelaría que los depósitos superficiales no han sido retirados en su totalidad, correspondiéndose en mayor medida con esferas de aluminio (Al) y silicio (Si) al ser las más abundantes antes de la limpieza (tabla 9.4). La proyección de microesferas en definitiva afecta principalmente a la zona más externa de las costras negras de sulfatación, eliminando los depósitos más superficiales, retirando y/o disminuyendo parcialmente el grado de sulfatación en algunas zonas, permaneciendo de forma especialmente significativa en superficies donde los procesos de sulfatación han resultado más intensos.

Respecto a la proyección de micropartículas, para superficies con un importante ensuciamiento igualmente posibilitan que su grado de luminosidad tras la limpieza se aproxime bastante al requerido (tabla 12.2), pasando las superficies de presentar una luminosidad de 43-48 (grado de tolerancia estética D) a una luminosidad superior a 65 (grado de tolerancia B).

Procuran además la total eliminación de los depósitos superficiales, no identificándose esfera de contaminación alguna en las superficies observadas, y la casi completa retirada del grado de sulfatación (comparar figuras 12.9.c, 12.9.e, 12.9.h y 12.9.i con 9.6.d). Ahora bien, esta retirada provoca cierta erosión en la superficie de la caliza, que resulta menos significativa a mayor acumulación de los depósitos superficiales. Por tanto, la acción física de las micropartículas alcanza la zona más interna de la costra y consigue la eliminación prácticamente total del grado de sulfatación en la superficie de la caliza, si bien esta eliminación conlleva el aumento de su rugosidad superficial, quedando la piedra por un lado más susceptible a los procesos de disolución y/o sulfatación y, por otro, facilitando la adsorción del SO_2 (Alonso et al. 2004) así como la retención de los depósitos responsables del ensuciamiento.

En definitiva, la proyección de microesferas consigue retirar los depósitos responsables del ensuciamiento de la piedra con la mínima erosión de su superficie, mientras que con las micropartículas se elimina además la costra de sulfatación, pero la erosión superficial que provocan genera unos efectos secundarios que a la larga favorecerán los procesos de sulfatación y ensuciamiento. La permanencia del grado de sulfatación condicionará indudablemente el deterioro en la superficie de la caliza tras la limpieza, quedando el azufre en la "memoria" de la caliza (Veugles et al. 1993), pero su eliminación resulta muy contraproducente pues incrementa la susceptibilidad de las superficies a estos procesos de deterioro. Por tanto, la tipología de partículas proyectadas no sólo afecta a las superficies limpiadas de forma diferente, sino que sus efectos condicionarán su deterioro futuro sustancialmente.

12.6. CONCLUSIONES

- La limpieza efectuada en los paramentos del Antiguo Hospital de Maudes entre los años 2006-2008 ha resultado cualitativa y cuantitativamente eficaz, reduciendo de forma significativa el deterioro físico-químico de la caliza y recuperando los paramentos su valor estético original. La variación cromática, textural y composicional que tiene lugar en la superficie de la caliza como consecuencia de su limpieza están íntimamente relacionadas y son debidas fundamentalmente a la casi completa eliminación de los depósitos responsables del ensuciamiento e importante reducción del grado de sulfatación superficial en la caliza.
- Los dos tipos de partículas proyectadas (microesferas y micropartículas) han resultado eficaces pues en las zonas anteriormente oscurecidas han proporcionado a la superficie de la caliza un nivel de limpieza que ha superado el mínimo requerido, al eliminar en su práctica totalidad los depósitos superficiales. De este modo, el aspecto que muestran los paramentos después de la limpieza supera ligeramente la luminosidad correspondiente a la interfase establecida entre los grados de tolerancia A y B, resultando muy adecuado el nivel de limpieza conseguido, pues se ha superando el mínimo requerido y las superficies se perciben claras sin presentar blanqueamiento alguno por efecto de la limpieza.
- Igualmente, han reducido de forma importante los niveles de azufre en la superficie de la piedra, salvo en las zonas limpiadas con microesferas y en donde los procesos de sulfatación resultan muy intensos. Las microesferas son además especialmente idóneas en tanto que provocan la mínima erosión en las superficies y, por tanto, apenas generan efectos secundarios que aceleren los procesos de sulfatación y ensuciamiento.
- Las técnicas de caracterización utilizadas han resultado apropiadas tanto para evaluar cualitativa y cuantitativamente la limpieza efectuada como para atender a las variaciones que se producen en la superficie de la caliza, siendo más notorias al haber sido tomadas las muestras justo después de su limpieza.
- Frente a futuras operaciones de limpieza en los paramentos se recomienda proceder con una limpieza principalmente física, aconsejándose la proyección con microesferas de sílice en húmedo pues además de proporcionar una limpieza eficaz supone una menor agresividad para la caliza que las micropartículas. En las superficies que presentaran un grado de tolerancia D (zonas protegidas, niveles inferiores, muro...), se aconseja incrementar la proporción de microesferas y/o el tiempo de proyección, pero nunca la presión de impacto. En todo caso, resulta preferible no alcanzar el nivel de limpieza requerido y/o que permanezca parcialmente el grado de sulfatación que introducir cierto grado de erosión en las superficies.
- Se recomienda incluir la limpieza de los paramentos en las actuaciones de mantenimiento del inmueble, considerando preferiblemente operaciones de limpieza periódicas y atendiendo sólo a las zonas donde su limpieza sea necesaria, mediante por ejemplo trabajos verticales y empleando equipos portables. Además de ralentizar el deterioro, intervenciones puntuales implican menores costes, redundando en la conservación tanto de la caliza como de la apariencia estética del inmueble y, por tanto, señalando su apropiada gestión.
- Si bien las medidas tomadas por el Ayuntamiento de Madrid desde los años 80 para reducir los niveles de contaminación en la ciudad así como la sustitución del paso elevado por el subterráneo entre los años 2003-2005 han permitido el continuo descenso en los niveles de SO₂, resultando por tanto progresivamente menor su acumulación en la superficie de la caliza, el azufre no eliminado tras la limpieza, especialmente en la caliza de las fachadas, condicionará los futuros procesos de sulfatación. Del mismo modo, el incremento de la rugosidad superficial como consecuencia de la limpieza, que ha tenido lugar de forma significativa en los paramentos limpiados con micropartículas (muro perimetral), influirá en su progresivo ensuciamiento a partir principalmente de la retención de materia particulada.

CONSIDERACIONES FINALES

CONSIDERACIONES FINALES

Este apartado se refiere especialmente a la selección y propiedades petrológicas de la caliza empleada con mayor representatividad (variedad crema-homogénea) en la construcción del Antiguo Hospital de Maudes y a los aspectos relativos a su deterioro y a su limpieza. Se atiende fundamentalmente al deterioro estético que mostraban los paramentos en el año 2006, al deterioro físico-químico que tiene lugar en la superficie de la caliza así como a los principales aspectos relativos al modelo planteado y a la operación de limpieza efectuada en la restauración acometida en los paramentos entre 2006 y 2008. Se recuerda que son muy diversos los materiales empleados en la construcción del inmueble y las morfologías de alteración que presentan, los procesos y agentes de deterioro que actúan en los paramentos así como las intervenciones efectuadas en la restauración señalada.

Una caliza para el Hospital de Jornaleros

En el Antiguo Hospital, la utilización de la piedra caliza es tan importante como la construcción en sí, quedando recogidos en su utilización los principales aspectos relacionados con la materialidad pétreo que caracteriza la obra de Antonio Palacios. Esto es, la unificación de la construcción mediante el empleo de una única piedra, la definición de un estilo basado en el proceso constructivo artesanal y en su concepción material, la exposición directa de la piedra, prácticamente como viene de la cantera, sin desbastar ni ornamentar, buscando el sentido de su naturaleza y la expresividad de los paramentos. Entre los factores que influyeron en la selección de la caliza explotada en las canteras de Cornicabra, en el paraje del Valhondo (Morata de Tajuña, Madrid), señalar por un lado que Palacios ya la había utilizado previamente y que por su tonalidad clara desempeñaría un papel fundamental en el ambiente acogedor que quiso otorgar al inmueble. Por otro, más decisivo sin duda, resultaba una piedra económicamente muy competitiva, debido sobre todo a su extracción relativamente sencilla y a que su traslado a la capital mediante el ferrocarril del Tajuña se efectuaba directamente desde la cantera.

Teniendo en cuenta el máximo aprovechamiento de la piedra de cantera y pensando en el saneo económico de la construcción, Palacios ideó un diseño caracterizado por la variabilidad de formas y tamaños de las piezas pétreas. De este modo, por un lado, la práctica totalidad de los paramentos están configurados con una caliza de elevada calidad, correspondiente a una caliza homogénea de tonalidad crema que presenta un importante grado de cementación, destinándose las piezas de mayor tamaño a las zonas inferiores y otros elementos portantes de la construcción. Por otro, la piedra de peor calidad, más heterogénea, porosa, arenosa y/o con rasgos de karstificación, se empleó en las balaustradas y trasdós del muro perimetral, destinándose algunas piezas también a la zona retranqueada de su cara externa. Posiblemente, los problemas económicos que debieron surgir al final de la obra también condicionarían que piedra con peor calidad tuviera que ser empleada.

La caliza con mayor representatividad en los paramentos es una caliza compacta de tonalidad clara, correspondiente a las facies homogénea (caliza micrítica) y estromatolítica-oncolítica (bioesparita) de los carbonatos lacustres de la Unidad Superior Miocena de la cuenca continental terciaria del Sureste de la provincia. Las facies caracterizadas se formaron en un ambiente lacustre somero, donde se produce la rápida colmatación de la cuenca y los sedimentos carbonáticos sufren importantes modificaciones debido a fluctuaciones en el nivel de agua. Los procesos diagenéticos acontecidos en los estadios iniciales de la diagénesis, corresponden a la alternancia de periodos de encharcamiento con etapas de exposición subaérea.

En una época en la que piedras procedentes de otras partes del país e incluso del extranjero estaban sustituyendo a la piedra tradicionalmente empleada en Madrid, con la selección de la caliza de las canteras de Cornicabra, Palacios seguía apostando por el empleo de materiales de la región como seña de identidad, no siguiendo la tendencia de la época por utilizar materiales foráneos a la provincia.

Además, Palacios impulsaba así el uso de un material menos utilizado en Madrid y, por tanto, menos conocido, aspecto que aporta un valor añadido a la caliza empleada en la construcción del Antiguo Hospital, utilizándola además en otras construcciones posteriores. Además de lo estéticamente agradable y económicamente ventajosa que resultaba la caliza seleccionada, se trata de un material de construcción de muy elevada calidad especialmente idóneo para configurar elementos portantes y resistir los agentes climáticos propios de la región así como el propio paso del tiempo.

Este comportamiento responde a las propiedades petrográficas y petrofísicas de la caliza, condicionadas por el ambiente genético en el que se formó y por los procesos diagenéticos acontecidos en la cuenca, principalmente los diversos episodios de cementación, que han disminuido la porosidad primaria y otorgado una elevada compacidad a la caliza. De este modo, presenta tanto elevados valores de dureza superficial y de velocidad de propagación a los ultrasonidos como bajo porcentaje de porosidad accesible al agua, de porcentaje de agua absorbida por saturación al vacío (agua de saturación), de superficie específica y de coeficiente de permeabilidad al vapor de agua. Además, su baja anisotropía revela la práctica inexistencia de una dirección preferente, por lo que su puesta en obra no requiere colocar las piezas según una orientación determinada, si bien debe tenerse en cuenta que en algunos estratos la caliza podría presentar cierta anisotropía. También, la microporosidad se concentra en un intervalo que otorga a la caliza baja susceptibilidad a los procesos de deterioro relacionados con ciclos de hielo-deshielo y/o con la cristalización de sales.

Esta caliza presenta en general un buen estado de conservación, mostrando en ocasiones la superficie de las piezas pétreas cierta pérdida de la textura rugosa y, puntualmente, descamación o la formación de desplazados. Esto se debe principalmente a la buena calidad de la caliza seleccionada, a que se trata de una construcción relativamente reciente, a la rehabilitación acometida en los años ochenta, a la protección que en parte otorga el muro perimetral a las fachadas y a que actualmente el inmueble se encuentra en pleno funcionamiento. Los patrones de color heterogéneos que mostraban los paramentos antes de las dos intervenciones acometidas en el Antiguo Hospital, efectuadas en 1984-1986 y 2006-2008, correspondientes con superficies donde la caliza por un lado muestra una tonalidad clara que difiere considerablemente de su color natural y, por otro, muestra un importante oscurecimiento, apuntan hacia los principales procesos de deterioro que tienen lugar en la superficie de la caliza, relacionados con su composición y con el entorno urbano contaminado donde se localiza el inmueble.

Factores, procesos y formas de alteración en los paramentos del Antiguo Hospital

El deterioro de la caliza debe entenderse como un sistema en el que los factores, procesos y formas de alteración actúan de forma conjunta. La localización del inmueble en un área urbana con importantes niveles de contaminación ambiental, los factores climáticos, la naturaleza química y tonalidad clara de la caliza, el diseño de los paramentos y el propio paso del tiempo son los principales factores que intervienen en el deterioro de la caliza. Las superficies experimentan un deterioro físico-químico (daño material) en particular, y los paramentos un deterioro estético en general. En el entorno del inmueble, el tráfico rodado y las calderas domésticas son los principales focos emisores de contaminantes, afectando el SO₂ y la MP en mayor medida al deterioro de la caliza. Debido a la interacción caliza-humedad-contaminantes tiene lugar la sulfatación de las superficies, que implica la formación de yeso autigénico, y generalmente asociada con procesos de ensuciamiento por la acumulación de materia particulada, constituida principalmente por aluminio, silicio y hierro, desarrollándose así costras negras de sulfatación (formas de alteración superficial) en determinadas zonas de los paramentos. En la medida que estas costras negras son fuente de azufre y atrapan materia particulada suponen forma y agente de deterioro, implicando un daño material. El oscurecimiento de las superficies debido a la progresiva retención de partículas, principales responsables de su ensuciamiento, está muy relacionado con el deterioro estético de los paramentos.

El deterioro estético de los paramentos se corresponde con una distribución de color heterogénea, que afecta negativamente al impacto visual del inmueble y se traduce en la pérdida de su valor arquitectónico. Los patrones de color, principalmente controlados por el diseño de los paramentos, quedan definidos por fuertes contrastes cromáticos (zonas claras y zonas oscuras), teniendo lugar los procesos de sulfatación y ensuciamiento de forma especialmente intensa en superficies que presentan una disposición directa, una menor altura y una localización protegida. Fundamentalmente, en estas zonas resulta más difícil la eliminación de las partículas depositadas y la humedad de las superficies es más elevada, aspectos que favorecen los procesos de sulfatación y ensuciamiento.

Son dos las situaciones que principalmente tienen lugar en los paramentos,: el lavado de las superficies, resultando significativos los procesos de disolución y carbonatación y mostrando las superficies una intensa tonalidad clara (zonas claras: planos adelantados y zonas elevadas), y la acumulación de partículas, implicando procesos de sulfatación y la formación de costras negras (zonas oscuras: superficies protegidas y niveles inferiores). Si bien estas dos situaciones quedan en general muy definidas en los paramentos, predominando unos u otros procesos, hay zonas en donde se dan ambas así como otras situaciones intermedias. Por ejemplo, numerosas zonas en el plano principal de fachada incluyen superficies no especialmente expuestas al lavado pero que por su localización apenas se ensucian, y en el muro perimetral las zonas claras incluyen también superficies lavadas y muy expuestas a la vez a las emisiones procedentes del tráfico, en las que tienen lugar conjuntamente procesos de carbonatación y sulfatación.

Del mismo modo, las zonas oscuras están muy relacionadas con la formación de costras negras con diverso grado de desarrollo, mostrando las superficies diferentes tonalidades marrones que pueden llegar a ser muy oscuras, en función del grado de acumulación de partículas. Si bien el plano principal, en fachadas y muro, se ha considerado en su mayor parte como una superficie expuesta, realmente se trata de una superficie que queda protegida por diversos planos de avance, de ahí el desarrollo de costras negras que presenta la caliza en muchas de estas zonas. Las costras resultan especialmente intensas en las superficies del plano principal de la hoja externa del muro, debido a su disposición directa, proximidad a las emisiones procedentes del tráfico y a la humedad que rezuma por las superficies, que favorece los procesos de sulfatación y la retención de partículas. La retención de partículas provoca el progresivo oscurecimiento de la capa de yeso autigénico, desarrollándose costras negras de sulfatación. Así, en estas costras se diferencia una zona interna, en contacto con la caliza y constituida por cristales de neofomación o autigénicos (fundamentalmente de yeso) bien definidos, y una zona externa sobre la que se acumulan la materia particulada y que presenta menor grado de cristalinidad, al dificultar las partículas la nucleación y el crecimiento de morfologías cristalinas. La propia costra negra retroalimenta el proceso de sulfatación, pues su zona interna supone a su vez un importante aporte de azufre, permitiendo el crecimiento de las costras desde el interior, favoreciendo además las partículas las reacciones de sulfatación.

La simulación en laboratorio de los procesos de sulfatación y ensuciamiento permiten confirmar que la acción conjunta del SO_2 y MP en presencia de humedad provoca en la caliza un efecto físico-químico, manifestado por la modificación cromática (blanqueamiento en ausencia de partículas y también amarillamiento en presencia de MP) y textural (disgregación granular) así como por la sulfatación y disolución de las superficies. Los cristales de yeso constituyentes de la capa de sulfatación se concentran en la superficie de la caliza, provocando su blanqueamiento y cierta disgregación granular, señalando cierta capacidad erosiva del SO_2 . En presencia de humedad, las superficies secas actúan como catalizadores de las reacciones de sulfatación, pues más humedad absorben, viéndose el proceso retroalimentado por el carácter higroscópico del yeso. La materia particulada también favorece la sulfatación de la caliza, provocando su amarillamiento (capa de yeso epigénico) y disgregación superficial, incrementando los procesos de disolución relacionados con la acción del SO_2 .

Si se tiene en cuenta que además de la humedad del ambiente y de las superficies, de la composición química de la caliza y de la presencia de sales higroscópicas, la adsorción de gases ácidos depende de las propiedades petrofísicas que afectan a la transferencia de humedad (principalmente la porosidad abierta, el tamaño de poros y la superficie específica), la caliza estudiada presenta buena resistencia a los procesos de sulfatación, disgregación y disolución. De este modo, su baja porosidad abierta dificulta, por un lado, la entrada de agua y, por tanto, los procesos de disolución; por otro, favorece una menor adsorción de SO_2 , formándose menos sulfato. Su baja superficie específica también dificulta los procesos de disolución, así como reduce la acción del SO_2 , señalando igualmente que la caliza retiene poca humedad, minimizando por tanto la deposición seca. Además, su escaso volumen de poros capilares (1-100 μm) minimiza los procesos de condensación capilar, que tienen lugar en condiciones de elevada humedad. Otros aspectos a considerar son la baja permeabilidad de la caliza, dificultando la entrada y salida tanto del vapor de agua como de los contaminantes gaseosos, y que el escaso contenido en arcilla minimiza el efecto catalizador de los óxidos de hierro en los procesos de sulfatación.

Por tanto, la importante reactividad que la caliza muestra a la deposición seca del SO_2 en presencia de humedad responde principalmente a su composición química, pues sus propiedades petrofísicas dificultan los procesos de sulfatación. La disgregación superficial que conlleva la sulfatación de la caliza y las propias sales de neoformación (correspondientes principalmente con yeso) generadas durante el ensayo incrementan la porosidad y el área específica en la superficie de la caliza, favoreciendo a su vez posteriores procesos de sulfatación superficial. Esto podría explicar el buen estado de conservación que en general muestra la caliza en los paramentos, a pesar del importante desarrollo de costras negras que presenta en numerosas zonas, así como las escasas morfologías de alteración observadas relacionadas con los procesos de sulfatación y ensuciamiento.

Modelo propuesto: deterioro estético versus deterioro físico-químico e intervenciones de limpieza

El parámetro cromático luminosidad de color (L^*) resulta muy adecuado para establecer el grado de percepción o tolerancia estética de los paramentos así como su correspondencia con el deterioro físico-químico en la superficie de la caliza. El aumento de su valor está directamente relacionado con los procesos de carbonatación y/o sulfatación que tienen lugar en la superficie de la caliza, aumentando progresivamente con el tiempo hasta que las superficies no se blanquean más y se estabilizan (máximos valores medidos, $L^* > 80$). Como el descenso de la luminosidad está relacionado con los procesos de ensuciamiento, a medida que decrece la luminosidad la formación de costras negras es cada vez más intensa (mínimos valores medidos, $L^* < 35$, muy puntualmente).

El grado de tolerancia estética queda definido principalmente a partir de la mayor o menor retención de partículas en las superficies, mostrando diferente valor de luminosidad. De forma general, conforme desciende la L^* se va percibiendo el ligero oscurecimiento de las superficies (grado de tolerancia B, L^* entre 68-65) hasta que resulta algo molesto (interfase B_1 , L^* 65-64) y empieza a percibirse como deterioro estético. Este deterioro estético progresivamente va resultando más intenso (grado de tolerancia C, L^* entre 64-55) hasta resultar intolerable (grado de tolerancia D, $L^* < 55$). Valores de $L^* < 59$ señalan que una significativa acumulación de partículas, lo que indicaría la existencia de costras de sulfatación, implicando por tanto un daño material importante cuando el deterioro estético ya resulta intolerable (a partir de $L^* < 55$). En las zonas con grado de tolerancia estética A, B y D se establece una correspondencia entre el deterioro estético y físico-químico. Así, los grados A y B se corresponden con superficies que se perciben claras y con un ligero oscurecimiento, respectivamente (L^* entre 74-64), sin daño estético ni físico-químico, y en superficies con un grado D ($L^* < 55$) el deterioro estético resulta intolerable e implica un daño material. En las zonas donde se han medido valores de L^* superiores a 74 las superficies también se perciben como claras, correspondientes en su mayoría con superficies intensamente blancas y localizadas en zonas elevadas, planos adelantados y/o plano principal de fachada.

Ahora bien, en las zonas donde la distribución de color mostraba un grado de tolerancia estética C (L^* entre 64-55), percibiéndose el oscurecimiento de las superficies ya como deterioro estético y mostrando una gradación cromática de marrones, la correspondencia del deterioro estético con el físico-químico no queda tan definida, jugando el acabado rugoso de los elementos pétreos un papel importante en la percepción del ensuciamiento. Como se ha indicado, la presencia de partículas comienza a resultar significativa a partir de valores de $L^* < 59$, implicando un daño material en la superficie de la caliza, estableciéndose así la interfase C_2 (L^* entre 59-55). Resultaría necesario analizar más superficies para determinar si existe deterioro físico-químico en las superficies donde la caliza muestra unos valores de luminosidad comprendidos entre 64 y 59 (interfase C_1), en donde puede que el deterioro estético no implique un daño material en las superficies.

Considerando el valor de luminosidad que en el año 2006 presentaba la superficie de los elementos pétreos en los paramentos y el tomado como referencia ($L^*_0 = 74$), el modelo planteado establece qué zonas volverán a ensuciarse tras una nueva operación de limpieza en función de la posición que ocupen en las fachadas y, de ser así, cuánto tiempo tardarán en mostrar un aspecto considerado como deterioro estético. A partir de este tiempo, una actuación de limpieza resultaría necesaria en base a criterios estéticos, indicando igualmente el modelo las zonas que se deberían limpiar. De este modo, superficies que en el año 2006 mostraban grados de tolerancia A o B no se llegarán a ensuciarse, por lo que no será necesaria su limpieza. En las superficies con grados C y D, una limpieza en función a criterios estéticos sería necesaria aproximadamente unos 7-8 años después de su limpieza, en las fachadas con disposición directa y en las indirectas dirigidas a la calle Raimundo Fernández Villaverde así como la zona retranqueada del muro perimetral, y unos 10 años después para las demás fachadas indirectas. Ahora bien, en función también de criterios de daños, se considera necesaria la limpieza de superficies que muestran valores de L^* inferiores a 59 (zonas con grados C_2 y D).

Limpieza de los paramentos en base a criterios estéticos y de daños: intervención 2006-2008

Así como la acción y efectos del deterioro estético y físico-químico deben entenderse conjuntamente, toda operación de limpieza debe considerar sendas formas de deterioro, analizando antes de intervenir si el deterioro estético implica o no un deterioro físico-químico, pues la mejora de la percepción estética de un inmueble en ausencia de un daño material en los materiales no justifica la necesidad de una limpieza y, mucho menos, de la envergadura como la efectuada en el Antiguo Hospital entre los años 2006-2008. En el año 2006, el deterioro estético de los paramentos implicaba en numerosas zonas el desarrollo de costras negras en la superficie de la caliza, provocando un daño material. Resultaba necesaria una operación de limpieza que apostara tanto por la conservación de la piedra (criterio de daños) como procurara la mejora de su impacto visual (criterio estético).

Igualmente necesario resultaba efectuar la evaluación previa de sistemas de limpieza, de modo que se seleccionara el más efectivo e idóneo dadas las propiedades de la caliza y la naturaleza del material a eliminar. De los cinco sistemas de limpieza evaluados, los estudios previos recomendaron la proyección de microesferas de sílice en húmedo (técnica torbo), pues procuraba la eliminación del deterioro estético en su práctica totalidad, alcanzando las superficies un valor medio de $L^* \approx 67$ (grado de tolerancia estética B lindando con el grado A, ambos superficies claras), así como la reducción del grado de sulfatación de las superficies con la mínima introducción de efectos secundarios. La elevada cohesión superficial que mostraba la caliza y la ausencia de elementos decorativos, así como de recubrimientos superficiales, favorecieron la selección del sistema de limpieza empleado. Para la limpieza de los paramentos se estableció que el nivel mínimo de limpieza a alcanzar en las superficies fuera el procurado por las microesferas ($L^* \approx 67$), siendo deseable que lo superara en cierta medida. Finalmente se optó por proyectar microesferas de sílice en las fachadas y micropartículas de sílice en el plano principal de la hoja externa del muro, debido al intenso deterioro estético y físico-químico que presentaba.

Además de una dureza superficial significativamente elevada, el soporte pétreo a limpiar (correspondiente en su práctica totalidad con la variedad de caliza crema-homogénea) presenta muy buena resistencia también a limpiezas basadas en sistemas o métodos mecánicos, y concretamente al sistema de limpieza finalmente empleado, proyección de microesferas en húmedo (técnica torbo). Así, la elevada velocidad de propagación a los ultrasonidos obtenida señala la elevada compacidad de la caliza y los valores de porosidad accesible al agua, de porcentaje de agua absorbida por saturación al vacío, de superficie específica y de coeficiente de permeabilidad al vapor de agua indican la resistencia que presenta la piedra a la entrada de agua. Además, el predominio de microporos con un tamaño comprendido entre 0,01-01 μm , indican que la caliza no presenta importantes riesgos frente a los procesos de deterioro relacionados con ciclos de hielo-deshielo y/o con la cristalización de sales.

La operación de limpieza enmarcada en la restauración integral de los paramentos acometida entre 2006-2008, refleja la concienciación y sensibilidad de las autoridades correspondientes para con la conservación y adecuada gestión del Antiguo Hospital, destacando especialmente la implicación de la Comunidad de Madrid en cuanto a la realización de estudios previos de modo se seleccionara el método de limpieza más adecuado. Con la intervención de limpieza efectuada, por un lado se ha eliminado el deterioro estético de los paramentos, recuperando el Antiguo Hospital su valor arquitectónico, al ser retirados los depósitos responsables del ensuciamiento de la caliza en su práctica totalidad. Por otro, se ha reducido el daño material en la superficie de la caliza, minimizando así la acción del azufre y de la materia particulada como agentes de alteración. Aunque la limpieza ha reducido significativamente los contrastes cromáticos que mostraba la distribución de color, se sigue apreciando la diferencia entre las superficies lavadas por el agua de lluvia y las limpiadas mediante proyección de partículas, aspecto que por un lado no se pretendía modificar y que, por otro, señala la irreversibilidad en cuanto a la modificación cromática se refiere que suponen los procesos de carbonatación. Se considera satisfactorio el nivel medio de limpieza alcanzado (L^* entre 68-69), algo superior al mínimo requerido pero sin quedar los paramentos excesivamente blancos, aspecto que resultaría estéticamente contraproducente.

La limpieza de la caliza mediante proyección de microesferas de sílice en húmedo (técnica torbo) ha resultado en general eficaz, pues ha permitido que la caliza alcance un cromatismo muy aproximado al requerido *a priori*, al retirar la práctica totalidad de los depósitos responsables del ensuciamiento, y apenas provoca efectos secundarios. Ahora bien, aunque también procura el descenso de los niveles de azufre, en las zonas donde los procesos de sulfatación resultan más intensos estos niveles permanecen elevados después de la limpieza con microesferas. Mediante proyección de micropartículas sí que se ha conseguido la completa eliminación de la capa de sulfatación, pero provocando una importante erosión en la superficie de la caliza y generando unos efectos secundarios que con el tiempo favorecerán tanto los procesos de sulfatación como los de ensuciamiento.

En superficies con una importante acumulación de depósitos, la comparativa entre los resultados obtenidos en la evaluación previa y tras la limpieza finalmente efectuada permite establecer que en ambos casos la proyección de microesferas posibilita alcanzar un cromatismo muy similar al establecido *a priori*. No obstante, mientras que tras los estudios previos se comprueba que las microesferas procuraban la retirada prácticamente total de los depósitos superficiales así como de la capa de sulfatación, tras la limpieza efectuada, en algunas las superficies se ha detectado aluminio y silicio, se han identificado esferas de contaminación y el grado de sulfatación resulta especialmente significativo. Sin embargo, mientras que tras las pruebas de limpieza se observaba la ligera disgregación de los cristales de calcita, finalizada la limpieza estas superficies anteriormente oscurecidas presentaban en general cierta cohesión. Si bien estas diferencias podrían deberse a que los estudios previos se efectuaron en superficies muy acotadas y bajo unas condiciones de proyección muy controladas, señalan nuevamente que eliminar la capa de sulfatación implica la erosión de las superficies en mayor o menor medida.

Mirando al futuro

La evolución del entorno medioambiental donde se ubica el Antiguo Hospital tiende, por un lado, hacia la progresiva reducción en las emisiones de SO₂ y proliferación de contaminantes más ricos en componentes orgánicos así como a la modificación en el tipo de partículas emitidas, cada vez más finas y menos oscuras, si bien sus emisiones seguirán resultando difíciles de controlar. Por otro, esta evolución se dirige hacia unas condiciones climáticas cada vez más cálidas y secas, con un régimen de lluvias escaso y bastante irregular. De este modo, el ensuciamiento irá mostrando tonalidades más pardo-amarillentas y no tan oscuras, como ha sucedido durante los 20 años transcurridos entre las dos operaciones de limpieza acometidas en los paramentos, y el cambio climático ralentizará la sulfatación de la caliza así como minimizará la retención de las partículas depositadas en su superficie. Además, la construcción del subterráneo bajo la glorieta de Cuatro Caminos modificará la distribución y deposición de los contaminantes procedentes del tráfico, especialmente en los paramentos orientados hacia la calle Raimundo Fernández Villaverde, siendo de esperar que esta remodelación urbanística permita una mayor durabilidad de la limpieza acometida entre 2006-2008.

Teniendo en cuenta tanto las reducciones y/o modificaciones en las emisiones de los principales contaminantes atmosféricos que aceleran el deterioro de la caliza así como la sensibilización por parte de las instituciones correspondientes para con la conservación del Antiguo Hospital, se considera que el deterioro estético que mostraban los paramentos en los años 80 no se volverá a alcanzar, principalmente por los elevados niveles de contaminación a los que llevaban expuestos y porque nunca antes se habían efectuado operaciones de limpieza. Del mismo modo, es de esperar que el daño material que presentara la caliza por entonces debido a procesos de sulfatación y ensuciamiento sea el más elevado que llegue a experimentar su superficie. La limpieza efectuada entre 1984-1986, mediante un sistema mecánico basado en la proyección de partículas, retiró la práctica totalidad de los depósitos superficiales responsables del ensuciamiento de la caliza, si bien posiblemente parte del azufre depositado quedara en su superficie, condicionando los nuevos procesos de sulfatación y ensuciamiento que han tenido lugar durante los 20 años transcurridos hasta la limpieza iniciada en el año 2006.

Las intervenciones a realizar deben apostar por la conservación y mantenimiento preventivo de los paramentos del Antiguo Hospital. De este modo, además de las correspondientes reducciones en las emisiones de contaminantes y remodelaciones urbanísticas, entre las medidas a tomar resulta esencial efectuar operaciones de limpieza periódicas en la superficie de la caliza. Para ello, el modelo propuesto supone una clara apuesta, apuntando hacia actuaciones conforme a criterios estéticos y de daños basados en la protección y mínima intervención, aspectos que señalarán la adecuada gestión del inmueble. Por un lado, el modelo considera la limpieza de los paramentos con cierta periodicidad y mediante actuaciones localizadas, indicando qué zonas deben ser limpiadas, focalizándose la limpieza en las zonas donde los procesos de sulfatación y ensuciamiento resultan más intensos. De este modo, se reducen costes a la hora de efectuar una intervención, además de evitar el impacto que una limpieza puede generar en las superficies que no la requieran. Por otro, propone intervenir antes que el deterioro estético de las superficies resulte intolerable, minimizando a su vez el daño material de las superficies. Por tanto, el modelo posibilita monitorizar el ensuciamiento en tanto que permite conocer las zonas donde resultaría necesario intervenir para ralentizar el deterioro así como más adecuada la medida *in situ* de la luminosidad y/o la colocación de captadores de la concentración de contaminantes.

Pensando en la viabilidad de las actuaciones señaladas, frente a nuevas operaciones de limpieza que se efectuaran en los paramentos se aconseja la limpieza de la caliza mediante trabajos verticales y proyección de microesferas de sílice en húmedo utilizando equipamiento de fácil maniobrabilidad. También, se considera que es preferible no alcanzar el nivel de limpieza requerido si ello implica la erosión de las superficies.

Además, se aconseja retirar periódicamente la materia particulada acumulada en superficies horizontales, evitando así el progresivo ensuciamiento de la caliza y sus efectos como un agente de deterioro potencialmente perjudicial para la piedra. Si bien el modelo señala que no es necesario limpiar las superficies donde la caliza muestra una tonalidad clara, pudiendo resultar además su limpieza contraproducente, en el caso se decidiera limpiarlas en algún momento se aconseja la utilización de aire a presión de modo que simplemente se retiren los posibles depósitos superficiales no adheridos. Señalar que el nuevo mortero de junta puesto en obra en la intervención de 2006-2008 ha resultado una actuación necesaria pensando en la conservación y mantenimiento preventivo de los paramentos. De este modo, si bien ha modificado el aspecto original otorgado por Palacios a los paramentos y ha reducido su expresividad, debe tenerse muy en cuenta que con su nueva forma de aplicación (ligeramente retranqueado respecto a la superficie de los elementos pétreos) se minimizará el deterioro estético de los paramentos, pues dificultará que las partículas queden adheridas al mortero, así como el deterioro físico-químico del propio mortero, al ralentizarse los procesos de sulfatación y, por tanto, la formación de costras negras en su superficie. Además, al tratarse de un mortero con propiedades biocidas, del mismo modo se reducirá el desarrollo de películas microbianas, especialmente en zonas donde se concentre la humedad.

Por otro lado, ante la posible aplicación en un futuro de tratamientos de hidrofugación en la superficie de la caliza, debe ensayarse necesariamente el producto a emplear antes de ser aplicado, pues su posible efecto beneficioso en cuanto a dilatar los tiempos a partir de los que fuera necesaria una limpieza puede resultar contraproducente, tal y como se ha visto sucede con los hidrofugantes ensayados. Estos productos han actuado como una pantalla que retiene la humedad, creando con su aplicación una dinámica que favorece los procesos de condensación y, por tanto, las reacciones de sulfatación, incluso bajo atmósferas poco agresivas. Además, han resultado permeables al vapor de agua y al SO₂, no impidiendo la formación de cristales en la zona de contacto entre la superficie de la piedra y la capa de producto aplicado, que al romper esta capa contribuyen a su deterioro diferencial y permiten a su vez la entrada de humedad. Ciertamente, se ha visto que la materia particulada se elimina más fácilmente mediante el lavado de las superficies hidrofugadas, impidiendo que su acción se prolongue. Sin embargo, durante el ensayo de SO₂ los tratamientos no han minimizado el efecto erosivo de las partículas. Se recomienda por tanto mejorar la capacidad hidrofugante de la caliza mediante la aplicación de otro tipo de productos como surfactantes o nanocomposites híbridos, especialmente con propiedades fotocatalíticas e hidrofílicas que les otorguen capacidad autolimpiante, de modo que minimicen tanto la sulfatación de la caliza como dificulten la retención de la materia particulada en su superficie. Del mismo modo, la resistencia a la acción del SO₂ de estos productos debe ensayarse previamente.

La limpieza de los paramentos acometida entre los años 2006 y 2008 se ha efectuado en base a criterios estéticos y de daños. Ha eliminado el deterioro estético de los paramentos, recuperando el inmueble su valor arquitectónico original, y ha reducido el deterioro físico-químico de la caliza. A día de hoy, casi siete años después, los patrones de color siguen resultando homogéneos, si bien la pátina del tiempo ha suavizado el aspecto homogéneo que los paramentos mostraban en 2008 y su aspecto general no denota deterioro estético. Esto es debido principalmente a la progresiva reducción en los niveles de contaminación ambiental y a la construcción del subterráneo bajo la glorieta de Cuatro Caminos, así como a la hidrofugación de la superficie de la piedra en dicha intervención. Ahora bien, en el nivel del basamento de la iglesia y en el plano principal del lienzo del muro orientado hacia la calle Raimundo Fernández Villaverde, ya puede percibirse el ensuciamiento de la caliza, resultando interesante la medida de la luminosidad en estas superficies como en otras localizadas tanto en fachadas con disposición directa como en las indirectas dirigidas igualmente hacia la calle Raimundo Fernández Villaverde.

Sobre Palacios, el Antiguo Hospital y la ciencia al servicio de la conservación del patrimonio

Tan contradictoria puede resultar en ocasiones la vocación metropolitana y regionalista del artífice gallego como el que seleccionara para un ambiente urbano una piedra que por su tonalidad resultara tan susceptible al deterioro estético y, por su composición química, tan reactiva al SO₂. Si bien el Hospital de Jornaleros se ubicaba por entonces en el extrarradio de la capital, de ahí en parte el carácter regionalista que Palacios otorgó a la construcción, por un lado la intensa actividad y elevada población del barrio donde se ubicaría el hospital, como lo refleja en la memoria del proyecto. Por otro, Palacios fue elegido para configurar el nuevo perfil metropolitano de la ciudad, de modo que no sólo visionó el rápido crecimiento y desarrollo que experimentaría Madrid, sino que vivió su evolución y, con ello, la del entorno urbano donde se localizaba el Hospital de Jornaleros.

Por sus viajes a Inglaterra, que ya en el siglo XV contaba con una regulación que atendía a la producción de humos generados por la combustión del carbón y diversos arquitectos en el siglo XVIII habían mostrado su preocupación por las costras de negras en fachadas, Palacios conocería el deterioro de edificios configurados con materiales claros de composición carbonática expuestos a atmósferas contaminadas y con elevada humedad. Tal vez de un modo acertado, pensó que tanto la relativamente escasa actividad industrial del entorno del hospital como el clima seco de Madrid ralentizarían el deterioro de la caliza. Ciertamente, el diseño de los paramentos favorece la existencia de numerosas zonas protegidas, donde la formación de costras negras resulta más intensa, así como una distribución heterogénea del color. No obstante, el diseño en aspa del hospital pensando en la cura de los enfermos, así como el limitar el espacio con un muro perimetral, reduce el deterioro de los paramentos. Además, se observan detalles constructivos expresamente concebidos para minimizar el lavado de las superficies, como el goterón labrado en la superficie inferior de los elementos pétreos que quedan en voladizo.

En todo caso, estuviera o no Palacios al tanto del deterioro que irremediablemente experimentan los materiales de composición carbonática expuestos a atmósferas contaminadas, en la Tesis se apuesta porque sí era conocedor de estos aspectos y aún sabiéndolo seleccionó la caliza empleada en la construcción por los motivos planteados. El clima seco de Madrid, la ausencia de industrias en el entorno del inmueble, la sustitución de las calderas de carbón y las dos operaciones de limpieza efectuadas han permitido que a pesar del desarrollo de costras negras de sulfatación, la variedad de piedra caliza mayoritariamente empleada en la construcción de los paramentos presente buen estado de conservación. A este respecto, debe tenerse en cuenta la buena calidad de la caliza empleada, no presentando a día de hoy otros deterioros significativos. Resulta curioso imaginarse el aspecto que presentaría el inmueble si se hubiera construido con otra piedra, por ejemplo el granito, material que en principio Palacios pensaba destinar para los zócalos.

La degradación de inmuebles patrimoniales ubicados en medios urbanos y la progresiva sensibilización ante la necesidad de su conservación por parte de la sociedad y de las instituciones encargadas de su salvaguarda, ha posibilitado la realización de numerosas investigaciones e intervenciones basadas en el conocimiento científico. Además de permitir sin duda actuaciones más respetuosas, en este tipo de estudios queda patente el importante papel de la investigación científica para la conservación del patrimonio. Enmarcada en las actuales directrices que apuntan hacia la mínima modificación del inmueble original y la mejora de su percepción estética así como por el mantenimiento de las intervenciones realizadas y la reducción en la medida de lo posible de las causas de deterioro, el estudio integral que supone esta Tesis es una clara apuesta por el mantenimiento y conservación preventiva de los paramentos del Antiguo Hospital. Por un lado, la monitorización del ensuciamiento permite definir estrategias a medio y largo plazo que minimicen tanto el deterioro como el coste de las intervenciones, que siempre deben basarse en criterios estéticos y de daños, y, por otro, queda establecida la colaboración necesaria para seguir investigando sobre nuevas problemáticas.

Colofón

Tras la limpieza efectuada entre los años 2006-2008, la piedra ha recuperado en gran parte el aspecto que originariamente presentaría así como su protagonismo en los paramentos, permitiendo además observar la variabilidad cromática que mostraban cuando el inmueble fue construido, debido a la utilización de diversas variedades de piedra caliza con diferentes tonalidades, aspecto con el que Palacios también debió jugar para romper la monotonía pétreo de los paramentos. La caliza estudiada ha resistido satisfactoriamente bien a los factores de deterioro existentes en el entorno para el que fue destinada, las dos operaciones de limpieza efectuadas y el propio paso del tiempo, señalando además la elevada durabilidad que presenta.

En el estudio del patrimonio se viene trabajando con equipos multidisciplinares sensibilizados con su conservación, resultando esencial considerar la visión de los materiales de construcción desde el conocimiento de la geología, especialmente de la petrología y mineralogía, y de los procesos de deterioro que tienen lugar cuando estos materiales interactúan con el medio ambiente que les rodea. Las diversas metodologías propuestas para la caracterización de los materiales utilizados en el patrimonio construido y el estudio de su deterioro siguen una línea común, siendo los propios materiales, la tipología constructiva y el entorno en el que se ubican lo que define en cada caso hacia donde debe apuntar la investigación.

Ante una arquitectura hoy en día tan globalizada, los materiales de construcción utilizados en los paramentos del Antiguo Hospital y la problemática que presentan cobran, si cabe, mayor importancia. Que se salvara de su demolición casi inminente en la década de los ochenta, señala que la sociedad y las instituciones empezaban a ser conscientes de la importancia de conservar el legado recibido. Esta conciencia ha permitido que el Antiguo Hospital de Maudes siga tejiendo su propia historia y formando parte de los ciudadanos de Madrid.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y OTRA DOCUMENTACIÓN

- ASTM E313-2010. Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured color coordinates. American Society for Testing and Materials.
- Berns, R.S. (2000): Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology. New York, Wiley. 272 pp.
- Boutin, F. y Leroux, L. (2000): Color and weight evolution of limestones protected by water repellents after three-year ageing period in urban conditions. En: Proceedings 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone (V. Fassina, ed.), vol. 2. Elsevier, Amsterdam. 197-205.
- Commission Internationale de l'Eclairage, CIE (1978): CIE Recommendations on uniform color spaces, color-difference equations and psychometric color terms. *Colorimetry*, supplement: 2-15.
- Crumbie, A.K. (2001): SEM Microstructural studies of cementitious materials: Sample preparation of polished sections and microstructural observations with backscattered images, artefacts and practical considerations. En: Proceedings 23rd International Conference on Cement Microscopy. Ed. International Cement Microscopy Association.
- Esbert, R.M., Ordaz, J., Alonso, F.J. y Montoto, M. (1997): Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. 126 pp.
- Fort, R. (1996): Características cromáticas de los materiales de construcción. En: Degradación y Conservación del Patrimonio Arquitectónico (F. Mingarro, ed.). Ed. Complutense. 213-226.
- Friedman, G.M. (1959): Identification of carbonate minerals by staining methods. *Journal of Sedimentary Petrology*, 29: 87-97.
- García del Cura, M.A., Ordóñez, S., Fort, R. y Pina, J.A. (1996): El "Crema Marfil" (Pinoso, Alicante) II. Criterios petrográficos de calidad. *Geogaceta*, 20 (3): 731-734.
- Grossi, C.M., Esbert, R.M., Díaz-Pache, F. y Alonso, F.J. (2003): Soiling of building stones in urban environments. *Building and Environment*, 38: 147-159.
- Hughes, J.J. y Cuthbert, S.J. (2000): The petrography and microstructure of medieval lime mortars from the west of Scotland: Implications for the formulation of repair and replacement mortars. *Materials and Structures*, 33 (9): 594-600.
- Humphries, D.W. (1992): The preparation of thin sections of rocks, minerals and ceramics. Royal Microscopical Society, Oxford. Microscopy Handbooks 24. 83 pp.
- Lindholm, R.C. (1987): Mineral identification using X-ray diffraction. En: A practical approach to Sedimentology. Ed. Allen & Unwin, London. 124-153.
- Lindholm, R.C. y Finkelman, R.B. (1972): Calcite staining: semi-quantitative determination of ferrous iron. *Journal of Sedimentary Research*, 42: 239-242.
- Ortega, M. y de la Torre, M.J. (1996): La microscopía electrónica de barrido. Aplicaciones en el estudio y conservación del Patrimonio Histórico. En: Técnicas de diagnóstico aplicadas a la Conservación de los materiales de construcción en los Edificios Históricos. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. Cuadernos Técnicos (E. Sebastián, ed.), vol. 2. Ed. Junta de Andalucía, Consejería de Cultura. 25-33.
- Ques, J. y Tritlla, J. (1997): Introducción a las técnicas de preparación de láminas delgadas. En: Atlas de Asociaciones Minerales en Lámina Delgada (J.C. Melgarejo, ed.). Publicaciones de la Universidad de Barcelona y Fundación Folch. 33-37.
- Sebastián, E. (2003): La Difracción de Rayos X en la conservación del patrimonio histórico. Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los edificios históricos. Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico. Cuadernos Técnicos (R. Villegas & E. Sebastián, eds.), vol. 8. Ed. Junta de Andalucía, Consejería de Cultura. 96-103.

PARTE I**ANTONIO PALACIOS Y EL HOSPITAL DE JORNALEROS EN LA DIFUSIÓN Y CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO**

- Álvarez de Buergo, M. y González-Limón, T. (2000): Restauración de edificios monumentales. Ed. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Ministerio de Fomento. 350 pp.
- Álvarez Sierra, J. (1952): Los hospitales de Madrid de ayer y de hoy. Publicaciones de la Beneficencia Municipal, tomo III. 18 pp.
- Armero, J. (2001): Antonio Palacios, constructor de Madrid. En: Antonio Palacios, constructor de Madrid. Catálogo de la exposición celebrada en Madrid. Ed. La Librería. 3-18.
- Arévalo-Cartagena, J.M. (1999): Arquitectura y escultura en la obra de Antonio Palacios y Ángel García. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. 558 pp. <https://serviciosgate.upm.es/tesis/tesis/2843>
- Arévalo-Cartagena, J.M. (2001): Palacios y las artes decorativas. En: Antonio Palacios, constructor de Madrid. Catálogo de la exposición celebrada en Madrid. Ed. La Librería. 301-308.
- Arrechea Miguel, J. (1996): Antonio Palacios y la arquitectura como "síntesis". Universidad de Valladolid. *Anales de Arquitectura*, 7: 26-39.
- Baldellou, M.A. (2001): Palacios antes y después. En: Antonio Palacios, constructor de Madrid. Catálogo de la exposición celebrada en Madrid. Ed. La Librería. 283-288.
- Buti, A. y Galliani, G.V. (1983): Il ruolo della catena nelle costruzioni in muratura. Su Indice (38). Ed. Sagep, Genova.
- Cabrera, J.M. (2004): Informe de restauración de las fachadas del edificio de Maudes. CPA, S.L. 144 pp.
- Ciudad, A. y Carrillo, I. (2001): El Hospital de Maudes. La adaptación de un edificio a través de la historia. Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes de la Comunidad de Madrid. 127 pp.
- COAM (1978): Edificio público: Hospital para Jornaleros de San Francisco de Paula. En: Madrid, degradación urbana. Estudio monográfico sobre cinco elementos urbanos a conservar incluidos en el precatálogo. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Madrid. 77-90.
- Checa, A. (1982): Evolución del plano de los barrios de Cuatro Caminos y Castillejos. Universidad Complutense. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 2: 167-180.
- Chueca Goitia, F. (2001): Antonio Palacios. En: Antonio Palacios, constructor de Madrid. Catálogo de la exposición celebrada en Madrid. Ed. La Librería. 278-282.
- De Angelis d'Ossat, G. (1978): Guide to the methodological study of monuments and cases of their deterioration. International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property. 46 pp.
- De Castro López-Villarino, F. (1986): El abandono. En: Antonio Palacios y el Hospital de Maudes en la Memoria Arquitectónica de Madrid, vol 2. Centro de Información y Documentación. Consejería de Ordenación del Territorio, Medioambiente y Vivienda.
- De Castro López-Villarino, F. (1987): A modo de preámbulo. *Informes de la Construcción*, 39 (389): 20-30.
- De Castro López-Villarino, F. (1991): Aproximación a la arquitectura de Antonio Palacios. En: Antonio Palacios, Catálogo de la exposición celebrada en Santiago de Compostela. Colegio Oficial de Arquitectos de Galicia. 9-14.
- Esbert, R.M. (coord.) (2003): Criterios de Intervención en materiales pétreos. *Bienes Culturales*, 2. Revista del Instituto del Patrimonio Histórico Español. Anexo. 33 pp.
- Fernández-Alba, A. (2001): Arquitectura y ciudad en la obra de Antonio Palacios. En: Antonio Palacios, constructor de Madrid. Catálogo de la exposición celebrada en Madrid. Ed. La Librería. 269-274.

- Fernández-Galiano, L. (1990): Palacios para la Comunidad. En: Un Monumento recuperado: La rehabilitación del Hospital de Jornaleros de Maudes, Madrid. Ed. Consejería de Política Territorial, Comunidad de Madrid. 13-24.
- Fernández-Muñoz, A.L. (2003): Antonio Palacios y el Círculo de Bellas Artes de Madrid: una introducción. *Restauración y Rehabilitación*, 77: 26-33.
- Fernández-Shaw, C. (1946): La obra del arquitecto Don Antonio Palacios. *Cortijos y Rascacielos*, 33: 30-37.
- Fullaondo, J.D. (1986): Maudes. En: Antonio Palacios y el Hospital de Maudes en la Memoria Arquitectónica de Madrid. Centro de Información y Documentación. Consejería de Ordenación del Territorio, Medioambiente y Vivienda. 73-80.
- García del Cura, M.A., Ordóñez, S., Dapena, E. y González Martín, J.A. (1994): Las canteras de calizas en los interfluvios de los ríos Jarama-Tajuña-Tajo en la Comunidad de Madrid: Valoración de recursos. *Boletín Geológico y Minero*, 105 (6): 574-590.
- González-Amezqueta, A. (1967): La arquitectura de Antonio Palacios. *Arquitectura*, 106: 1-74.
- Gutiérrez-Burón, J. (1988): Antonio Palacios Ramilo en Madrid. Cuadernos de Arte de la Fundación Universitaria. 76 pp.
- Iglesias Veiga, J.R. (2001): Antonio Palacios: arquitecto metropolitano y arquitecto regionalista. En: Antonio Palacios, constructor de Madrid. Catálogo de la exposición celebrada en Madrid. Ed. La Librería. 203-228.
- IGME (1974): Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Hoja nº187 (Orense).
- IGME (1981): Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Hoja nº261 (Tuy).
- ITGE (1990): Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Hoja nº533 (San Lorenzo del Escorial).
- Izquierdo, V: Hospital de Jornaleros de la calle Maudes del arquitecto Antonio Palacios. Documento inédito. 9 pp.
- Landero, M.A. (2001): El arquitecto de Madrid: una exposición recuerda la obra de Antonio Palacios. *Revista Ministerio de Fomento*, 502: 60-66.
- López-Urrutia, L. (1926): Hospital de San Francisco de Paula para Jornaleros: copia de la escritura pública del 1 de marzo de 1926 a Doña Dolores Romero y Arano. Archivo Regional de la Comunidad de Madrid, expediente nº 4259/8. 162 pp.
- Otero-Cerdeira, A. (2004): Santuario de la Vera-Cruz de San Cibrán del Carballino de Antonio Palacios. Ed. Xunta de Galicia. 192 pp.
- Palacios, A. (1909): El proyecto inicial. En: Antonio Palacios y el Hospital de Maudes en la Memoria Arquitectónica de Madrid (1986), vol 2. Centro de Información y Documentación. Consejería de Ordenación del Territorio, Medioambiente y Vivienda. Memoria original en el Archivo de la Villa de Madrid, expediente nº20-118-3.
- Palacios (1925): La conservación de nuestro tesoro artístico regional, artículo publicado en *El Pueblo Gallego* el 1 enero 1925 y en *Vida Gallega* el 25 enero de 1925.
- Palacios, A. (1927): Del Pórtico de la Gloria, notas para su estudio estereotómico. *Faro de Vigo*, 21 agosto de 1927.
- Perea Ortega, A. (1986): La rehabilitación. En: Antonio Palacios y el Hospital de Maudes en la Memoria Arquitectónica de Madrid, vol 2. Centro de Información y Documentación. Consejería de Ordenación del Territorio, Medioambiente y Vivienda.
- Perea Ortega, A. (1990): El proyecto de rehabilitación. En: Un Monumento recuperado: La rehabilitación del Hospital de Jornaleros de Maudes, Madrid. Ed. Consejería de Política Territorial, Comunidad de Madrid. 25-60.

- Pérez-Monserrat, E.M., Fort, R., Álvarez de Buergo, M., Varas-Muriel, M.J. y Gomez-Heras, M. (2013): Materiales pétreos utilizados en la obra de Antonio Palacios como apuesta para la conservación del patrimonio geológico. *Tierra y Tecnología*, 43: 28-34.
- Pérez-Rojas, J. (1985): Antonio Palacios y la arquitectura de su época. *Revista Villa de Madrid*, 83: 3-21.
- Pérez-Rojas, J. (1987): Antonio Palacios y Joaquín Otamendi. En: *Arquitectura madrileña de la primera mitad del siglo XX: Palacios-Otamendi, Arbós y Anasagasti*. Catálogo de la exposición celebrada en el Museo Municipal. Ayuntamiento de Madrid. 93-175.
- Perla, A. (2001): Antonio Palacios y la cerámica: luz y color en la arquitectura. En: *Antonio Palacios, constructor de Madrid*. Catálogo de la exposición celebrada en Madrid. Ed. La Librería. 289-300.
- Rey Pichel, X.M. (1991): Presentación. En: *Antonio Palacios*. Catálogo de la exposición celebrada en Santiago de Compostela. Colegio Oficial de Arquitectos de Galicia. 1.
- Rioyo, J. (2001): Los decorados de Palacios. En: *Antonio Palacios, constructor de Madrid*. Catálogo de la exposición celebrada en Madrid. Ed. La Librería. 243-254.
- Sánchez, C. (1986): Hospital de Maudes: una joya del arquitecto Palacios rehabilitada. *Koine*, 6: 6-11.
- Sáinz, J.I. (1995): *El Granito Español*. Ed. Asociación Nacional de Graniteros Españoles, Madrid. 128 pp.
- Sebastián, E.M. (2007): La geología en la conservación del patrimonio arquitectónico. En: *Ciencia, Tecnología y Sociedad para una Conservación Sostenible del Patrimonio Pétreo* (E.M. Pérez-Monserrat, M. Gomez-Heras, M. Álvarez de Buergo & R. Fort, eds.). Restauradores Sin Fronteras y Proyecto Maternas. Ed. Ayuntamiento San Sebastián de los Reyes, Madrid. 167-178.
- Sobrino, M. (2002): La piedra como motivo para la arquitectura. Cuadernos del Instituto Juan de Herrera, Escuela de Arquitectura de Madrid. 32 pp.
- Touza, J. (1979): La arquitectura de Antonio Palacios. *Estudios e Investigación*, 15: 53-68; 16: 63-74.
- Touza, J. (1980): La arquitectura de Antonio Palacios. *Estudios e Investigación*, 17: 57-70; 18: 62-74; 19: 46-64.
- Urrutia, A. (1997): *Arquitectura española del siglo XX*. Colección Manuales Arte Cátedra. 878 pp.
- Varas, M.J., Gomez-Heras, M. y Fort, R. (2003): Abastecimiento de piedra en monumentos de Madrid del siglo XIX: la Cripta de la Catedral de Santa María de la Almudena y el Panteón de Hombres Ilustres. *Restauración y Rehabilitación*, 79: 46-51.
- Vélez Catraín, A. (1990): Sala de Exposiciones "Antonio Palacios". Ed. Consejería de Política Territorial, Comunidad de Madrid. 11.
- Viollet le Duc, E.E. (1996): La construcción medieval. El artículo Construcción del dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e au XVI^e siècle. Instituto Juan de Herrera y Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo.
- WVAA (1999): *Guía práctica de la cantería 1999*. Ed de los Oficios, León. 218 pp.

PARTE II**MATERIALES PÉTREOS Y CERÁMICOS UTILIZADOS EN LOS PARAMENTOS DEL ANTIGUO HOSPITAL****Capítulo 4**

- Aguilar Civera, I. (1980): Las estaciones ferroviarias de Madrid: su arquitectura e incidencia en el desarrollo de la ciudad. Servicio Publicaciones Colegio Oficial Arquitectos de Madrid. 250 pp.
- Aguirre, E., Díaz Molina, M. y Pérez-González, A. (1976): Datos paleontológicos y fases tectónicas en el Neógeno de la Meseta Central Española. *Trabajos del Neógeno y Cuaternario*, 5: 7-29.
- Alia, M., Portero, J.M. y Martín Escorza, C. (1973): Evolución geotectónica de la región de Ocaña (Toledo) durante el Neógeno y Cuaternario. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 71: 9-20.
- Alonso, F.J., Esbert, R.M. y Ordaz, J. (1987a): Comportamiento hídrico de calizas y dolomías. *Boletín Geológico y Minero*, 98 (4): 108-130.
- Alonso, F.J., Esbert, R.M. y Ordaz, J. (1987b): Caracterización del sistema poroso de calizas y dolomías. *Boletín Geológico y Minero*, 98 (2): 226-237.
- Alonso-Zarza, A.M., Calvo, J.P. y García del Cura, M.A. (1992a): Palustrine sedimentation and associated features -grainification and pseudo-microkarst- in the Middle Miocene (Intermediate Unit) of the Madrid Basin. *Sedimentary Geology*, 76: 43-61.
- Alonso-Zarza, A.M., Wright, V.P., Calvo, J.P. y García del Cura, M.A. (1992b): Soli-landscape relationships in the middle Miocene of the Madrid Basin. *Sedimentology*, 39: 17-35.
- Alonso-Zarza, A.M., Calvo, J.P. y García del Cura, M.A. (1993): Palaeogeomorphological controls on the distribution and sedimentary stiles of alluvial systems, Neogene of the NE of the Madrid Basin (Central Spain). En: Alluvial Sedimentation (M. Marzo & C. Puigdefábregas, eds.). Special Publication International Association of Sedimentologists, 17: 277-292.
- Alonso-Zarza, A.M. (2003): Palaeoenvironmental significance of palustrine carbonates and calcretes in the geological record. *Earth Science Reviews*, 60: 261-298.
- Alonso-Zarza, A.M., Calvo, J.P., Silva, P.G. y Torres, T. (2004): Cuenca del Tajo. En: Geología de España. Ed. IGME. 556-561.
- Alvar Ezquerro, A. (1993): Relaciones topográficas de Felipe II. Transcripción de documentos, vol I. Ed. Comunidad de Madrid y Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 483-495.
- Álvarez de Buergo, M. y González-Limón, T. (1994): Estudio del método de la medida de la velocidad de propagación del sonido y su aplicación a edificios históricos. *Ingeniería Civil*, 94: 69-74.
- ASTM E313:2010. Standard practice for calculating yellowness and whiteness indices from instrumentally measured color coordinates. American Society for Testing and Materials.
- ASTM D5873:2000. Standard test method for determination of rock hardness by rebound hammer method. American Society for Testing and Materials.
- Aydin, A. y Basu, A. (2005): The Schmidt hammer in rock material characterization. *Engineering Geology*, 81: 1-14.
- Bello, M.A., Martín, L. y Martín A. (1992): Identificación microquímica del mármol blanco de Macael en varios monumentos españoles. *Materiales de Construcción*, 42 (225): 23-30.
- Benavente, D., Martínez-Verdú, F., Bernabeu, A., Viqueira, V., Fort, R., García del Cura, M.A. y Ordóñez, S. (2003): Influence of surface roughness on color changes in building stones. *Color Research & Application*, 28 (5): 343-351.

- Benavente, D., García del Cura M.A., Fort R. y Ordóñez, S. (2004): Durability Estimation of Porous building Stones from Pore Structure and Strength. *Engineering Geology*, 74: 113-127.
- Benavente, D., Cueto, N., Martínez-Martínez, J., García del Cura M.A. y Cañiveras, J.C. (2007): The influence of petrophysical properties on the salt weathering of porous building rocks. *Environmental Geology*, 39: 105-113.
- Benayas, J., Pérez Mateos, J. y Riba, O. (1960): Asociación de los minerales detríticos en los sedimentos de la Cuenca del Tajo. *Anales de Edafología*, 19: 635-670.
- Bustillo, A. (1980): Petrografía y medios sedimentarios de la caliza del páramo (prov. de Madrid). *Boletín Geológico y Minero*, XCI-III: 503-514.
- Calvo, J.P., Ordóñez, A., García del Cura, M.A., Hoyos, M., Alonso-Zarza, A.M., Sanz, E. y Rodríguez Aranda, J.P. (1989): Sedimentología de los complejos lacustres miocenos de la Cuenca de Madrid. *Acta Geológica Hispana*, 24: 281-298.
- Calvo, J.P., Alonso-Zarza, A.M., García del Cura, M.A., Ordóñez, S., Rodríguez-Aranda, J.P. y Sanz Montero, M.E. (1996): Sedimentary evolution of lake systems through the Miocene of the Madrid Basin: paleoclimatic and paleohydrological constraints. En: Tertiary Basins of Spain (P.F. Friend & C.J. Dabrio, eds.). Cambridge University Press. 272-277.
- Cano de Gardoqui, J.L. (1991): Antecedentes de la arquitectura barroca española: las cubiertas de pizarra en las obras reales de Felipe II y su tránsito al siglo XVII. *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología*, 57: 291-300.
- Cañaveras, J.C., Calvo, J.P., Hoyos, M. y Ordóñez, S. (1996): Paleomorphologic features of an intra-Vallesian paleokarst, Tertiary Madrid Basin: significance of paleokarstic surface in continental basin analysis. Tertiary Basins of Spain (P.F. Friend & C.J. Dabrio, eds.). Cambridge University Press. 278-284.
- Capote, R. y Carro, S. (1968): Existencia de una red fluvial intramiocena en la depresión del Tajo. *Estudios Geológicos*, 24: 91-97.
- Capote, R. y Fernández-Casals, M.J. (1978): La tectónica postmiocena del sector central de la Depresión del Tajo. *Boletín Geológico y Minero de España*, 89: 114-122.
- Cárdenes, V., Rubio Ordóñez, A., Monterroso, C. y Mateos F.J. (2014): Guidelines for selecting roofing slate for the restoration of historical buildings and monuments: Two case studies. *Journal of Cultural Heritage*, 15: 203-208.
- Castells, J. y de la Concha. S. (1951): Memoria Hoja nº583 (Arganda). Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Ed. IGME.
- Commission Internationale de l'Eclairage, CIE (1978): CIE Recommendations on uniform color spaces, color-difference equations and psychometric color terms. *Colorimetry*, supplement: 2-15.
- Choquette, P.W. y Pray, L.C. (1970): Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *American Association Petroleum Geology Bulletin*, 54 (2): 207-250.
- Dapena, J.E., Ordóñez, S. y García del Cura, M.A. (1989): Estudio de las rocas calizas utilizadas durante los siglos XVIII y XIX en la construcción de Palacios de Madrid. *Ingeniería Civil*, 71: 67-77.
- Dapena, E. (1996): Piedra en bloque para edificación y obras de fábrica. En: Degradación y Conservación del Patrimonio Arquitectónico (F. Mingarro, ed.). Ed. Complutense. 271-288.
- De Castro López-Villarino, F. (1987): A modo de preámbulo. *Informes de la Construcción*, 39 (389): 20-30.
- De Diego Arribas, J. (1891): Morata de Tajuña, tomo XII. Biblioteca de la Revista Ilustrada la Provincia. 96 pp.
- De Pablos y Gostanza (1891): Colmenar de Oreja, Madrid. Biblioteca de la Provincia.

- De Vicente, G., González-Casado, J.M., Calvo, J.P., Muñoz-Martín, A., Giner, J. y Rodríguez-Pascua, M. (1994): Evolución y estructura alpinas del centro peninsular. *Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 19: 175-190.
- Del Prado, C. (1864): Descripción Física y Geológica de la Provincia de Madrid. Ed. Junta General de Estadística. 220 pp.
- De la Torre Briceño, J.A. y Paris, A. (1986): Centenario del Tren de Arganda: 1886-1986. Ed. Ayuntamiento de Arganda del Rey. 71 pp.
- De la Torre Briceño, J.A. (1999): Historia de la Villa de Morata de Tajuña. Ed. Ayuntamiento de Morata de Tajuña. 507 pp.
- Dunham, F.J. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture. En: Classification of carbonate rocks (W.E. Ham, ed.). American Association of Petroleum Geologists Memoirs, 1: 108-121.
- Esbert, R.M., Ordaz, J., Alonso, F.J. y Montoto, M. (1997): Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. 126 pp.
- Esbert, R.M., Alonso F.J. y Ordaz, J. (2008): La petrofísica en la interpretación del deterioro y la conservación de la piedra de edificación. *Trabajos de Geología*, Universidad de Oviedo, 28: 87-95.
- Fernández-Navarro, L. (1907): Excursión desde el valle del Tajuña al del Tajo. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, tomo VII: 136-139.
- Fernández-Navarro, L. y Carandell, J. (1914): El borde de la meseta terciaria de Alcalá de Henares. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, Tomo XIV. 304 pp.
- Flügel, E. (1982): Microfacies analysis of limestones. Springer-Verlag. 633 pp.
- Folk, R.L. (1959): Practical Petrographic classification of Limestones. *Bulletin of the American Association of Petroleum*, 43: 1-38.
- Ford, T.H. y Pedley, H.M. (1996): A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth Sciences Review*, 41: 117-175.
- Ford, D.C. y Williams, P.C. (1989): Karst geomorphology and hydrology. Unwin-Hyman. 601 pp.
- Fort, R. (1996a): Características cromáticas de los materiales de construcción. En: Degradación y Conservación del Patrimonio Arquitectónico (F. Mingarro, ed.). Ed. Complutense. 213-226.
- Fort, R. (1996b): Análisis del sistema poroso de las rocas. En: Degradación y Conservación del Patrimonio Arquitectónico (F. Mingarro, Ed.). Ed. Complutense. 227-236.
- Fort, R. (1996c): El agua en los materiales pétreos: comportamiento hídrico. En: Degradación y Conservación del Patrimonio Arquitectónico (F. Mingarro, ed.). Ed. Complutense. 237-248.
- Fort, R. (1996d): Localización de antiguas canteras utilizadas en el patrimonio monumental. En: Degradación y Conservación del Patrimonio Arquitectónico (F. Mingarro, ed.). Ed. Complutense. 311-316.
- Fort, R., Mingarro, F. y López de Azcona, M.C. (1996): Petrología de los materiales de construcción del Palacio Real de Madrid. *Geogaceta*, 20: 1236-1239.
- Fort, R., Bernabeú, A., García del Cura, M.A., López de Azcona, M.C., Ordóñez, S. y Mingarro, F. (2002): La Piedra Novelda: una roca muy utilizada en el patrimonio arquitectónico. *Materiales de Construcción*, 52 (266): 19-32.
- Fort R. (2008): Aplicación de la técnica de propagación de ondas ultrasónicas en el patrimonio pétreo. En: Durabilidad y Conservación de Materiales Tradicionales Naturales del Patrimonio Arquitectónico. Ed. Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción, Junta de Extremadura. 107-133.

- Fort, R., Fernández-Revuelta, B., Varas, M.J., Álvarez de Buergo, M. y Taborda, M. (2008): Effect of anisotropy on Madrid-region Cretaceous dolostone durability in salt crystallization processes. *Materiales de Construcción*, 58 (289-290): 161-177.
- Fort, R., Alvarez de Buergo, M. Perez-Monserrat, E., y Varas, M.J. (2010): Characterisation of monzogranitic batholiths as a supply source for heritage construction in the northwest of Madrid. *Engineering Geology*, 115 (3): 149-157.
- Fort, R., Varas, M.J., Álvarez de Buergo, M. y Freire, D.M (2011): Determination of anisotropy to enhance the durability of natural stone. *Journal of Geophysics and Engineering*, 8: 132-144.
- Fort, R., Álvarez de Buergo, M., Pérez-Monserrat, E., Gomez-Heras, M., Varas, M.J. y Freire, D.M. (2013a): Evolution in the use of natural building stone in Madrid, Spain. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 46: 421-429.
- Fort, R., Alvarez de Buergo, M. y Perez-Monserrat, E. (2013b): Non-destructive testing for the assessment of granite decay in heritage structures compared to quarry stone. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 61: 296-305.
- Fort, R., Varas-Muriel, M.J., Alvarez de Buergo, M. y Perez-Monserrat, E.M. (2014): Colmenar Limestone, Madrid, Spain: considerations for its nomination as a Global Heritage Stone Resource due to its long term durability. En: *Global Heritage Stone: Towards International Recognition of Building and Ornamental Stones*. Geological Society, London, Special Publications 407. <http://dx.doi.org/10.1144/SP407.8>
- Freire-Lista, D., Fort, R. y Varas-Muriel, M.J. (2015): Freeze-thaw fracturing in building granites. *Cold Regions Science and Technology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coldregions.2015.01.008>
- Freytet, P. y Plaziat, J.C. (1982): Continental carbonate sedimentation and pedogenesis: Late Cretaceous and Early Tertiary of southern France. *Contributions to Sedimentology*, 12. E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. 213 pp.
- Galán, E., Carretero, M.I. y Mayoral, E. (1999): A methodology for locating the original quarries used for constructing historical buildings: application to Málaga Cathedral, Spain. *Engineering Geology*, 54: 287-298.
- García del Cura, M.A. (1979): Las sales sódicas, calcosódicas y magnésicas de la Cuenca del Tajo. Serie Universitaria, 109. Fundación Juan March, Madrid. 39 pp.
- García del Cura, M.A., Ordóñez, S. y González, J.A. (1991): Los carbonatos biogénicos de los episodios terminales del relleno neógeno de la cuenca de Madrid. En: *I Congreso del Grupo Español del Terciario*. 136-139.
- García del Cura, M.A., Ordóñez, S., Dapena, E. y González, J.A. (1994): Las canteras de calizas en los interfluvios de los ríos Jarama-Tajuña-Tajo en la Comunidad de Madrid: valoración de recursos. *Boletín Geológico y Minero*, 105 (6): 575-590.
- García del Cura, M.A., Ordóñez, S., Fort, R. y Pina, J.A. (1996): El "Crema Marfil" (Pinoso, Alicante) II. Criterios petrográficos de calidad. *Geogaceta*, 20 (3): 731-734.
- García-Fernández, J. (1948): Colmenar de Oreja: la industria de tinajas y la explotación de canteras. *Estudios Geográficos*, 9 (33): 649-665.
- García de Miguel, J.M., Sánchez Castillo, L., Puche, O. y González-Aguado, M.T. (1992): Study of the Monumental Stone from Madrid District. En: *7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone* (J. Delgado, F. Henriques & F. Telmo, eds.). Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. 47-56.
- Gomez-Heras, M. y Fort, R. (2004): Localización de canteras de materiales no tradicionales en la arquitectura de Madrid: la Cripta de la Catedral de Santa María la Real de la Almudena. *Materiales de Construcción*, 54: 33-49.

- González-Limón, T. y Álvarez de Buergo, M. (2001): Deterioro de las fachadas pétreas del Palacio de Comunicaciones de Madrid. *Roc Maquina*, 70: 16-22.
- González-Yanci, M.P. (1974): Los accesos ferroviarios a Madrid. Su impacto en la geografía urbana de la ciudad. Instituto de Estudios Madrileños. 520 pp.
- Goudie, A.S. (2006): The Schmidt hammer in geomorphological research. *Progress in Physical Geography*, 30: 703-718.
- Guydader, J. y Denis, A. (1986): Propagation des ondes dans les roches anisotropes sous contrainte évaluation de la qualité des schistes ardoisiers. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 33: 49-55.
- Hernández-Pacheco, F. (1923): Geología de la Cuenca del Tajuña. En: Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, tomo VI: 137-143.
- Hernández-Pacheco, E. y Hernández-Pacheco, F. (1926): Aranjuez y el territorio sur de Madrid. Excursión B-3. XIV Congreso Geológico Internacional.
- Hernández-Pacheco, F. (1945): Materiales litológicos del territorio de Madrid empleados en la construcción. *Las Ciencias*, X (4): 959-982.
- Higes Toribio, J.R. (1988): Aportaciones a la historia del Hospital de Maudes, años 1916 a 1964. 220 pp.
- Hurtado Fernández, C. (1991): Colmenar de Oreja y su entorno. Ed. Graneas Zenit, Madrid. 633 pp.
- IGME (1975): Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Hoja nº560 (Alcalá de Henares).
- IGME (1975): Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Hoja nº583 (Arganda).
- IGME (1990): Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Hoja nº583 (Arganda).
- Jiménez de Gregorio, F. (1978): Apunte geográfico-económico de los pueblos de la provincia de Madrid en el año 1752. *Anales del Instituto de Estudios Madrileños*, tomo XXII: 259-300.
- Jiménez Vega, M. y Polo Muriel, F. (2001): Los fracasos del ferrocarril madrileño: los casos del ferrocarril Madrid-Almorox y del ferrocarril del Tajuña. En: II Congreso de Historia Ferroviaria, Siglo y Medio de Ferrocarriles en Madrid.
- Kindelan, J.A. y Cantos, J. (1946): Memoria Hoja nº606 (Chinchón). Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Ed. IGME.
- Lazzarini, L., Moschini, G. y Stievano, B.M. (1980): A contribution to the identification of Italian, Greek and Anatolian marbles through a petrological study and the evaluation of Ca/Sr ratio. *Archaeometry*, 22 (2): 173-183.
- Longman, N.W. (1980): Carbonate diagenetic textures from near-surface diagenetic environments. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 64: 461-487.
- Madoz, P. (1848): Diccionario Geográfico Estadístico Histórico de España y sus posesiones en ultramar, tomo XI.
- Martín, S. (1994): Materiales pétreos tradicionales de construcción en Madrid. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. 833 pp. <http://oa.upm.es/984/1/04199401a.pdf>
- Martínez Falero, J. (2000): La industria de la piedra natural en la Comunidad de Madrid. *Roc Maquina*, 61: 74-79.
- Megías, A.G., Ordóñez, S. y Calvo, J.P. (1983): Nuevas aportaciones al conocimiento geológico de la Cuenca de Madrid. *Revista de Materiales y Procesos Geológicos*, 1: 163-191.
- Menduiña, J., García del Cura, M.A., Fort, R. y Fernández-Revuelta, B. (2003): Las canteras cretácicas de caliza y dolomías de la Comunidad de Madrid: Un Patrimonio Minero de interés cultural. En: Patrimonio Geológico y Minero y Desarrollo Regional (I. Rábano, I. Manteca & C. García, eds.). Cuadernos del Museo Geominero 2. Ed. IGME. 235-241.
- Menduiña, J. y Fort, R. (coord.) (2005): Las piedras utilizadas en la construcción de los Bienes de Interés Cultural de la Comunidad de Madrid anteriores al siglo XVIII. Ed. IGME. 132 pp.

- Muñoz de Torres, A. (1993). Morata de Tajuña: lo que sé de mi pueblo. 198 pp.
- NORMAL 21/85, 1985. Permeabilità al vapor d'acqua. NORmalizzazione MAteriali Lapidei, Centro Nazionale della Ricerca e Istituto Central del Restauro.
- Obis, J. (200): Situación actual de los trabajos de normalización desarrollados por el CEN en el sector de la piedra natural. *Roc Maquina*, 63: 30-32.
- Ordóñez, S. y García del Cura. M.A. (1983): Recent and tertiary fluvial carbonates in Central Spain. En: Modern and Ancient Fluvial Systems (J.D. Collinson & J.D. Lewin, eds.). Special Publication of International Association of Sedimentologists, 6: 485-497.
- Ordoñez, S., Calvo, J.P., García del Cura, M.A., Hoyos, M. y Alonso-Zarza, A.M. (1991): Sedimentology of sodium sulphate deposits and special clays from the Tertiary Madrid Basin (Spain). En: Lacustrine Facies Análisis (P. Anadón, L. Cabrera & K. Kelts, eds.). Special Publication of International Association of Sedimentologists, 13: 37-53.
- Ordóñez, S. y García del Cura. M.A. (1994): Deposition and diagenesis of sodium-calcium sulphate salts in the Tertiary saline lakes of the Madrid Basin, Spain. En: Sedimentology and Geochemistry of Modern and Ancient Saline Lakes (R.W. Renaut & W.M. Last, eds.). Special Publication of Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 50: 220-238.
- Ordóñez, S., García del Cura, M.A., Fort, R. y Pina, J.A. (1996): El "Crema Marfil" (Pinoso, Alicante) I. Características petrofísicas y parámetros de durabilidad. *Geogaceta*, 20 (3): 727-730.
- Palacios, A. y Otamendi, J. (1904): Memoria del proyecto del Palacio de Comunicaciones, Madrid.
- Perea Ortega, A. (1986): La rehabilitación. En: Antonio Palacios y el Hospital de Maudes en la Memoria Arquitectónica de Madrid, vol 2. Centro de Información y Documentación. Consejería de Ordenación del Territorio, Medioambiente y Vivienda.
- Pla, S., Yébenes, A., Soria, J.M. y Viseras, C. (2007): Carbonatos palustres en llanuras de inundación fluviales del Plioceno-Pleistoceno (Cuenca de Guadix, Granada, España). *Geogaceta*, 43: 107-110.
- Portero, J.M. y Aznar, J.M. (1984): Evolución morfotectónica y sedimentación terciarias en el Sistema Central y cuencas limítrofes (Duero y Tajo). I Congreso Español de Geología, tomo 3: 253-263.
- Puche Riart, O. García de Miguel, J.M., Sánchez Castillo, L., Mata Perelló, J.M. y González Aguado, M.T. (1991): El uso de las piedras de corte en los monumentos y en la construcción. 1. Areniscas y calizas. *Materiales de Construcción*, 41 (223): 41-52.
- Puche, O. y Mazadiego, L.F. (1999): Explotaciones históricas de calizas en la Comunidad de Madrid: Colmenar de Oreja. En: IV Sesión Científica de la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero. 91-104.
- Puche, O., Mazadiego, L.F., Ortiz, J.E. y Llamas, J.F. (2007): Yeserías históricas de Morata de Tajuña (Madrid). *Materiales de Construcción*, 57 (287): 81-87.
- Purdy, E.G. (1963): Recent calcium carbonate facies of the Great Bahama Bank. 2. Sedimentary facies. *The Journal of Geology*, 71 (4): 472-497.
- Quirantes, J. (1966): Estudio sedimentológico de las calizas del Terciario Continental. En: IV Reunión del Grupo Español de Sedimentología.
- Riba, O. (1957): Ensayo sobre la distribución de las litofacies del Terciario continental de la Cuenca del Tajo al W de la Sierra de Altomira. *Cursillos y Conferencias Instituto Lucas Mallada*, 3. 177 pp.
- Riba, O., Arévalo, P. y Leiva, A. (1969): Estudio sedimentológico de las calizas del Páramo del terciario de la cubeta del Tajo. *Boletín Geológico y Minero*, 80: 525-537.

- RILEM (1980): Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods. Commission 25 PEM (Protection et erosion des monuments). The International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures. *Materials and Structures*, 75: 175-253.
- Rodríguez, J. y Alcalde, M. (1998): La alteración de la piedra en la Catedral de Jerez (Cádiz, España). En: IV Congreso Internacional de Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación. 197-199.
- Rodríguez, A.L. (2003): El ferrocarril del Tajuña, de gran proyecto ferroviario a línea de metro. *Via Libre*, 464.
- Rodríguez-Aranda, J.P., Calvo, J.P. y Ordóñez, S. (1991): Transición de abanicos aluviales a evaporitas en el Mioceno del borde oriental de la Cuenca de Madrid (Sector de Barajas de Melo-Illana). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 4: 33-50.
- Rodríguez-Navarro, C. y Sebastián-Pardo, E. (1994): Técnicas de análisis del sistema poroso de materiales pétreos ornamentales: usos y limitaciones. *Ingeniería Civil*, 96: 130-142.
- Rodríguez-Navarro, C., Sebastián-Pardo, E., Doehne, E. y Ginell, W.S. (1998): The role of sepiolite-palygorskite in the decay of ancient Egyptian limestone sculptures. *Clay and Clay Minerals*, 46: 414-422.
- Rodríguez-Navarro, C. (2003): Análisis porosimétrico de rocas ornamentales. En: Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los edificios históricos. Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico. Cuadernos Técnicos (R. Villegas & E. Sebastián, eds.), vol. 8. Ed. Junta de Andalucía, Consejería de Cultura. 134-153.
- Royo Gómez, J. (1929): Datos para el estudio de la geología de la provincia de Madrid. Cuenca terciaria del Alto Tajo. Hoja nº560 (Alcalá de Henares). Ed. IGME.
- Russell, S.A. (1927): Stone preservation committee report (Appendix I). H.M. Stationary Office, London.
- Sánchez, A. (1995): Libro Blanco de la minería de la Comunidad de Madrid. Ed. ITGE y Consejería de Economía de la CAM. Madrid. 110 pp.
- Sancho-Gaspar, J.L. (1996): Análisis histórico del patrimonio pétreo. En: Degradación y Conservación del Patrimonio Arquitectónico (F. Mingarro, Ed.). Ed. Complutense. 311-316.
- Sanz-Montero, M.E., Calvo, J.P., García del Cura, M.A. y Ordóñez, S. (1989): Desarrollo de perfiles de calcreta en calizas del Terciario Superior de la Cuenca de Madrid. En: XII Congreso Español de Sedimentología. 257-260.
- Sanz-Montero, M.E., Alonso-Zarza, A.M. y Calvo, J.P. (1995): Carbonate pond deposits related to semi-arid alluvial systems: examples from the Tertiary Madrid Basin, Spain. *Sedimentology*, 42: 437-452.
- San José Lancha, M.A. (1975): Memoria Hoja nº583 (Arganda). Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Ed. IGME.
- Sanz-Montero, M.E. (1996): Sedimentología de las Formaciones Neógenas del Sur de la Cuenca de Madrid. Ed. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Ministerio de Fomento. 245 pp.
- Sanz-Montero, M.E., Calvo, J.P., García del Cura, M.A. y Cañaveras, J.C. (2003): Rasgos morfológicos y petrológicos del paleokarst de la Unidad Superior del Mioceno de la Cuenca de Madrid. *Estudios Geológicos*, 59: 67-81.
- Scholle, P.A. y Ulmer-Scholle, D.S. (2003): A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, textures, porosity, diagenesis. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 77. 474 pp.
- Schwenzner, J. (1936): Zur mophologie des Zentralspanischen Hochlandes. Geographische Abhandlungen. J. Engelhorn's Nachfolger, Stuttgart. 129 pp.

- Sousa, L.M., Del Río, L.M.S., Calleja, L., de Argandona, V.G.R. y Rey, A.R. (2005): Influence of microfractures and porosity on the physico-mechanical properties and weathering of ornamental granites. *Engineering Geology*, 77 (1): 153-168.
- Tucker, M.E. y Wright, V.R (1990): Carbonate Sedimentology. Blackwell, Oxford. 482 pp.
- Utanda Moreno, L. (2004): La evolución histórica en la comarca de las Vegas (1750-1950). En: Historia, clima y paisaje. Estudios Geográficos en memoria del profesor Antonio López Gómez. 566 pp.
- UNE-EN 12407:2001. Métodos de ensayo para piedra natural. Estudio petrográfico. Una Norma Española.
- UNE-EN 1936:2006. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total. Una Norma Española.
- UNE-EN 14579:2005. Métodos de ensayo para piedra natural. Determinación de la velocidad de propagación del sonido. Una Norma Española.
- UNE-EN 15886:2011. Conservación del patrimonio cultural. Métodos de ensayo. Medición del color de superficies.
- Vegas, R., Vázquez, T. y Marcos, A. (1986): Tectónica alpina y morfogénesis en el Sistema Central español: modelo de deformación intracontinental distribuida. *Geogaceta*, 1: 24-25.
- Veniale, F., Setti, M., Rodriguez-Navarro, C. y Lodola, S. (2001): Role of clay constituents in stone decay processes. *Materiales de Construcción*, 51 (263-264): 163-182.
- Villarroya, F. (1977): Hidrogeología regional del Neógeno detrítico y Cuaternario de la cuenca del río Henares. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid.
- Vos, B.H. (1978): Hygric methods for the determination of the behaviour of stones. En: International Symposium Deterioration and Protection of Stone Monuments. 19 pp.
- Wright, V.P. (1982): The recognition and interpretation of paleokarst: two examples from the Lower Carboniferous of South Wales. *Journal of Sedimentary Petrology*, 45: 19-37.
- Wright, V.P., Alonso-Zarza, A.M., Sanz, M.E. y Calvo, J.P. (1997): Diagenesis of Late Miocene micritic lacustrine carbonates, Madrid Basin, Spain. *Sedimentary Geology*, 114: 81-95.
- Yasar, E. y Erdogan, Y. (2004): Estimation of rock physico-mechanical properties using hardness methods. *Engineering Geology*, 71: 281-288.
- Zeza, U. (1990): Physical-mechanical properties of quarry and building stones. En: Proceedings Advanced Workshop Analytical Methodologies for the Investigation of Damaged Stones (F. Veniale & U. Zeza, eds.). 21 pp.

Capítulo 5

- Álvarez de Buergo, M. (1997): Caracterización, alteración medioambiental y restauración en paramentos del patrimonio arquitectónico. Monografía M-58. Ed. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.
- Carretero, M.I., Dondi, M., Fabbri, B. y Raimondo, M. (2002): The influence of shaping and firing technology on ceramic properties of calcareous and non-calcareous illitic-chloritic clays. *Applied Clay Science*, 20: 301-306.
- Cazalla, O. y De la Torre, M.J. (2003): Morteros de restauración y morteros antiguos. En: Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los edificios históricos. Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico. Cuadernos Técnicos (R. Villegas & E. Sebastián, eds.), vol 8. Ed. Junta de Andalucía, Consejería de Cultura. 36-47.
- Cultrone, G., Rodríguez-Navarro, C., Sebastián, E., Cazalla, O. y De la Torre, M.J. (2001): Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing. *European Journal of Mineralogy*, 13: 621-634.

- Cultrone, G., Sebastián, E., Elerta, K., De la Torre, M.J., Cazalla, O. y Rodríguez-Navarro C. (2004): Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks. *Journal of European Ceramic Society*, 24: 547-564.
- Díaz, C., Torres-Martínez, L.M., Garza, L., Avalos, M. y Rincón, J.Ma. (1993): Turning geothermal waste into glasses and glass-ceramics. *American Ceramic Society Bulletin*, 72 (10): 81-82.
- Fernández-Navarro, J.M. (2003): El vidrio. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid. 720 pp.
- Flores, V., Guiráum, A. y Barrios, J. (1999): Caracterización de ladrillería tradicional producida en la Vega del Guadalquivir, en zonas próxima a Sevilla. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 38 (1): 29-34.
- Fort, R., Álvarez de Buergo, M., López de Azcona, M.C., Mingarro, F., Varas, M.J. y Soriano, J. (2004): Caracterización de la fábrica de ladrillo del palacios del Infante Don Luis, Boadilla del Monte, Madrid. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 43 (2): 578-582.
- Freestone, I.C. y Middleton, A.P. (1987): Mineralogical applications of the analytical SEM in archaeology. *Mineralogical Magazine*, 51: 21-31.
- Gestoso y Pérez, J. (1903): Historia de los barros vidriados sevillanos, desde nuestros orígenes hasta nuestros días. Tipografía La Andaluza Moderna, Sevilla.
- González-García, F., García Ramos, G., Romero Acosta, V. y González Rodríguez, M. (1988): Arcillas empeladas en la fabricación del azulejo artístico de Sevilla. Propiedades y transformaciones por cocción. I. Materiales que contienen carbonato de calcio. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 27 (4): 215-223.
- González-García, F., Romero-Acosta, V., García-Ramos, G. y González-Rodríguez, M. (1990): Firing transformations of mixtures of clays containing illite, kaolinite and calcium carbonate used by ornamental tile industries. *Applied Clay Science*, 5 (4): 361-375.
- Heimann, R.B. (1989): Assessing the technology of ancient pottery: the use of ceramic phase diagrams. *Archeomaterials*, 3: 123-148.
- Hevia, R. (2002): Introducción a los materiales cerámicos. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. 244 pp.
- IGME (1975): Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Hoja nº984 (Sevilla).
- IGME (1977): Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Hoja nº495 (Castelseras).
- IGME (2004): Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Hoja nº558 (Majadahonda).
- ITGE (1990): Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Hoja nº509 (Torrelaguna).
- ITGE (1991): Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000. Hoja nº483 (Segovia).
- Jordán, M.M., Boix, A., Sanfeliu, T. y De la Fuente, C. (1999): Firing transformations of cretaceous clays used in the manufacturing of ceramic tiles. *Applied Clay Science*, 14 (4): 225-234.
- Jordán, M.M., Sanfeliu, T. y De la Fuente, C. (2001): Firing transformations of Tertiary clays used in the manufacturing of ceramic tile bodies. *Applied Clay Science*, 20: 87-95.
- Jordán, M.M., Almendro-Candel, M.B., Romero, M. y Rincón, J.Ma. (2005): Application of sewage sludge in the manufacturing of ceramic tile bodies. *Applied Clay Science*, 30: 219-224.
- Karasu, B., Çaki, M. y Turan, S. (2000): The development and characterization of zinc crystal glazes used for Amakusa-like soft porcelains. *Journal of European Ceramic Society*, 20: 2225-2231.
- Kingery, W.D., Bowen, H.K. y Uhlmann, D.R. (1976): Introduction to Ceramics. John Wiley & Sons, New York. 620 pp.
- Kingery, W.D. y Vandiever, P.M. (1986): Ceramic Masterpieces. Art, Structure and Technology. Ed. The Free Press.
- Kreimeyer, R. (1987): Some notes on the firing colour of clay bricks. *Applied Clay Science*, 2: 175-183.

- Leguey, S., Carretero, M.I., Fabbri, B. y Galán, E. (2001): Caracterización mineralógica y química de los ladrillos de la Torre del Oro de Sevilla: una aproximación a la temperatura de cocción y origen de las materias primas. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 40 (6): 453-459.
- López-Arce, P., García-Guinea, J., Gracia, M. y Obis, J. (2003): Bricks in historical buildings of Toledo City: characterization and restoration. *Materials Characterization*, 50: 59-68
- López-Arce, P. (2004): Ladrillos de edificios históricos de Toledo: caracterización, origen de materias primas y aplicaciones para su conservación y preservación. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid. 541 pp. <http://eprints.ucm.es/12166/1/T27391.pdf>
- López-Arce, P., Benavente, D. y García-Guinea, J. (2005): Durability improvement of ancient bricks by cementation of porous media. *Journal of the American Ceramic Society*, 88 (9): 2564-2572.
- López-Arce, P. y García-Guinea, J. (2005): Weathering traces in ancient bricks from historic buildings. *Building and Environment*, 40: 929-941.
- Maggetti, M. (1982): Phase analysis and its significance for technology and origin. En: *Archaeological Ceramics* (J.S. Olin, ed.). 121-133.
- Maniatis, I., Simopoulos, A. y Kosticas, A. (1981): Mössbauer study of the effect of calcium content of the iron oxide transformations in fired clays. *Journal of the American Ceramic Society*, 64: 263-269.
- Maritan, L., Nodari, L., Mazzoli, C., Milano, A. y Russo, U. (2006): Influence of firing conditions on ceramic products: Experimental study on clay rich in organic matter. *Applied Clay Science*, 31: 1-15.
- Molera, J., Pradell, T. y Vendrell-Saz, M. (1998): The colours of Ca-rich ceramic pastes: origin and characterization. *Applied Clay Science*, 13: 187-202.
- Morales Güeto, J. (2005): Tecnología de los materiales cerámicos. Ed. Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid. 350 pp.
- Moropoulou, A., Bakolas, A. y Bisbikou, K. (1995): Thermal analysis as a method of characterizing ancient ceramic technologies. *Thermochimica Acta*, 269-270: 743-753.
- Nodari, L., Marcuz, E., Maritan, L., Mazzoli, C. y Russo, U. (2007): Hematite nucleation and growth in the firing of carbonate-rich clay for pottery production. *Journal of European Ceramic Society*, 27: 4665-4673.
- Otamendi, M. (1929): El ferrocarril metropolitano Alfonso XIII de Madrid. *Metropolitanos Alfonso XIII*, Blass, S.A.
- Perez-Monserrat, E.M., Fort, R., Lopez-Arce, P., Alvarez de Buergo, M. y Varas-Muriel, M.J. (2013): Contribution of analytical techniques to determine the technologies used in the ceramic materials from the Former Workers Hospital of Maudes, Madrid (Spain). *Journal of European Ceramic Society*, 33: 479-491.
- Perla, A. (1990): La Cerámica. En: *Un Monumento recuperado: La rehabilitación del Hospital de Jornaleros de Maudes, Madrid*. Ed. Consejería de Política Territorial, Comunidad de Madrid. 131-161.
- Peters, T. y Iberg, R. (1978): Mineralogical changes during firing of calcium-rich bricks clays. *American Ceramic Society Bulletin*, 57 (5): 503-509.
- Quesada Martín, M.J. (1984): Daniel Zuloaga, ceramista y pintor. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid (158/84).
- Riccardi, M.P., Messiga, B. y Duminuco, P. (1999): An approach to the dynamics of clay firing. *Applied Clay Science*, 15 (3-4): 393-409.
- Rice, P.M. (1987): Pottery analysis. A sourcebook. University of Chicago Press.
- Rincón, J.Ma., Márquez, H. y Rivera, E. (1991): Electron microscopy and EDX microanalysis of photochromic silver halide glasses of the composition systems: $Al_2O_3-B_2O_3-SiO_2$ and $Na_2O-CaO-SiO_2$. *Journal of Material Science*, 26: 1192-1198.

- Rincón, J.Ma. y Romero, M. (2000): Basis and classification of efflorescences in construction bricks. *Materiales Construcción*, 50 (260): 63-69.
- Romani, A., Miliani, C., Morresi, A., Forini, N. y Favaro, G. (1999): Surface morphology and composition of some "lustro" decorated fragments of ancient ceramic from Deruta (Central Italy). *Applied Surface Science*, 157: 112-122.
- Rubio-Celada, A. (2004): De la tradición a la modernidad, los Zuloaga ceramistas. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid. 827 pp. <http://biblioteca.ucm.es/tesis/ghi/ucm-t28044.pdf>
- Sebastián, E. y Cultrone, G. (2003): Los materiales cerámicos en el patrimonio arquitectónico. En: Metodología de diagnóstico y evaluación de tratamientos para la conservación de los edificios históricos. Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico. Cuadernos Técnicos (R. Villegas & E. Sebastián, eds.), vol 8. Ed. Junta de Andalucía, Consejería de Cultura. 48-57.
- Segnit, E.R. y Anderson, C.A. (1972): Scanning electron microscopy of fired illite. *Transactions of the British Ceramic Society*, 71: 85-88.
- Singer, F. y Singer, S.S. (1963): Industrial Ceramics. Chapman and Hall, London.
- Tite, M.S. y Maniatis, Y. (1975): Examination of ancient pottery using the scanning electron microscope. *Nature* 257 (5522): 122-123.
- Tite, M.S., Freestone, I. y Mason, R. (1998): Lead glazes in antiquity-methods of production and reasons for use. *Archaeometry*, 40 (2): 241-260.
- Toledo, R., Dos Santos, D.R., Faria, Jr R.T, Carrio, J.G., Auler, L.T. y Vargas, H. (2004): Gas release during clay firing and evolution of ceramic properties. *Applied Clay Science*, 27: 151-157.
- Traoré, K., Kabre, T.S. y Blanchart, P. (2000): Low temperature sintering of a clay for pottery from Burkina Faso. *Applied Clay Science*, 17 (5): 279-292.
- Traoré, K., Kabre, T.S. y Blanchart, P. (2003): Gehlenite and anorthite crystallisation from kaolinite and calcite mix. *Ceramics International*, 29: 377-383.
- Trindade, M.J., Dias, M.I., Coroado, J. y Rocha, F. (2009): Mineralogical transformations of calcareous rich clays with firing: A comparative study between calcite and dolomite rich clays from Algarve, Portugal. *Applied Clay Science*, 42: 345-355.
- Tulyaganov, D.U., Agathopoulos, S., Fernandes, H.R. y Ferreira, J.M.F. (2007): The influence of incorporation of ZnO-containing glazes on the properties of hard porcelains. *Journal of European Ceramic Society*, 27: 1665-1670.
- Veniale, F. (1990): Modern techniques of analysis applied to ancient ceramics. En: Proceedings Advanced Workshop Analytical Methodologies for the Investigation of Damaged Stones (F. Veniale & U. Zezza, eds.). 21 pp.
- Vielhaber, L. (1954): Tecnología de los esmaltes. Ed. Reverté, S.A. 171 pp.

Capítulo 6

- Aspiazu, L. (1924): Cementos Uriarte Zubimendi, S.A. Inalterables por las aguas del mar y por la seleniotosas, Zumaya, Guipúzcoa. 31 pp.
- Balbas, A., Delgado, S., Pavia, S. y Ruenco, J.L. (2001): Caracterización de morteros. En: I Jornadas de Caracterización y Restauración de Materiales Pétreos en Arquitectura y Escultura. Ed. Fundación Uncastillo, Universidad de Zaragoza. 151-185.
- Bisconti, G., Pellizon Birelli, M. y Zendri, E. (2002): Characterization of binders employed in the manufacture of Venetian historical mortars. *Journal of Cultural Heritage*, 3: 31-37.

- Callebaut, K., Elsen, J., Van Belen, K. y Viaene, W. (2001): Nineteenth century hydraulic restoration mortars in the Saint Michael's Church (Leuven, Belgium). Natural hydraulic or cement?. *Cement and Concrete Research*, 31: 397-403.
- Crespo Cabillo, I. (2005). Control gráfico de formas y superficies de transición. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona. 333 pp. <http://hdl.handle.net/10803/6559>
- Chiari, G. Santarelli, M.L. y Torraca, G. (1992): Caratterizzazione delle malte storiche mediante l'analisi di campioni non frazionati. *Materiali e Strutture*, 3: 111-137.
- Galán, E., Leguey, S. y Carretero, M.I. (2002): The mortars of the Torre del Oro (Sevilla, Spain). En: Protection and Conservation of Cultural Heritage of the Mediterranean Cities (E. Galán & F. Zezza, eds.). 165-172.
- Lea, F.M. (1976): The chemistry of cement and concrete. Edward Arnold, London
- Pérez, P.P, Navarro, J.V. y Sánchez, A. (2008): Incidencia del empleo de morteros de azufre en edificios del siglo XIX: daños producidos en la valla perimetral de la Biblioteca Nacional y del Museo Arqueológico Nacional *Revista Bienes Culturales*, 8: 167-179.
- Sabbioni, C., Zappia, G., Riontino, C., Blanco-Varela, M.T., Aguilera, J., Puertas, F., Van Belen, K. y Toumbakari, E.E. (2001): Atmospheric deterioration of ancient and modern hydraulic mortars. *Atmospheric Environment*, 35: 539-548.
- Varas, M.J., Alvarez de Buergo, M. y Fort, R. (2005): Natural cement as the precursor of Portland cement: methodology for its identification. *Cement and Concrete Research*, 35: 2055-2065.
- Varas, M.J., Alvarez de Buergo, M. y Fort, R. (2007a): The origin and development of natural cements: The Spanish experience. *Construction and Building Materials*, 21: 436-445.
- Varas, M.J., Alvarez de Buergo, M. y Fort, R. (2007b): Piedras artificiales: morteros y hormigones. El cemento como máximo representante de estos materiales de construcción. En: Ciencia, Tecnología y Sociedad para una Conservación Sostenible del Patrimonio Pétreo (E.M. Pérez-Monserrat, M. Gomez-Heras, M. Álvarez de Buergo & R. Fort, eds.). Restauradores Sin Fronteras y Proyecto Maternas. Ed. Ayuntamiento San Sebastián de los Reyes, Madrid. 179-189.

PARTE III**DETERIORO FÍSICO-QUÍMICO Y/O ESTÉTICO EN LOS PARAMENTOS DEL ANTIGUO HOSPITAL**

- Agbota, H., Young, C. y Strlič, M. (2013): Pollution monitoring at heritage sites in developing and emerging economies. *Studies in Conservation*, 58 (2): 129-144.
- Ashurst, J. y Ashurst, N. (1988): Practical Building Conservation, vol 1, Stone Masonry. Gower Technical Press, Aldershot. 144 pp.
- Alonso, F.J., Esbert R.M., Ordaz, J. y Grossi, C.M. (2004): Reactividad frente al SO₂ de piedras limpiadas con láser. *Materiales de Construcción*, 54 (273): 45-55.
- Alvarez de Buergo, M. y Fort, R. (2001): Basic methodology for the assessment and selection of water-repellent treatments applied on carbonatic materials. *Progress in Organic Coatings*, 43 (4): 258-266.
- Alves, C. (2010): "White" crusts on recent buildings. En: Materials Science Forum (L. Guerra & F. Miranda, eds.), 636: 1300-1305.
- Amoroso, G.G. y Fassina, V. (1983): Stone decay and conservation. Atmospheric pollution, cleaning, consolidation and protection. Material Science Monographs. Elsevier Science Ltd. 474 pp.
- Andrew, C. (1992): Towards an aesthetic theory of building soling. En: Proceedings International Conference Stone Cleaning and the Nature, Soiling and Decay Mechanisms of Stone (R.G.M. Webster, ed.). Donhead, London. 63-81.
- Aránguez, E., Ordóñez, J.M., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández-Patier, R., Gandarillas, A. y Galán, I. (1999): Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. *Revista Española de Salud Pública*, 73 (2): 123-132.
- Ariño, X., Ortega-Calvo, J.J., Gomez-Bolea, A. y Sáiz-Jiménez, C. (1995): Lichen colonization of the Roman pavement at Baelo Claudia (Cadiz, Spain): biodeterioration vs. bioprotection. *Science of the Total Environment*, 167 (1): 353-363.
- Ariño, X. y Sáiz-Jiménez, C. (1996): Colonization and deterioration processes in Roman mortars by cyanobacteria, algae and lichens. *Aerobiología*, 12 (1): 9-18.
- Arnold, A. y Zehnder, K. (1990): Salt weathering on monuments. En: Proceedings 1st International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin (F. Zezza, ed.). Grafo Edizioni. 31-58.
- Artiñano, B., Pujadas, M., Plaza, J., Crespí, S.N., Cabal, H., Aceña, B. y Terés, J. (1994): Air pollution episodes in the Madrid airshed. En: Transport and Transformation of Pollutants in the Troposphere (P.M. Borrel, P. Borrell, T. Cvitas & W. Seiler, eds.). SPB Academic Publishing, Copenhagen. 294-297.
- Artiñano, B., Salvador, P., Alonso, D.G., Querol, X. y Alastuey, A. (2003): Anthropogenic and natural influence on the PM₁₀ and PM_{2.5} aerosol in Madrid (Spain). Analysis of high concentration episodes. *Environmental Pollution*, 125 (3): 453-465.
- Artiñano, B., Salvador, P., Alonso, D.G., Querol, X. y Alastuey, A. (2004): Influence of traffic on the PM₁₀ and PM_{2.5} urban aerosol fractions in Madrid (Spain). *Science of the Total Environment*, 334: 111-123.
- Ascaso, C. y Wierzchos, J. (1995): Study of the biodeterioration zone between the lichen thallus and the substrate. *Cryptogamic Botany*, 5: 270-281.
- Ascaso, C., Wierzchos, J., Souza-Egipsy, V., De los Ríos A. y Rodrigues, J.D. (2002): In situ evaluation of the biodeteriorating action of microorganisms and the effects of biocides on carbonate rock of the Jeronimos Monastery (Lisbon). *International Biodeterioration & Biodegradation*, 49 (1): 1-12.
- Ausset, P., Lefevre, R., Philippon, J. y Venet, C. (1992): Large scale distribution of fly-ash particles inside weathering crusts on calcium carbonate substrates: some examples on French monuments. En:

- Proceedings 2nd International Symposium on Conservation Monuments of the Mediterranean Basin (D. Decrouez, J. Chamay & F. Zezza, eds.). Musee d'Art et d'Histoire, Geneve. 121-139.
- Ausset, P., Crovisier, J. L., Del Monte, M., Furlan, V., Girardet, F., Hammecker, C., Jeannette, D. y Lefevre, R.A. (1996): Experimental study of limestone and sandstone sulphation in polluted realistic conditions: the Lausanne Atmospheric Simulation Chamber (LASC). *Atmospheric Environment*, 30 (18): 3197-3207.
- Ausset, P., Bannery, F., Del Monte, M. y Lefevre, R.A. (1998): Recording of pre-industrial atmospheric environment by ancient crusts on stone monuments. *Atmospheric Environment*, 32 (16): 2859-2863.
- Ausset, P., Del Monte, M. y Lefevre, R.A. (1999): Embryonic sulphated black crusts on carbonate rocks in atmospheric simulation chamber and in the field: role of carbonaceous fly-ash. *Atmospheric Environment*, 33 (10): 1525-1534.
- Ausset, P., Lefèvre, R.A. y Del Monte, M. (2000): Early mechanisms of development of sulphated black crusts on carbonate stone. En: Proceedings International Conference Heritage, Weathering and Conservation (R. Fort, M. Alvarez de Buergo, M. Gomez-Heras & C. Vazquez-Calvo, eds.), vol 1. Taylor & Francis, London.329-337.
- Barbaray, B., Contour, J.P. y Mouvier, G. (1977): Sulfur dioxide oxidation over atmospheric aerosol-X-ray photoelectron spectra of sulfur dioxide adsorbed on V2O5 and carbon. *Atmospheric Environment (1967)*, 11 (4): 351-356
- Bech-Andersen, J.C.P. (1983): Studies of lichen growth and deterioration of rocks and building materials using optical methods. *Biodeterioration*, 5: 568-572.
- Bede, E.A. (2000): Characterization of surface morphology of carbonate stone and its effects on surface uptake of SO₂. En: Proceedings 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone (V. Fassina, ed.), vol. 1. Elsevier, Amsterdam. 303-311.
- Beloin, N.J. y Haynie, F.H. (1975): Soiling of building materials. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 25 (4): 399-403.
- Bellan, L.M., Salmon, L.G. y Cass, G.R. (2000): A study on the human ability to detect soot deposition onto works of art. *Environmental Science & Technology*, 34 (10): 1946-1952.
- Benavente, D., Martínez-Verdú, F., Bernabeu, A., Viqueira, V., Fort, R., García del Cura, M.A. y Ordóñez, S. (2003): Influence of surface roughness on color changes in building stones. *Color Research & Application*, 28 (5): 343-351.
- Benedetti, D., Bontempi, E., Pedrazzani, R., Zacco, A. y Depero, L.E. (2008): Transformation in calcium carbonate stones: some examples. *Phase Transitions*, 81 (2-3): 155-178.
- Blocken, B., Derome, D. y Carmeliet, J. (2013): Rainwater runoff from building facades: a review. *Building and Environment*, 60: 339-361.
- Brimblecombe, P. (2013): Environmental assessment and monitoring of cultural heritage. *Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage*, 1.
- Building Effect Review Group, BERG (1989): The effect of acid deposition on buildings and building materials in the United Kingdom. Her Majesty's Stationery Office, London. 120 pp.
- Bonazza, A., Sabbioni, C., Ghedini, N., Favoni, O. y Zappia, G. (2004): Carbon data in black crusts on European monuments. En: Air Pollution and Cultural Heritage (C. Sáiz-Jiménez, ed.). Taylor & Francis, London. 39-47.
- Bonazza, A., Sabbioni, C. y Ghedini, N. (2005): Quantitative data on carbon fractions in interpretation of black crusts and soiling on European built heritage. *Atmospheric Environment*, 39 (14): 2607-2618.

- Bonazza, A., Brimblecombe, P., Grossi, C.M. y Sabbioni, C. (2007): Carbon in black crusts from the Tower of London. *Environmental Science & Technology*, 41 (12): 4199-4204.
- Bonazza, A., Messina, P., Sabbioni, C., Grossi, C.M. y Brimblecombe, P. (2009): Mapping the impact of climate change on surface recession of carbonate buildings in Europe. *Science of the Total Environment*, 407 (6): 2039-2050.
- Boutin, F. y Leroux, L. (2000): Color and weight evolution of limestones protected by water repellents after three-year ageing period in urban conditions. En: Proceedings 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone (V. Fassina, ed.), vol. 2. Elsevier, Amsterdam. 197-205.
- Böke, H., Göktürk, E.H., Caner-Saltık, E.N. y Demirci, Ş. (1999): Effect of airborne particle on SO₂-calcite reaction. *Applied Surface Science*, 140 (1): 70-82.
- Böke, H., Göktürk, E.H. y Saltık, E.N. (2002): Effect of some surfactants on SO₂-marble reaction. *Materials Letters*, 57 (4): 935-939.
- Böke, H. y Gauri, K.L. (2003): Reducing marble-SO₂ reaction rate by the application of certain surfactants. *Water, Air and Soil Pollution*, 142 (1-4): 59-70.
- Braun E.C. y Wilson M.J.G. (1970): The removal of atmospheric sulphur by building stones. *Atmospheric Environment*, 4: 371-378.
- Brimblecombe, P. y Grossi, C.M. (2004): The rate of darkening of material surfaces. En: Air Pollution and Cultural Heritage (C. Sáiz-Jiménez, ed.). Taylor & Francis, London. 193-198.
- Brimblecombe, P. (2005): Effects of the cultural environment. En: Cultural Heritage Conservation and Environmental Impact Assessment by Non Destructive Testing and Micro-Analysis (R. van Grieken & K. Janssens, eds.). 11-18.
- Brimblecombe, P. y Grossi, C.M. (2005): Aesthetic thresholds and blackening of stone buildings. *Science of the Total Environment*, 349: 175-189.
- Butlin, R.N., Coote, A.T., Devenish, M., Hughes, I.S.C., Hutchens, C.M., Irwin, J.G. y Yates, T.J.S. (1992): Preliminary results from the analysis of stone tablets from the National Materials Exposure Programme (NMEP). *Atmospheric Environment Part B Urban Atmosphere*, 26 (2): 189-198.
- Brock, T.D., Madigan, M.T., Martinko, J.M., Parker, J. (1994): *Biology of Microorganisms*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 874 pp.
- Cachier, H., Sarda-Estève, R., Oikonomou, K., Sciare, J., Bonazza, A., Sabbioni, C. y Reyes, J. (2004): Aerosol characterization and sources in different European urban atmospheres: Paris, Seville, Florence and Milan. En: Air Pollution and Cultural Heritage (C. Sáiz-Jiménez, ed.). Taylor & Francis, London. 3-14.
- Camuffo, D., Del Monte, M., Sabbioni, C. y Vittori, O. (1982): Wetting, deterioration and visual features of stone surfaces in an urban area. *Atmospheric Environment*, 16 (9): 2253-2259.
- Camuffo, D., Del Monte, M. y Sabbioni, C. (1983): Origin and growth mechanisms of the sulfated crusts on urban limestone. *Water, Air and Soil Pollution*, 19 (4): 351-359.
- Camuffo, D. (1998): *Microclimate for Cultural Heritage*. Elsevier, Amsterdam. 432 pp.
- Cezar, T.M. (1998): Calcium Oxalate: A Surface Treatment for Limestone. *Journal of Conservation & Museum Studies*, 4: 6-10.
- Cooke, R.U. y Warren, A. (1973): *Geomorphology in deserts*. Batsford, London, iii-xii, 394. 30 pp.
- Cooke, R.U. y Gibbs, G.B. (1994): *Cumbling Heritage?*. National Power PLC, Swindon. 68 pp.
- Connor, M. (1990): *Les aerosoles antropogenes et l'alteration de la pierre*. Proyect de Diplome Ecole Polytechnyque de Laussane. 82 pp.

- Craig, N.L., Harker, A.B. y Novakov, T. (1974): Determination of the chemical states of sulfur in ambient pollution aerosols by X-ray photoelectron spectroscopy. *Atmospheric Environment (1967)*, 8 (1): 15-21.
- Creighton, P.J., Lioy, P.J., Haynie, F.H., Lemmons, T.J., Miller, J.L. y Gerhart, J. (1990): Soiling by atmospheric aerosols in an urban industrial area. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 40 (9): 1285-1289.
- Cultrone, G., Rodriguez-Navarro, C., & Sebastian, E. (2004): Limestone and brick decay in simulated polluted atmosphere: the role of particulate matter. En: *Air Pollution and Cultural Heritage* (C. Sáiz-Jiménez, ed.). Taylor & Francis, London. 141-145.
- Cultrone, G., Sebastian, E. y Huertas, M.O. (2007): Durability of masonry systems: a laboratory study. *Construction and Building Materials*, 21 (1): 40-51.
- Cultrone, G., Arizzi, A., Sebastián, E. y Rodríguez-Navarro, C. (2008): Sulfation of calcitic and dolomitic lime mortars in the presence of diesel particulate matter. *Environmental Geology*, 56 (3-4): 741-752.
- Charlson, R.J., Covert, D.S., Larson, T.V. y Waggoner, A.P. (1978): Chemical properties of tropospheric sulfur aerosols. *Atmospheric Environment (1967)*, 12 (1): 39-53.
- Chen, J., Blume, H.P. y Beyer, L. (2000): Weathering of rocks induced by lichen colonization-a review. *Catena*, 39 (2): 121-146.
- Cheng, R.J., Hwu, J.R., Kim, J.T. y Leu, S.M. (1987): Deterioration of Marble Structures The Role of Acid Rain. *Analytical Chemistry*, 59 (2): 104A-106A.
- Davidson, C.I., Tang, W., Finger, S., Etyemezian, V., Striegel, M.F. y Sherwood, S.I. (2000): Soiling patterns on a tall limestone building: changes over 60 years. *Environmental Science & Technology*, 34 (4): 560-565.
- De los Ríos, A., Galván, V. y Ascaso, C. (2004): In situ microscopical diagnosis of biodeterioration processes at the convent of Santa Cruz la Real, Segovia, Spain. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 54 (2): 113-120.
- De los Ríos, A. y Ascaso, C. (2005): Contributions of in situ microscopy to the current understanding of stone biodeterioration. *International Microbiology*, 8 (3): 181.
- De los Ríos, A., Cámara, B., García del Cura, M.A., Rico, V.J., Galván, V. y Ascaso, C. (2009): Deteriorating effects of lichen and microbial colonization of carbonate building rocks in the Romanesque churches of Segovia (Spain). *Science of the Total Environment*, 407 (3): 1123-1134.
- Del Monte, M., Sabbioni, C. y Vittori, O. (1981): Airborne carbon particles and marble deterioration. *Atmospheric Environment (1967)*, 15 (5): 645-652.
- Del Monte, M. y Sabbioni, C. (1984): Gypsum crusts and fly ash particles on carbonatic outcrops. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 35 (1): 105-111.
- Del Monte, M., Sabbioni, C., Ventura, A. y Zappia, G. (1984): Crystal growth from carbonaceous particles. *Science of the Total Environment*, 36: 247-254.
- Díaz-Pache, F., Alonso, F.J. y Eibert, R.M. (1996): La microscopía electrónica de barrido aplicada al estudio de partículas sólidas de contaminación depositadas sobre la piedra monumental. *Ingeniería Civil*, 101: 26-39.
- DIN EN ISO 4287:1997. Especificación geométrica de productos (GPS) - Calidad superficial: Método del perfil. Términos, definiciones y parámetros del estado superficial. 25 pp.
- Dornieden, Th., Gorbushina A.A. y Krumbein, W.E. (2000): Biodecay of cultural heritage as a space/time-related ecological situation-an evaluation of a series of studies. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 46: 261-70.
- Edinger, S.E. (1973): An investigation of the factors which affect the size and growth rates of the habit faces of gypsum. *Journal of Crystal Growth*, 18 (3): 217-224.

- Elfving, P., Panas, I. y Lindqvist, O. (1994): Model study of the first steps in the deterioration of calcareous stone III. Manganese and iron mediated sulphation of natural stone. *Applied Surface Science*, 78 (4): 373-384.
- Esbert, R.M., Díaz-Pache, F., Grossi, C.M., Alonso, F.J. y Ordaz, J. (1992): Incidencia de la contaminación en el deterioro y conservación de rocas monumentales españolas. En: Patrimonio Histórico Artístico y Contaminación. Ed. Consorcio para la organización de Madrid capital europea de la Cultura. 163-167.
- Esbert, R.M., Díaz-Pache, F., Grossi, C.M., Alonso, F.J. y Ordaz, J. (2001): Airborne particulate matter around the Cathedral of Burgos (Castilla y León, Spain). *Atmospheric Environment*, 35 (2): 441-452.
- EU 5FP (1998-2006) Project CAMEL: Carbon content and origin of damage layers in European monuments (EVK4-CT-2000-00029).
- EU 5FP (1998-2002) Project MULTI-ASSESS: Model for multi-pollutant impact and assessment of threshold levels for cultural heritage (EVK4-2001-00010).
- EU 6FP (2002-2006) Project CULT-STRAT: Assessment of Air Pollution Effects on Cultural Heritage Management Strategies (SSPI-CT-2004-501609).
- EU 6FP (2002-2006) Project NOAH'S ARK: Global Climate Change Impacts on the Built Heritage and Cultural Landscape (CT-2003-501837).
- EU 6FP (2002-2006) Project CHEF: Cultural Heritage Protection against Flood (FP-2005-SSP-5A).
- EU 7FP (2007-2013) Project CLIMATE FOR CULTURE: Damage Risk Assessment, Macroeconomic Impact and Mitigation Strategies for Sustainable Preservation of Cultural Heritage in the Times of Climate Change (FP7-ENV-2008-1).
- Fassina, V. (1992): The interaction between the atmospheric pollution and the decay processes taking place on Venetian monuments. En: Patrimonio Histórico Artístico y Contaminación. Ed. Consorcio para la organización de Madrid capital europea de la Cultura. 37-43.
- Fisher, G.L., Chang, D.P.Y. y Brummer, M. (1976): The ash collected from electrostatic precipitators: microcrystalline structures and the mystery of the spheres. *Science*, 192: 553-555.
- Fort, R., López de Azcona, M.C., Mingarro Martín, F., Álvarez de Buergo, M. y Rodríguez Blanco, J. (2000): A comparative study of the efficiency of siloxanos, methacrylates and microwaxes-based treatments applied to the stone materials of the Royal Palace of Madrid, Spain. En: Proceedings 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone (V. Fassina, ed.), vol. 2. Elsevier, Amsterdam. 235-243.
- Fort, R., López de Azcona, M.C. y Mingarro, F. (2002): Assessment of protective treatments based on their chromatic evolution: limestone and granite in the Royal Palace of Madrid, Spain. En: Protection and Conservation of the Cultural Heritage of the Mediterranean Cities (E. Galán y F. Zezza, eds.). Swets & Zeitlinger, Lisse. 437-441.
- Fort, R., Alvarez de Buergo, M., López de Azcona, M.C. y Mingarro, F. (2004): The efficiency of urban remodelling in reducing the effects of atmospheric pollution on monuments. En: Air Pollution and Cultural Heritage (C. Sáiz-Jiménez, ed.). Taylor & Francis, London. 225-232.
- Fox, J.J. y Harrison, T.W. (1925): Some aspects of stone decay. *Journal of the Society of Chemical Industry*, 44: 1451T.
- Franzoni, E. y Sassoni, E. (2011): Correlation between microstructural characteristics and weight loss of natural stones exposed to simulated acid rain. *Science of the Total Environment*, 412: 278-285.
- Fronteau, G., Schneider-Thomachot, C., Chopin, E., Barbin, V., Mouze, D. y Pascal, A. (2010): Black-crust growth and interaction with underlying limestone microfacies. En: Geological Society, London, Special Publications (R. Prikryl & B.J. Smith, eds.), 333 (1): 25-34.

- Furlan, V. y Girardet, F. (1983): Considerations on the rate of accumulation and distribution of sulphurous pollutants in exposed stones. En: *Materials Science and Restoration* (F.H. Wittmann, ed.). Filderstadt: Lack and Chemie. 285-290.
- Gauri, K.L. y Holdren, G.C. (1981): Pollutant effects on stone monuments. *Environmental Science Technology*, 15: 386-390.
- Ghedini, N., Sabbioni, C., Bonazza, A., Gobbi, G. y Zappia, G. (2004): A quantitative methodology for carbon speciation in black crusts on monuments. En: *Air Pollution and Cultural Heritage* (C. Sáiz-Jiménez, ed.). Taylor & Francis, London. 31-38.
- Ghedini, N., Ozga, I., Bonazza, A., Dilillo, M., Cachier, H. y Sabbioni, C. (2011): Atmospheric aerosol monitoring as a strategy for the preventive conservation of urban monumental heritage: The Florence Baptistery. *Atmospheric Environment*, 45 (33): 5979-5987.
- Golubic, S., Friedman, E. y Schneider, J. (1981): The lithobiontic ecological niche, with special reference to microorganisms. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51: 475-478.
- Gomez-Heras, M., Benavente, D., Fort, R. y Alvarez de Buergo, M. (2004): A note on soluble salt minerals from pigeon droppings as potential contributors to the decay of stone base cultural heritage. *European Journal of Mineralogy*, 16: 505-509.
- Gomez-Heras, M. (2006): Procesos y formas de deterioro térmico en piedra natural del patrimonio arquitectónico. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid. 367 pp. <http://biblioteca.ucm.es/tesis/geo/ucm-t28551.pdf>
- Gomez-Heras, M., Smith, B.J., y Viles, H.A. (2008): Laboratory modelling of gypsum crust growth on limestone related to soot pollution and gaseous sulphur: Implications of 'cleaner' environments for stone decay. En: *Proceedings 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone* (J.W. Lukaszewicz & P. Niemcewicz, eds.). 275-282.
- Gorbushina, A.A. (2007): Life on the rocks. *Environmental Microbiology*, 9 (7): 1613-1631.
- Grossi, C.M., Esbert, R.M. y Díaz-Pache, F. (1998): Degradación y durabilidad de materiales rocosos de edificación en ambientes urbanos. *Materiales de Construcción*, 48 (22): 5-26.
- Grossi, C.M., Esbert, R.M., Alonso, F.J., Valdeón, L., Ordaz, J. y Díaz-Pache, F. (2000): Colour changes and reactivity to SO₂ of some cladding stones at the "Gran Teatre del Liceu" (Barcelona Spain). En: *Proceedings 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone* (V. Fassina, ed.), vol. 1. Elsevier, Amsterdam. 323-328.
- Grossi, C.M. y Brimblecombe, P. (2002): The effect of atmospheric pollution on building materials. *Journal de Physique IV*, 12 (10): 197-210.
- Grossi, C.M., Esbert, R.M., Díaz-Pache, F. y Alonso, F.J. (2003): Soiling of building stones in urban environments. *Building and Environment*, 38: 147-159.
- Grossi, C.M. y Brimblecombe, P. (2004): Aesthetics of simulated soiling patterns on architecture. *Environmental Science & Technology*, 38 (14): 3971-3976.
- Grossi, C.M. y Brimblecombe, P. (2007): Effect of long-term changes in air pollution and climate on the decay and blackening of European stone buildings. En: *Geological Society, London, Special Publications* (R. Prikryl & B.J. Smith, eds.), 271 (1): 117-130.
- Grossi, C.M., Brimblecombe, P., Esbert, R.M. y Alonso, F.J. (2007): Color changes in architectural limestones from pollution and cleaning. *COLOR Research and Application*, 32 (4): 320-331.
- Grossi, C.M., Bonazza, A., Brimblecombe, P., Harris, I. y Sabbioni, C. (2008): Predicting twenty-first century recession of architectural limestone in European cities. *Environmental Geology*, 56 (3-4): 455-461.

- Grossi, C.M. y Brimblecombe, P. (2008): Distribución pasada y futura del color en edificios históricos de piedra. *Materiales de Construcción*, 58 (289-290): 143-160.
- Guillitte, O. (1995): Bioreceptivity: a new concept for building ecology studies. *Science of the Total Environment*, 167: 215-220.
- Halsey, D.P., Dews, S.J., Mitchell, D.J. y Harris F.C. (1996): The black soiling of sandstones building in the West Midlands, England: regional variations and decay mechanisms. En: *Processes of Urban Stone Decay* (B.J. Smith & P.A. Warke, eds). Donhead, London. 53-65.
- Hamilton, R.S. y Mansfield, T.A. (1991): Airborne particulate elemental carbon: its sources, transport and contribution to dark smoke and soiling. *Atmospheric Environment Part A General Topics*, 25A (3-4): 715-23.
- Haneef, S.J., Johnson, J.B., Dickinson, C., Thompson, G.E. y Wood, G.C. (1992): Effect of dry deposition of NO_x and SO₂ gaseous pollutants on the degradation of calcareous building stones. *Atmospheric Environment Part A General Topics*, 26 (16): 2963-2974.
- Harrison, R.M. (2004): Key pollutants-airborne particles. *Science of the Total Environment*, 334: 3-8.
- Haynie, F.H. (1985): Size distribution of particles that may contribute to soiling of materials surfaces. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 35: 552-554.
- Haynie, F.H. (1986): Theoretical model of soiling of surfaces by airborne particles. *Aerosols*. Boca Raton: Lewis Publishers. 951-959.
- Hildeman, L.M., Markowski, G.R. y Cass, G.R. (1991): Chemical composition of emissions from urban sources of fine organic aerosol. *Environmental Science Technology*, 25: 744-759.
- Hirsch, P., Eckhardt, F.E.W. y Palmer, R.J. (1995): Methods for the study of rock-inhabiting microorganisms: a mini review. *Journal of Microbiological Methods*, 23: 143-167.
- Horvath, H. (1993): Atmospheric light absorption-A review. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 27 (3): 293-317.
- Hutchinson, A.J., Johnson, J.B., Thompson, G.E., Wood, G.C., Sage, P.W. y Cooke, M.J. (1992): The role of fly-ash particulate material and oxide catalysts in stone degradation. *Atmospheric Environment Part A General Topics*, 26 (15): 2795-2803.
- Ibusiki, T., Ohsawa, M. y Takeuchi, K. (1990): Metal ion catalyzed oxidation of SO₂ in the presence of trace H₂O₂ in aqueous solution under environmental reaction conditions. *Atmospheric Environment Part A General Topics*, 24 (5): 1325-1330.
- Inkpen, R. (2003): The whole building and patterns of degradation. En: *The effects of air pollution on the built environment* (P. Brimblecombe, ed.). Imperial College Press, London. 393-422.
- Johansson, L.G., Linqvist, O. y Mangio, R.E. (1988): Corrosion of calcareous stones in humid air containing SO₂ and NO₂. *Durability of Building Materials*, 5: 439-449.
- Johnson, J.B., Haneef, S.J., Hepburn, B.J., Hutchinson, A.J., Thompson, G.E. y Wood, G.C. (1990): Laboratory exposure systems to simulate atmospheric degradation of building stone under dry and wet deposition conditions. *Atmospheric Environment Part A General Topics*, 24 (10): 2585-2592.
- Kieslinger, A. (1932): *Zerstörung an Steinbauten-Ihre Ursachen und ihre Abwehr*. Verlag Deuticke, Leipzig-Wien. 1-346.
- Kittelson, D.B. (1998): Engine and nanoparticles: a review. *Journal of Aerosols Science*, 29 (5-6): 575-588.
- Klein S., Fekrsanati, F., Hildenhagen, J., Dickmann, K., Uphoff, H., Marakis, Y. y Zafirooulos, V. (2001): Discoloration of marble during laser cleaning by Nd: YAG laser wavelengths. *Applied Surface Science*, 171 (3): 242-251.

- Lanting, R.W. (1986): Black smoke and soiling. En: *Aerosols*, Lewis Publishers, Michigan. 923-932.
- Laurie, A.P. (1925): Stone decay and the preservation of buildings. *Journal of the Society of Chemical Industry*, 44: 86-92.
- Lazzarini, L. y Laurenzi-Tabasso, M. (1986): *Il Restauro della Pietra*. CEDAM, Ed. Padova. 317 pp.
- Lechon, Y., Cabal, H., Gómez, M., Sánchez, E. y Saez, R. (2002): Environmental externalities caused by SO₂ and ozone pollution in the metropolitan area of Madrid. *Environmental Science & Policy*, 5 (5): 385-395.
- Lefèvre, R.A., Ionescu, A., Ausset, P., Chabas, A., Girardet, F. y Vince, F. (2007): Modelling of the calcareous stone sulphation in polluted atmosphere after exposure in the field. En: *Geological Society, London, Special Publications* (R. Prikryl & B.J. Smith, eds.), 271 (1): 131-137.
- León Vallejo, F.J. (1992): Ensuciamiento de fachadas por contaminación atmosférica: un ejemplo de análisis, la ciudad de Valladolid. En: *Patrimonio Histórico Artístico y Contaminación*. Ed. Consorcio para la organización de Madrid capital europea de la Cultura. 205-214.
- Lewry, A.J., Asiedu-Dompreh, J., Bigland, D.J. y Butlin, R.N. (1994): The effect of humidity on the dry deposition of sulfur dioxide onto calcareous stones. *Construction and Building Materials*, 8 (2): 97-100.
- Liefpert, F.W. (1989): Atmospheric damage to calcareous stones: comparison and reconciliation of recent experimental findings. *Atmospheric Environment* (1967), 23 (2): 415-429.
- Lisci, M., Monte, M. y Pacini, E. (2003): Lichens and higher plants on stone: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 51 (1): 1-17.
- Livingston, R.A. (1986): Evaluation of building deterioration by water runoff. Building performance: function, preservation, and rehabilitation. American Society for Testing and Materials. 181-188.
- Livingstone, R.A. (1999): Acidic deposition effects on Portland Cement Concrete. En: *Quantification of Effects of Air Pollutants on Materials* (S. Fitz, ed.). Federal Environment Agency, Berlin. 109-114.
- Lumbreras, J., Valdés, M., Borge, R. y Rodríguez, M.E. (2008): Assessment of vehicle emissions projections in Madrid (Spain) from 2004 to 2012 considering several control strategies. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42 (4): 646-658.
- Luque, A., Cultrone, G., Sebastián Pardo, E. y Cazalla Vázquez, O. (2008): Evaluación de la eficacia de tratamientos en el incremento de la durabilidad de una calcarenita bioclástica (Granada, España). *Materiales de Construcción*, 58 (292): 115-128.
- Maravelaki, P., Kallithrakas, N., Korakaki, D., Agioutantis, Z. y Maurigiannakis, S. (2006): Evaluation of silicon-based strengthening agents on porous limestones. *Progress in Organic Coatings*, 57: 140-148.
- Margitan, J.J. (1984): Mechanism of the atmospheric oxidation of sulfur dioxide. Catalysis by hydroxyl radicals. *The Journal of Physical Chemistry*, 88 (15): 3314-3318.
- Marie, I. (2013): Perception of darkening of stone façades and the need for cleaning. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2 (1): 65-72.
- Martin, K.G. y Souprounovich, A.N. (1986): Soiling of building materials about Melbourne-an exposure study. *Clean Air (Australia)*, 20: 95-100.
- Mateos, F.J. y Esbert, R.M. (2007): Aplicación del SEM y EDX al estudio de los cambios inducidos por la acción del SO₂ en rocas ornamentales. *Macla*, 7: 27.
- Matteini, M. (2005): *Le Patine*. En: *Genesi, Significato, Conservazione* (M. Matteini, ed.). Ed. Nardini, Florence.
- McGee, E.S. y Mossotti, V.G. (1992): Gypsum accumulation on carbonate stone. *Atmospheric Environment*, 26B: 249-253.
- Monzón, A., Moragues, A. y Acha, C. (1999): Seasonal analysis of air pollution levels in Madrid. *Science of the Total Environment*, 235 (1): 343-345.

- Monzón, A. y Guerrero, M.J. (2004): Valuation of social and health effects of transport-related air pollution in Madrid (Spain). *Science of the Total Environment*, 334: 427-434.
- Munafo, P., Quagliarini, E., Goffredo, G.B., Bondioli, F. y Licciulli, A. (2014): Durability of nano-engineered TiO₂ self-cleaning treatments on limestone. *Construction and Building Materials*, 65: 218-231.
- Mylona, S., Saltbones, J., Semb, A. y Schaug, J. (1990): Trends in sulphur quality data in Europe. En: Abstracts of the International Conference on Acidic Deposition: Its Nature and Impacts. Royal Society of Edinburgh. 264.
- Navabpour, P., Ostovarpour, S., Hampshire, J., Kelly, P., Verran, J. y Cooke, K. (2014): The effect of process parameters on the structure, photocatalytic and self-cleaning properties of TiO₂ and Ag-TiO₂ coatings deposited using reactive magnetron sputtering. *Thin Solid Films*, 571: 75-83.
- Newby, P.T., Mansfield, T.A. y Hamilton, R.S. (1991): Sources and economic implications of building soiling in urban areas. *Science of the Total Environment*, 100: 347-365.
- Novakok, T., Chang, S.G. y Harker, A.B. (1974): Sulfates as pollution particulates: Catalytic formation on carbon (soot) particles. *Science*, 186 (4160): 259-261.
- Olaru, M., Aflori, M., Simionescu, B., Doroftei, F. y Stratulat, L. (2010): Effect of SO₂ dry deposition on porous dolomitic limestones. *Materials*, 3 (1): 216-231.
- Olausson, S., Wallin, M. y Bjerle, I. (1993): A model for the absorption of sulphur dioxide into a limestone slurry. *The Chemical Engineering Journal*, 51: 99-108.
- Ordaz, J. y Esbert, R.M. (1988): Glosario de términos relacionados con el deterioro de las piedras de construcción. *Materiales de Construcción*, 38 (209): 39-45.
- Ortega-Calvo, J.J., Hernandez-Marine, M. y Saiz-Jimenez, C. (1991): Biodeterioration of building materials by cyanobacteria and algae. *International Biodeterioration*, 28: 165-186.
- Palacios, A. (1909): El proyecto inicial. En: Antonio Palacios y el Hospital de Maudes en la Memoria Arquitectónica de Madrid (1986), vol 2. Centro de Información y Documentación. Consejería de Ordenación del Territorio, Medioambiente y Vivienda. Memoria original en el Archivo de la Villa de Madrid, expediente nº20-118-3.
- Pérez-Bernal, J.L. y Bello, M.A. (2003): Modeling sulfur dioxide deposition on calcium carbonate. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 42 (5): 1028-1034.
- Pérez-Monserrat, E.M., Varas, M.J., Fort, R. y Álvarez de Buergo, M. A. (2011): Assessment of different methods for cleaning the limestone facades of the former workers Hospital of Madrid, Spain. *Studies in Conservation*, 56 (4): 298-313.
- Pérez-Monserrat, E.M., Fort, R., Alvarez de Buergo, M. y Varas-Muriel, M.J. (2012): Deterioro por procesos de cristalización de sales en calizas de entornos urbanos contaminados: evaluación de tratamientos de conservación. En: Proceedings V Congreso del Grupo Español del IIC. Ed. GEIIC. 355-405.
- Pérez-Monserrat, E.M., de los Ríos, A., Fort, R., Varas-Muriel, M.J. y Alvarez de Buergo, M. (2013): Physical and aesthetic decay of built heritage from biological films developed on joint mortars. En: Proceedings International Congress Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage (M.A. Rogerio-Candelera, M. Lazzari & E. Cano, eds.). Taylor & Francis Group, London. 93-98
- Pinho, L., Elhaddad, F., Facio, D.S. y Mosquera, M.J. (2013): A novel TiO₂-SiO₂ nanocomposite converts a very friable stone into a self-cleaning building material. *Applied Surface Science*, 275: 389-396.
- Pinho, L. y Mosquera, M.J. (2013): Photocatalytic activity of TiO₂-SiO₂ nanocomposites applied to buildings: influence of particle size and loading. *Applied Catalysis B: Environmental*, 134: 205-221.

- Pinho, L., Rojas, M. y Mosquera, M.J. (2014): Ag-SiO₂-TiO₂ nanocomposite coatings with enhanced photoactivity for self-cleaning application on building materials. *Applied Catalysis B: Environmental* <http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2014.10.002>
- Pio, C.A., Ramos, M.M. y Duarte, A.C. (1998): Atmospheric aerosol and soiling of external surfaces in an urban environment. *Atmospheric Environment*, 32 (1): 1979-1989.
- Plaza, J., Pujadas, M. y Artíñano, B. (1997): Formation and transport of the Madrid ozone plume. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 47 (7): 766-774.
- Pospíšil, S., Drdáček, M., Slizková, Z., Knotková, D. y Delpech, P. (2006): Surface degradation of complex architectural form due to atmospheric pollution. En: Proceedings International Conference Heritage, Weathering and Conservation (R. Fort, M. Alvarez de Buergo, M. Gomez-Heras & C. Vazquez-Calvo, eds.), vol 1. Taylor & Francis, London. 447-452.
- Pye, K. y Schiavon, N. (1989): Cause of sulphate attack on concrete, render and stone indicated by sulphur isotope ratios. *Nature*, 342 (6250): 663-664.
- Querol, X., Mantilla, E., Ruiz, C.R., Lopez-Soler, A. y Juan, R. (1998): Seasonal evolution of suspended particles around a large coal-fired power station: chemical characterization. *Atmospheric Environment*, 32 (4): 719-731.
- Rampazzi, L., Giussani, B., Rizzo, B., Corti, C., Pozzi, A. y Dossi, C. (2011): Monuments as sampling surfaces of recent traffic pollution. *Environmental Science and Pollution Research*, 18 (2): 184-191.
- Rauterberg-Wulff, A., Israel, G.W., Pesch, M. y Schlums, C. (1995): Determination of the tire wear contribution to soot levels at traffic arteries. *VDI Berichte*, 1228: 81-81.
- Reddy, M., Sherwood, S. I., y Doe, B.R. (1986): Limestone and marble dissolution by acid rain: an onsite weathering experiment. En: Materials degradation caused by acid rain. Ed. American Chemical Society. 226-238.
- Reddy, M.M. (1988): Acid rain damage to carbonate stone: a quantitative assessment based on the aqueous geochemistry of rainfall runoff from stone. *Earth Surface Processes and Landforms*, 13 (4): 335-354.
- Rodriguez-Navarro, C. y Sebastian, E. (1996): Role of particulate matter from vehicle exhaust on porous building stones (limestone) sulfation. *Science of the Total Environment*, 187 (2): 79-91.
- Ross, M., McGee, E.S. y Ross, D.R. (1989): Chemical and mineralogical effects of acid deposition on Shelburne Marble and Salem Limestone test samples placed at four NAPAP weather-monitoring sites. *American Mineralogist*, 74 (3-4): 367-383.
- Rudica, O., Ranogajeca, J., Vulica, T., Vucetica, S., Cjepaa, D. y Lazar, D. (2014): Photo-induced properties of TiO₂/ZnAl layered double hydroxide coating onto porous mineral substrates. *Ceramics International*, 40: 9445-9455.
- Sabbioni, C. (1992): Characterization of atmospheric particles on monuments by scanning electron microscopy/energy dispersive X-ray analyses. En: Proceedings European Congress Electron Microscopy (A. López & M.I. Rodríguez, eds.), vol 2. Secretaría Publicaciones Universidad de Granada. 773-777.
- Sabbioni, C. y Zappia, G. (1992): Decay of sandstone in urban areas correlated with atmospheric aerosol. *Water, Air and Soil Pollution*, 63 (3-4): 305-316.
- Sabbioni, C. y Zappia, G. (1993): Characterization of particles emitted by domestic heating units fueled by distilled oil. *Atmospheric Environment Part A General Topics*, 27 (8): 1331-1338.
- Sabbioni, C. (1995): Contribution of atmospheric deposition to the formation of damage layers. *Science of the Total Environment*, 167: 49-55.

- Sabbioni, C., Zappia, G. y Gobbi, G. (1996): Carbonaceous particles and stone damage in a laboratory exposure system. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012)*, 101 (D14): 19621-19627.
- Sabbioni, C., Zappia, G., Ghedini, N., Gobbi, G. y Favoni, O. (1998): Black crusts on ancient mortars. *Atmospheric Environment*, 32 (2): 215-223.
- Sabbioni, C., Zappia, G., Riontino, C., Blanco-Varela, M.T., Aguilera, J., Puertas, F. y Toumbakari, E.E. (2001): Atmospheric deterioration of ancient and modern hydraulic mortars. *Atmospheric Environment*, 35 (3): 539-548.
- Sablier, M. y Garrigues, P. (2014): Cultural heritage and its environment: an issue of interest for environmental science and pollution research. *Environmental Science and Pollution Research*, 21 (9): 5769-5773.
- Sáiz-Jiménez, C. (1992): Efectos de los aerosoles y materia particulada sobre edificios históricos y monumentos. En: Patrimonio Histórico Artístico y Contaminación. Ed. Consorcio para la organización de Madrid capital europea de la Cultura. 107-112.
- Sáiz-Jiménez, C. (1993): Deposition of airborne organic pollutants on historic buildings. *Atmospheric Environment Part B Urban Atmosphere*, 27 (1): 77-85.
- Sáiz-Jiménez, C. y Ariño, X. (1995): Colonización biológica y deterioro de morteros por organismos fotótrofos. *Materiales de Construcción*, 45 (240): 5-16.
- Salvador, P., Artiñano, B., Alonso, D.G., Querol, X. y Alastuey, A. (2004): Identification and characterisation of sources of PM10 in Madrid (Spain) by statistical methods. *Atmospheric Environment*, 38 (3): 435-447.
- Sánchez, J.S., Román, J.V. y Alves, C. (2011): Deposition of particles on gypsum-rich coatings of historic buildings in urban and rural environments. *Construction and Building Materials*, 25 (2): 813-822.
- Scherer, G.W. (1999): Crystallization in pores. *Cement and Concrete Research*, 29 (8): 1347-1358.
- Searle, D., Mitchell, D., Halsey, D., Dews, S. y Smith, J. (2000): The effects of coal and diesel particulates on the weathering loss of two major building stones in the United Kingdom: a comparative microcatchment study. En: 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone (V. Fassina, ed.), vol. 1. Elsevier, Amsterdam. 391-400.
- Serra, M. y Starace, G. (1979): Study of the reactions between gaseous sulphur dioxide and calcium carbonate. En: Proceedings International Symposium Deterioration and Protection of Stone Monuments. UNESCO-RILEM, Paris. 3.7.1-3.7.19.
- Siegismund, S. y Snethlage, R. (eds.) (2011): Stone in Architecture, Properties and Durability. Springer Science & Business Media. 564 pp.
- Simao, J., Ruiz-Agudo, E. y Rodriguez-Navarro, C. (2006): Effects of particulate matter from gasoline and diesel vehicle exhaust emissions on silicate stones sulfation. *Atmospheric Environment*, 40 (36): 6905-6917.
- Simionescu, B., Olaru, M., Aflori, M. y Doroftei, F. (2011): Siloxane-based polymers as protective coatings against SO₂ dry deposition. *High Performance Polymers*, 23 (4): 326-334.
- Simon, S. y Snethlage, R. (1996): Marble weathering in Europe: results of the Eurocare-Euromarble Exposure Programme 1992-1994. En: Proceedings 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Berlin. 159-166.
- Sitzman, B., Kendall, M., Watt, J. y Williams, I. (1999): Characterisation of airborne particles in London by computer-controlled scanning electron microscopy. *Science of the Total Environment*, 241 (1): 63-73.
- Smith, R.A. (1872): Air and Rain: the Beginnings of a Chemical Climatology. Longmans, Green and co., London. 595 pp.
- Smith, B.J. (1996): Scale problems in the interpretation of urban stone decay. En: Processes of Urban Stone Decay (B.J. Smith & P.A. Warke, eds). Donhead, London. 3-18.

- Smith, B.J., Török, A., McAlister, J.J. y Megarry, Y. (2003): Observations on the factors influencing stability of building stones following contour scaling: a case study of oolitic limestone from Budapest, Hungary. *Building and Environment*, 38: 1173-1183.
- Smith, B.J. (2006): Scale problems in the interpretation of urban stone decay. En: *Processes of Urban Stone Decay* (B.J. Smith & P.A. Warke, eds). Donhead, London. 3-18.
- Smith, B.J., Gomez-Heras, M. y McCabe, S. (2008): Understanding the decay of stone-built cultural heritage. *Progress in Physical Geography*, 32 (4): 439-461.
- Spedding, D.J. (1969): Sulphur dioxide uptake by limestone. *Atmospheric Environment (1967)*, 3 (6): 683, IN5-IN6.
- Spiker, E.C., Comer, V.J., Hosker, R.P. y Sherwood, S.I. (1992): Dry deposition of SO₂ on limestone and marble: Role of humidity. En: *Proceedings 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone* (J. Delgado, F. Henriques & F. Telmo, eds.). Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. 397-406.
- Sterflinger, K. y Krumbein, W.E. (1997): Dematiaceous fungi as a major agent for biopitting on Mediterranean marbles and limestones. *Geomicrobiology Journal*, 14 (3): 219-230.
- Steiger, M., Wolf, F. y Dannecker, W. (1993): Deposition and enrichment of atmospheric pollutants on building stones as determined by field exposure experiments. En: *Conservation of Stone and other Materials* (M.J. Thiel, ed.). E & FN Spon, London. 35-42.
- Tartarelli, R., Davini, P., Morelli, F. y Corsi, P. (1978): Interactions between SO₂ and carbonaceous particulates. *Atmospheric Environment (1967)*, 12 (1): 289-293.
- Taylor, H.F.W., Grutzeck, M.W. y Sarkar, S.I. (1994): Delayed ettringite formation. En: *Advances in Cement and Concrete* (M.W. Grutzeck, ed.). American Society of Civil Engineers, New York. 122-131.
- Tecer, L. (1999): Laboratory experiments on the investigation of the effects of sulphuric acid on the deterioration of carbonate stones and surface corrosion. *Water, Air and Soil Pollution*, 114 (1-2): 1-12.
- Thornbush, M. y Viles, H. (2004): Integrated digital photography and image processing for the quantification of colouration on soiled limestone surfaces in Oxford, England. *Journal of Cultural Heritage*, 5 (3): 285-290.
- Thornbush, M.J. (2010): Photographic surveys of building exteriors in central Oxford, UK. *International Journal of Architectural Heritage*, 4 (4): 351-369.
- Thornbush, M.J. (2014): A Soiling Index based on Quantitative Photography at Balliol College in Central Oxford, UK. *Journal of Earth, Ocean and Atmospheric Sciences*, 1: 1-15.
- Toniolo, L., Zerbi, C.M. y Bugini, R. (2009): Black layers on historical architecture. *Environmental Science and Pollution Research*, 16 (2): 218-226.
- Török, Á., Licha, T., Simon, K. y Siegesmund, S. (2011): Urban and rural limestone weathering; the contribution of dust to black crust formation. *Environmental Earth Sciences*, 63 (4): 675-693.
- Tsui, N., Flatt, R.J. y Scherer, G.W. (2003): Crystallization damage by sodium sulphate. *Journal of Cultural Heritage*, 4: 109-115.
- UNE-EN 13919:2003. Métodos de ensayo de piedra natural: Determinación de la resistencia al envejecimiento por la acción del SO₂ en presencia de humedad.
- Unterwurzacher, M. y Mirwald, P.W. (2008): Initial stages of carbonate weathering: climate chamber studies under realistic pollution conditions. *Environmental Geology*, 56 (3-4): 507-519.
- Urone, P., Lutsep, H., Noyes, C.M. y Parcher, J.F. (1968): Statistic studies of sulfur dioxide reactions in air. *Environmental Science Technology*, 2: 611-618.

- Urosevic, M., Sebastián, E. y Cardell, C. (2013): An experimental study on the influence of surface finishing on the weathering of a building low-porous limestone in coastal environments. *Engineering Geology*, 154: 131-141.
- Van Borm, W.A., Adams, F.C. y Maenhaut, W. (1989): Characterization of individual particles in the Antwerp aerosol. *Atmospheric Environment*, 23: 1139-1151.
- Varas, M.J., Alvarez de Buergo, M. y Fort, R. (2007): The influence of past protective treatments on the deterioration of historic stone facades. *Studies in Conservation*, 52: 110-124.
- Vázquez-Calvo, M.C. (2014): Técnica tradicional de protección y embellecimiento de la piedra en el patrimonio arquitectónico: pátinas históricas en la Península Ibérica. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid. 841 pp. <http://eprints.ucm.es/24532/1/T35121.pdf>
- Vergès-Belmin, V. y Dignard, C. (2003): Laser Yellowing: myth or reality?. *Journal of Cultural Heritage*, 4: 238s-244s.
- Viles, H.A. y Gorbushina, A.A. (2003): Soiling and microbial colonisation on urban roadside limestone: a three year study in Oxford, England. *Building and Environment*, 38 (9): 1217-1224.
- Vleugels, G., Dewolfs, R. y Van Grieken R. (1993): On the memory effect of limestone for air pollution. *Atmospheric Environment*, 27: 1931-1934.
- Voelcker, J.C.A. (1864): On the injurious effects of smoke on certain building stones and on vegetation.
- Vos, B.H. (1988): Fundamentals of heat and moisture transfer. The Deterioration and Conservation of Stone. Studies and Documents on the Cultural Heritage. UNESCO. 67-88.
- Watt, J., Massey, S. y Kendall, M. (2000): Fractal modelling of particulate deposition in the development of black crust on stone. En: Proceedings 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone (V. Fassina, ed.), vol. 1. Elsevier, Amsterdam. 637-646.
- Wiese, U., Behlen, A. y Steiger, M. (2013): The influence of relative humidity on the SO₂ deposition velocity to building stones: a chamber study at very low SO₂ concentration. *Environmental Earth Sciences*, 69 (4): 1125-1134.
- Wierzchos, J. y Ascaso, C. (1994): Application of back-scattered electron imaging to the study of the lichen-rock interface. *Journal of Microscopy*, 175 (1): 54-59.
- Winkler, E.M. (1966): Important agents of weathering for building and monumental stone. *Engineering Geology*, 1 (5): 381-400.
- Winkler, E.M. (1987): Weathering and weathering rates of natural stone. *Environmental Geology and Water Science*, 9 (2): 85-92.
- Winkler, E.M. (1994): Stone in Architecture: Properties, Durability in Man's Environment. Springer Verlag, Berlin.
- Yocom, J.E. (1979). Air pollution damage to buildings on the Acropolis. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 29 (4): 333-338.
- Zanardini, E., Abbruscato, P., Ghedini, N., Realini, M. y Sorlini, C. (2000): Influence of atmospheric pollutants on biodeterioration of stone. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 45: 35-42.
- Zappia, G., Sabbioni, C., Gobbi, G. (1991): Carbonaceous aerosol on marble and limestone monuments. *Journal of Aerosol Science*, 22 (1): S581-S584.
- Zappia, G., Sabbioni, C., Pauri, M.G. y Gobbi, G. (1994): Mortar damage due to airborne sulfur compounds in a simulation chamber. *Materials and Structures*, 27: 469-473.
- Zuo, L.Y. y Hoigné, J. (1993): Evidence for photochemical formation of H₂O₂ and oxidation of SO₂ in authentic fog water. *Science*, 260 (5104): 71-73.

Zou, L.Y. y Hooper, M.A. (1997): Size-resolved airborne particles and their morphology in central Jakarta. *Atmospheric Environment*, 31: 1167-1172.

PARTE IV**CONSERVACIÓN DEL ANTIGUO HOSPITAL: ACTUACIÓN DE LIMPIEZA EN LOS PARAMENTOS**

- Appolonia, L., Bertone, A., Brunetto, A. y Vaudan, D. (2000): The St. Orso Priory: the comparison and testing of cleaning methods. *Journal of Cultural Heritage*, 1: S105-S110.
- Ashurst, N. (1994): *Cleaning of Historic Buildings*, vol 1. Donhead, London. 54 pp.
- Ball, J., Laing, R.A., y Young, M.E. (2000): Stone cleaning: comparing perceptions with physical and financial implications. *Journal of Architectural Conservation*, 6: 47-62.
- Benavente, D., García del Cura, M.A., García-Guinea, J., Sánchez-Moral, S. y Ordóñez, S. (2004): Role of pore structure in salt crystallisation in unsaturated porous stone. *Journal of Crystal Growth*, 260 (3): 532-544.
- Brimblecombe, P., Bowler, C. y Doktor, P. (1992): Air pollution and the cost of repairs to English Cathedrals since 1700. En: *Patrimonio Histórico Artístico y Contaminación*. Ed. Consorcio para la organización de Madrid capital europea de la Cultura. 91-99.
- Brimblecombe, P. (2005): Effects of the cultural environment. En: *Cultural Heritage Conservation and Environmental Impact Assessment by Non Destructive Testing and Micro-Analysis* (R. van Grieken & K. Janssens, eds.). 11-18.
- Boutin, F. y Leroux, L. (2000): Color and weight evolution of limestones protected by water repellents after three-year ageing period in urban conditions. En: *Proceedings 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone* (V. Fassina, ed.), vol. 2. Elsevier, Amsterdam. 197-205.
- Camuffo, D., Del Monte, M., Sabbioni, C. y Vittori, O. (1982): Wetting, deterioration and visual features of stone surfaces in an urban area. *Atmospheric Environment*, 16 (9): 2253-2259.
- Carta Cracovia (2000): Principles for Conservation and Restoration of Built Heritage. En: *The International Conference on Conservation*. <http://a1.arch.pk.edu.pl/c2000/en/charter.html>
- Cowell, D. y Apsimon, H. (1996): Estimating the cost of damage to buildings by acidifying atmospheric pollution in Europe. *Atmospheric Environment*, 30 (17): 2959-2968.
- Esbert, R.M. (coord.) (2003): Criterios de Intervención en materiales pétreos. *Bienes Culturales*, 2. Revista del Instituto del Patrimonio Histórico Español. Anexo. 33 pp.
- Flatt, R.J. (2003): Salt damage in porous materials: how high supersaturations are generated. *Journal of Crystal Growth*, 242: 435-454.
- Fort, R., López de Azcona, M.C. y Mingarro, F. (2000a): Cleaning of stone materials in the Cathedral of Valladolid (Spain). *Materiales de Construcción*, 50 (258): 37-49.
- Fort, R., López de Azcona, M.C., Mingarro, F. y Rodríguez, J. (2000b): Chromatic parameters as performances indicators for stone cleaning techniques. *COLOR Research and Application*, 25 (6): 442-446.
- Fort, R., López de Azcona, M.C. y Mingarro, F. (2002): Assessment of protective treatments based on their chromatic evolution: limestone and granite in the Royal Palace of Madrid, Spain. En: *Protection and Conservation of the Cultural Heritage of the Mediterranean Cities* (E. Galán y F. Zezza, eds.). Swets & Zeitlinger, Lisse. 437-441.
- Gaspar, P., Hubbard, C., McPhail, D. y Cummings, A. (2003): A topographical assessment and comparison of conservation cleaning treatments. *Journal of Cultural Heritage*, 4: 294s-302s.
- Gomez-Heras, M., Benavente, D., Fort, R. y Alvarez de Buergo, M. (2004): A note on soluble salt minerals from pigeon droppings as potential contributors to the decay of stone base cultural heritage. *European Journal of Mineralogy*, 16: 505-509.

- Grossi, C.M., Esbert, R.M., Alonso, F.J., Valdeón, L., Ordaz, J. y Díaz-Pache, F. (2000): Colour changes and reactivity to SO₂ of some cladding stones at the "Gran Teatre del Liceu" (Barcelona Spain). En: Proceedings 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone (V. Fassina, ed.), vol. 1. Elsevier, Amsterdam. 323-328.
- Grossi, C.M., Esbert, R.M., Díaz-Pache, F. y Alonso, F.J. (2003): Soiling of building stones in urban environments. *Building and Environment*, 38: 147-159.
- Grossi, C.M. y Brimblecombe, P. (2007): Effect of long-term changes in air pollution and climate on the decay and blackening of European stone buildings. En: Geological Society, London, Special Publications (R. Prikryl & B.J. Smith, eds.), 271 (1): 117-130.
- Grossi, C.M., Brimblecombe, P., Esbert, R.M. y Alonso, F.J. (2007): Color changes in architectural limestones from pollution and cleaning. *COLOR Research and Application*, 32 (4): 320-331.
- Grossi, C.M. y Brimblecombe, P. (2008): Distribución pasada y futura del color en edificios históricos de piedra. *Materiales de Construcción*, 58 (289-290): 143-160.
- Iglesias, M., Gea, B., Prada, J.L. y Guasch, N. (2006): Low-pressure abrasive cleaning of historic buildings materials. En: Proceedings International Conference Heritage, Weathering and Conservation (R. Fort, M. Alvarez de Buergo, M. Gomez-Heras & C. Vazquez-Calvo, eds.), vol 2. Taylor & Francis, London. 681-686.
- Iglesias-Campos, M.A., García-Fortes, S. y Prada-Perez, J.L. (2014): Influence of projection angle in sandblasting cleaning on detritic stone materials in Architectural Heritage. *Materiales de Construcción*, 64 (314): e021.
- Kavenagh, C. y Wheeler, G. (2003): Evaluation of cleaning methods for the exterior brick at the Brooklyn Historical Society. *Journal of the American Institute for Conservation*, 42: 97-112.
- Laing, R.A., Ball, J., Scott, J. y Young, M.E. (2000): The implications of stone cleaning for planned building maintenance. En: Proceedings 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone (V. Fassina, ed.), vol. 1. Elsevier, Amsterdam. 813-817.
- Laurenzi-Tabasso, M. (1992): Air pollution and maintenance of buildings: an unpleasant, costly correlation. En: Patrimonio Histórico Artístico y Contaminación. Ed. Consorcio para la organización de Madrid capital europea de la Cultura. 101-105.
- Laurenzi-Tabasso, M. y Simon, S. (2006): Testing methods and criteria for the selection/evaluation of products for the conservation of porous building materials. *Studies in Conservation*, 51(Supplement-1): 67-82.
- Lewin, S.Z. (1966): The preservation of natural stone 1839-1965: An Annotated Bibliography, Art and *Archaeology Technical Abstracts*, 6 (1): 185-277.
- McMahon, D.J., Sandberg, P., Folliard, K. y Mehta, P.K. (1992): Deterioration mechanisms of sodium sulfate. En: 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone (J. Delgado, F. Henriques & F. Telmo, eds.). Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. 705-714.
- Moropoulou, A. y Kefalonitou S. (2002): Efficiency and countereffects of cleaning treatment on limestones surfaces-investigation on the Corfu Venetian Fortress. *Building and Environment*, 37: 1181-1191.
- Moropoulou, A., Tsiourva, Th., Bisbikou, K., Tsantila, V., Biscontin, G., Longega, G., Groggia, M., Dalaklis, E. y Petrotaki, A. (2002): Evaluation of cleaning procedures on the facades of the Bank of Greece historical building in the center of Athens. *Building and Environment*, 37: 753-760.
- Otero-Cerdeira, A. (2004): Santuario de la Vera-Cruz de San Cibrán del Carballino de Antonio Palacios. Ed. Xunta de Galicia. 192 pp.
- Palacios, A. (1909): El proyecto inicial. En: Antonio Palacios y el Hospital de Maudes en la Memoria Arquitectónica de Madrid (1986), vol 2. Centro de Información y Documentación. Consejería de Ordenación del Territorio, Medioambiente y Vivienda. Memoria original en el Archivo de la Villa de Madrid, expediente nº20-118-3.

- Palazzi, S. (1997): *Colorimetria. La scienza del colore nell' arte e nella tecnica*. Ed. Nardini, Firenze.
- Pérez-Monserrat, E.M., Varas, M.J., Fort, R. y Álvarez de Buergo, M.A. (2011): Assessment of different methods for cleaning the limestone facades of the former workers Hospital of Madrid, Spain. *Studies in Conservation*, 56 (4): 298-313.
- Philippon, J. y Ausset, P. (1992): Evaluation de l'impact de deux methods de nettoyage sur le tuffeau de Touraine. En: Journée d'étude organisée para la Section française de ICOMOS et le Ministère de la Culture LRMH sur la loi Malraux sur les nettoyages de façades 20-30 ans après. Les pierres en oeuvre, leurs nettoyages et leurs comportements. 75-83.
- Riederer, J. (1974): *New Concepts in Air Pollution Research*. Birkhäuser Verlag, Basel. 73-85.
- Rodriguez-Navarro, C., Doehne, E. y Sebastian, E. (2000): How does sodium sulfate crystallize? Implications for the decay and testing of building materials. *Cement and Concrete Research*, 30: 1527-1534.
- Scherer, G.W. (2000): Stress from crystallization of salt in pores. En: *Proceedings 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone* (V. Fassina, ed.). Elsevier, Amsterdam. 187-194.
- Scherer, G.W., Flatt, R. y Wheeler, G. (2001): Materials science research for the conservation of sculpture and monuments. *Materials Research Society Bulletin*, 26 (01): 44-50.
- Stancliffe, M., De Witte, I. y De Witte, E. (2005): St. Paul's Cathedral: poultice cleaning of the interior. *Journal of Architectural Conservation*, 11 (3): 87-103.
- Tsui, N., Flatt, R.J. y Scherer, G.W. (2003): Crystallization damage by sodium sulphate. *Journal of Cultural Heritage*, 4: 109-115.
- Varas, M.J., Alvarez de Buergo, M. y Fort, R. (2007): The influence of past protective treatments on the deterioration of historic stone facades. *Studies in Conservation*, 52: 110-124.
- Vazquez-Calvo, C., Alvarez de Buergo, M.A., Fort, R. y Varas-Muriel, M.J. (2012): The measurement of surface roughness to determine the suitability of different methods for stone cleaning. *Journal of Geophysics and Engineering*, 9 (4): S108.
- Vergès-Belmin, V. (1996): Towards a definition of common evaluation criteria for the cleaning of porous buildings materials: a review. *Science and Tecnology for Cultural Heritage*, 5 (1): 69-83.
- UNE 41806-1:2009 IN. Conservación de edificios. Limpieza de elementos constructivos. Parte 1: Clasificación de los métodos de limpieza. Informe UNE.
- UNE 41806-2:2009 IN. Conservación de edificios. Limpieza de elementos constructivos. Parte 2: Técnicas de limpieza con agua. Informe UNE.
- UNE 41806-3:2009 IN. Conservación de edificios. Limpieza de elementos constructivos. Parte 3: Técnicas de limpieza mecánica. Informe UNE.
- UNE 41806-5-1:2009 IN. Conservación de edificios. Limpieza de elementos constructivos. Parte 5-1: Técnicas de limpieza química. Aplicación en forma de solución. Informe UNE.
- UNE 41806-5-2:2009 IN. Conservación de edificios. Limpieza de elementos constructivos. Parte 5-2: Técnicas de limpieza química. Aplicación en forma de apósitos. Informe UNE.
- Young, M.E y Urquhart D.C.M. (1992): Abrasive cleaning of sandstone buildings and monuments: an experimental investigation. En: *Proceedings International Conference Stone Cleaning and the Nature, Soiling and Decay Mechanisms of Stone* (R.G.M. Webster, ed.). Donhead, London. 128-140.
- Young, M.E., Urquhart, D.C.M. y Laing, R.A. (2003): Maintenance and repair for stone cleaned sandstone and granite building facades. *Building and Environment*, 38: 1125-1131.

Zhang, B., Reza, H., Gu, S. y Gupta, N. (2014): Investigations of physical and chemical characteristics of masonry stones and bricks during building cleaning: Part 1. Physical testing. *Journal of Physical Science and Application*, 4 (4): 207-222.

Archivos consultados y otra documentación

Archivo General de la Administración. Paseo de Aguadores 2, Alcalá de Henares, Madrid.

Archivo Histórico Ferroviario del Museo del Ferrocarril de Madrid - Fundación de los Ferrocarriles Españoles. C/ Santa Isabel 44, Madrid.

Apartadero de Cornicabra. Proyecto de casilla para el guarda del cargadero de piedra, km 39,423. Compañía del Ferrocarril del Tajuña (1905). Sig. Caja 26/21860. Archivo General de la Administración.

Arte y Cemento (1987): Hospital de Maudes: una reliquia arquitectónica. nº23-24: 50-55.

Arquitectura y Construcción (1917): Resumen anual de Arquitectura, Bellas Artes, Ingeniería, Decoración e Industrias Constructivas, así en España como en el extranjero: libro del arquitecto y del constructor. Anuario de la construcción para 1918. Director Manuel Vega y March. 110-111.

Blanco y Negro (1986): Madrid recupera un monumento histórico artístico. nº96: 27-35.

Boletín de la Revista de Obras Públicas (1896): Canteras españolas. Caliza de Colmenar. 145-147.

Centro de Documentación Especializada de la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio. C/ Maudes 17, Madrid.

Crónica e Información (1912): Hospital para Jornaleros en Madrid. nº16.

Directiva 2008/50: Estrategia europea sobre la contaminación atmosférica.

Estadística Minera (1909-1930). Ed. Consejo de la Minería. Ministerio de Fomento. Madrid.

Hospital de San Francisco de Paula para Jornaleros. Fundación de D^a Dolores Romero y Arano, viuda de Curiel. Madrid (1986). Consejería de Ordenación del Territorio, Medioambiente y Vivienda. Reproducción facsímile del documento firmado por Antonio Palacios y Joaquín Otamendi en 1916. 15 pp.

Informe anónimo. Hospital de San Francisco de Paula: Madrid. Fundación benéfica particular creada por la S^a D^a Dolores Romero y Arano, V^a de Curiel. (1973).

Plan General de Ordenación Urbana de Morata de Tajuña (2004).

Programa de rehabilitación e inversiones del Antiguo Hospital de Jornaleros, Maudes (1984): Consejería de Ordenación del Territorio, Medioambiente y Vivienda.

Proyecto de restauración y rehabilitación del Antiguo Hospital de Jornaleros de las calles Maudes, Alenza, Raimundo Fernández Villaverde y Treviño en Madrid (1984). Archivo General COPUT (signatura J-206).

Servicio Histórico de la Fundación del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. C/ Piamonte 23, Madrid.

www.aemet.es

www.ayuntamientodemorata.com

www.colmenardeoreja.es

www.mambiente.munimadrid.es

ANEXO A

1. IGLESIA

PORTADA - ORIENTACIÓN NORTE
CUERPO CENTRAL (fachada 1D_{cc})



| | | Fachada 1D _{cc} - cuerpo central (Norte) | | | | | | | | |
|------------------|-------|--------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------|--------|
| | | Disposición directa (en paralelo a la retícula urbana) | | | | | | | | |
| | | nº | L* _a | b* _a | a* _a | ΔL* _a (%) | Δb* _a (%) | Δa* _a (%) | Exposición | Altura |
| NIVEL BAJO | H | 1 | 53,89 | 8,08 | -20,44 | -27,59 | 3,68 | 45,83 | Expuesta | 0 |
| | | 2 | 59,11 | 8,24 | -15,22 | -20,46 | 2,74 | 24,13 | Expuesta | 0 |
| | | 3 | 63,53 | 9,35 | -10,86 | -14,53 | 1,94 | 24,22 | Expuesta | 0 |
| | | 4 | 50,21 | 8,79 | -24,12 | -32,45 | 4,34 | 54,00 | Expuesta | 0 |
| | | 5 | 42,85 | 5,99 | -31,88 | -42,88 | 5,73 | 71,40 | Expuesta | 0 |
| | | 6 | 58,52 | 7,59 | -15,81 | -21,27 | 2,84 | 35,45 | Expuesta | 0 |
| | | 7 | 46,37 | 7,61 | -28,61 | -37,68 | 5,04 | 62,81 | Expuesta | 0 |
| | | 8 | 58,3 | 8,24 | -16,01 | -21,57 | 2,88 | 35,94 | Expuesta | 0 |
| | | 9 | 68,91 | 8,52 | -5,42 | -7,29 | 0,98 | 12,15 | Expuesta | 0 |
| | | 10 | 66,43 | 9,89 | -7,90 | -10,63 | 1,42 | 17,73 | Expuesta | 0 |
| | | 11 | 60,61 | 8,06 | -13,22 | -18,46 | 2,47 | 30,76 | Expuesta | 0 |
| | | 12 | 58,24 | 8,81 | -25,09 | -30,30 | 2,71 | 33,84 | Expuesta | 0 |
| NIVEL INTERMEDIO | H | 13 | 46,31 | 8,51 | -28,02 | -37,70 | 3,04 | 62,83 | Expuesta | 1 |
| | | 14 | 53,53 | 8,5 | -20,86 | -27,58 | 3,74 | 46,64 | Expuesta | 1 |
| | | 15 | 41,16 | 4,96 | -33,17 | -44,63 | 5,37 | 74,36 | Expuesta | 1 |
| | | 16 | 52,7 | 6,93 | -26,63 | -37,37 | 3,29 | 37,29 | Expuesta | 1 |
| | | 17 | 48,21 | 18,97 | -26,12 | -35,14 | 4,70 | 58,57 | Expuesta | 1 |
| | | 18 | 44,25 | 6,99 | -30,08 | -40,47 | 5,41 | 67,45 | Expuesta | 1 |
| | | 19 | 45,24 | 7,1 | -28,99 | -39,00 | 5,22 | 65,00 | Expuesta | 1 |
| | | 20 | 42,88 | 7,11 | -31,49 | -40,37 | 5,66 | 70,61 | Expuesta | 1 |
| | | 21 | 43,55 | 7,28 | -30,78 | -41,41 | 5,54 | 69,02 | Protegida | 1 |
| | | 22 | 53,96 | 8,87 | -18,25 | -24,69 | 3,30 | 41,15 | Expuesta | 1 |
| | | 23 | 41,9 | 6,13 | -32,42 | -43,63 | 5,83 | 72,72 | Protegida | 1 |
| | | 24 | 46,59 | 6,96 | -27,74 | -37,22 | 4,99 | 62,20 | Protegida | 1 |
| NIVEL SUPERIOR | H | 25 | 62,38 | 18,97 | -21,95 | -16,08 | 2,15 | 26,79 | Expuesta | 1 |
| | | 26 | 45,86 | 6,91 | -28,47 | -38,30 | 5,12 | 63,84 | Protegida | 1 |
| | | 27 | 55 | 8,79 | -19,33 | -26,01 | 3,48 | 43,34 | Expuesta | 2 |
| | | 28 | 49,56 | 7,74 | -24,77 | -33,32 | 4,46 | 55,34 | Expuesta | 2 |
| | | 29 | 46,15 | 6,87 | -26,18 | -37,81 | 5,07 | 63,19 | Expuesta | 2 |
| | | 30 | 54,84 | 7,76 | -19,49 | -26,22 | 3,51 | 41,70 | Expuesta | 2 |
| | | 31 | 58,71 | 7,87 | -23,62 | -31,78 | 4,25 | 52,96 | Expuesta | 2 |
| | | 32 | 40,4 | 6,79 | -33,93 | -45,65 | 6,10 | 76,08 | Expuesta | 2 |
| | | 33 | 43,85 | 8,61 | -30,48 | -41,01 | 5,48 | 68,34 | Expuesta | 2 |
| | | 34 | 57,23 | 7,56 | -17,08 | -22,56 | 3,07 | 36,30 | Expuesta | 2 |
| | | 35 | 64,6 | 8,08 | -8,73 | -13,09 | 1,75 | 21,82 | Expuesta | 2 |
| | | 36 | 55,61 | 9,24 | -22,72 | -30,57 | 4,09 | 50,94 | Expuesta | 2 |
| NIVEL MEDIO | H | 37 | 41,29 | 5,34 | -33,04 | -44,45 | 5,94 | 74,08 | Protegida | 2 |
| | | 38 | 52,47 | 18,19 | -21,91 | -29,48 | 3,94 | 45,13 | Protegida | 2 |
| | | 39 | 68,64 | 11,71 | -5,89 | -7,66 | 1,82 | 17,76 | Expuesta | 2 |
| | | 40 | 42,57 | 7,28 | -31,24 | -42,73 | 5,71 | 71,21 | Protegida | 2 |
| | | 41 | 43,6 | 7 | -30,73 | -41,34 | 5,53 | 68,90 | Protegida | 2 |
| | | 42 | 52,48 | 8,87 | -16,87 | -22,76 | 3,83 | 37,83 | Expuesta | 2 |
| | | 43 | 68,58 | 6,81 | -5,25 | -7,74 | 1,83 | 12,89 | Expuesta | 2 |
| | | 44 | 47,17 | 7,01 | -26,96 | -36,27 | 4,85 | 60,45 | Expuesta | 2 |
| | | 45 | 65,76 | 18,34 | -8,57 | -11,53 | 1,54 | 16,22 | Expuesta | 2 |
| | | 46 | 57,81 | 12,27 | -16,50 | -22,20 | 2,97 | 37,00 | Expuesta | 2 |
| | | 47 | 79,56 | 18,05 | 2,23 | 3,00 | -4,48 | -5,06 | Expuesta | 2 |
| | | 48 | 50,47 | 8,28 | -23,88 | -32,10 | 4,29 | 53,50 | Expuesta | 2 |
| NIVEL BAJA | C | 49 | 47,88 | 9,57 | -26,45 | -35,58 | 4,76 | 56,31 | Protegida | 2 |
| | | 50 | 40,6 | 9,72 | -33,73 | -43,38 | 6,07 | 75,63 | Protegida | 2 |
| | | 51 | 49,39 | 8,1 | -33,94 | -43,86 | 6,11 | 76,10 | Protegida | 2 |
| | | 52 | 43,64 | 8,69 | -30,65 | -41,35 | 5,52 | 68,81 | Protegida | 2 |
| | | 53 | 49,52 | 8,61 | -33,79 | -45,45 | 6,38 | 75,74 | Protegida | 2 |
| | | 54 | 69,00 | 8,89 | -14,46 | -19,27 | 2,09 | 32,20 | Expuesta | 3a |
| | | 55 | 58,49 | 8,4 | -15,84 | -21,31 | 2,85 | 35,52 | Expuesta | 3a |
| | | 56 | 65,84 | 8,75 | -8,48 | -11,42 | 1,53 | 16,04 | Expuesta | 3a |
| | | 57 | 67,78 | 9,84 | -6,94 | -8,80 | 1,18 | 14,66 | Expuesta | 3a |
| | | 58 | 49,60 | 7,53 | -24,64 | -33,15 | 4,43 | 55,25 | Expuesta | 3a |
| | | 59 | 69,57 | 9,83 | -4,76 | -6,40 | 0,86 | 10,67 | Expuesta | 3a |
| | | 60 | 69,44 | 18,77 | -4,89 | -6,58 | 0,88 | 10,96 | Expuesta | 3a |
| NIVEL SUPERIOR | B | 61 | 73,07 | 9,88 | -1,35 | -1,70 | 0,23 | 2,83 | Expuesta | 3b |
| | | 62 | 75,38 | 9,13 | 4,03 | 2,76 | -0,37 | -4,69 | Expuesta | 3b |
| | | 63 | 72,19 | 18,50 | -2,24 | -2,88 | 0,38 | 4,80 | Expuesta | 3b |
| | | 64 | 58,53 | 18,52 | -23,61 | -32,00 | 4,28 | 53,79 | Expuesta | 3b |
| | | 65 | 68,8 | 9 | -4,33 | -6,19 | 0,41 | 16,16 | Expuesta | 3b |
| | | 66 | 89,00 | 12,41 | -5,33 | -7,14 | 0,36 | 11,91 | Expuesta | 3b |
| | | 67 | 65,61 | 9,88 | -6,72 | -11,72 | 1,37 | 19,55 | Expuesta | 3b |
| | | 68 | 71,27 | 9,66 | -3,86 | -4,12 | 0,55 | 6,88 | Expuesta | 3b |
| | | 69 | 52,12 | 9,16 | -16,61 | -22,62 | 3,82 | 37,69 | Expuesta | 3b |
| | | 70 | 59,85 | 18,25 | -22,48 | -31,58 | 4,22 | 52,85 | Expuesta | 3b |
| | | 71 | 79,18 | 9,7 | 4,96 | 6,54 | -0,87 | -14,90 | Expuesta | 3b |
| | | 72 | 54,64 | 12,63 | -20,39 | -27,33 | 3,65 | 45,90 | Protegida | 3c |
| 73 | 70,7 | 8,72 | -3,63 | -4,88 | 0,61 | 8,14 | Expuesta | 3c | | |
| 74 | 75,45 | 8,58 | 1,12 | 1,51 | -0,28 | -2,53 | Expuesta | 3c | | |
| 75 | 73,06 | 18,97 | -1,27 | -1,71 | 0,22 | 2,85 | Expuesta | 3c | | |
| 76 | 42,89 | 7,58 | -31,44 | -42,30 | 5,66 | 76,50 | Protegida | 3c | | |
| 77 | 60,05 | 8,77 | -14,28 | -18,21 | 2,57 | 32,02 | Expuesta | 3c | | |
| 78 | 48,7 | 8,72 | -26,03 | -35,00 | 4,68 | 58,37 | Expuesta | 3c | | |
| 79 | 67,13 | 8,5 | -6,88 | -9,79 | 1,28 | 15,05 | Expuesta | 3c | | |
| 80 | 54,3 | 8,88 | -20,00 | -26,95 | 3,60 | 44,91 | Expuesta | 3c | | |
| 81 | 64,58 | 9,1 | -0,75 | -13,12 | 1,75 | 21,86 | Expuesta | 3c | | |

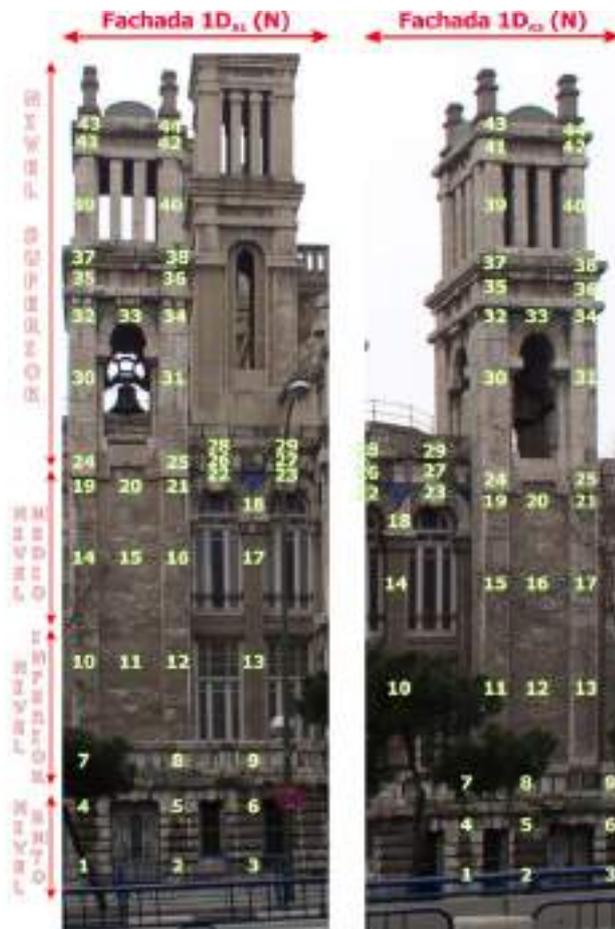
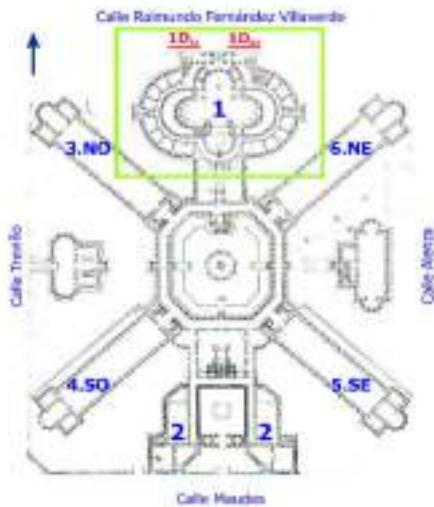
Fig. 1. Retícula establecida en el cuerpo central de la portada de la iglesia (1D_{R2}). Año 2006, antes limpieza.

L*_n(max) = 79,19 (zona expuesta subnivel 3b).

L*_n(min) = 40,39 (zona protegida nivel 2).

Este cuerpo presenta cierto carácter escultórico, otorgado por la abundancia de vanos, y está ligeramente adelantado respecto a los cuerpos laterales de la fachada de la iglesia. Debido a la altura de la portada de la iglesia, en el nivel superior se ha incluido un tercer subnivel (3c).

1. IGLESIA
PORTADA - ORIENTACIÓN NORTE
CUERPOS LATERALES
(fachadas 1D_{R1} y 1D_{R3})



| Fachada 1D _{R1} - cuerpo lateral (Norte) | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------|-------|-------|-------|---------|----------|---------|-------------------|
| Disposición directa (sin pasadizo y sin retículo urbano) | | | | | | | |
| #P | L* | B* | AL* | AL* (%) | CE, u SO | ACE (%) | Exposición Altura |
| 1 | 47,1 | 4,23 | 27,21 | 36,63 | 1,96 | 0,80 | Expuesta 0 |
| 2 | 41,26 | 3,69 | 23,65 | 44,35 | 3,39 | 24,11 | Expuesta 0 |
| 3 | 41,21 | 3,35 | 23,12 | 44,35 | 3,39 | 24,26 | Expuesta 0 |
| 4 | 42,87 | 3,18 | 23,9 | 49,89 | 3,47 | 48,26 | Protegida 0 |
| 5 | 45,77 | 3,73 | 18,56 | 18,47 | 3,14 | 19,84 | Protegida 0 |
| 6 | 41,21 | 3,83 | 22,82 | 44,42 | 3,94 | 24,84 | Protegida 0 |
| 7 | 46,16 | 6,27 | 8,27 | 18,89 | 1,47 | 18,22 | Protegida 1 |
| 8 | 59,18 | 6,29 | 15,25 | 22,26 | 2,71 | 22,87 | Protegida 1 |
| 9 | 60,69 | 5,15 | 12,44 | 18,88 | 2,41 | 26,14 | Protegida 1 |
| 10 | 53,48 | 11,21 | 18,45 | 19,42 | 3,31 | 41,27 | Expuesta 1 |
| 11 | 56,27 | 13,73 | 18,86 | 24,20 | 3,25 | 46,50 | Expuesta 1 |
| 12 | 46,36 | 5,32 | 22,95 | 22,66 | 5,01 | 22,67 | Expuesta 1 |
| 13 | 45,67 | 3,89 | 24,65 | 23,28 | 4,44 | 22,29 | Expuesta 1 |
| 14 | 52,89 | 6,29 | 21,49 | 18,89 | 3,86 | 46,26 | Expuesta 2 |
| 15 | 52,54 | 10,24 | 26,29 | 22,87 | 3,24 | 46,42 | Expuesta 2 |
| 16 | 45,26 | 9,5 | 28,65 | 28,26 | 3,21 | 45,14 | Expuesta 2 |
| 17 | 53,96 | 10,61 | 26,22 | 22,46 | 3,26 | 46,27 | Expuesta 2 |
| 18 | 65,36 | 10,58 | 8,27 | 12,87 | 2,81 | 26,11 | Expuesta 2 |
| 19 | 42,26 | 3,25 | 23,54 | 45,12 | 6,03 | 25,21 | Protegida 2 |
| 20 | 48,1 | 12,12 | 28,23 | 22,98 | 3,08 | 61,20 | Protegida 2 |
| 21 | 50,21 | 10,18 | 19,12 | 22,45 | 4,34 | 54,88 | Protegida 2 |
| 22 | 44,4 | 3,67 | 13,7 | 5,39 | 4,31 | 5,16 | Expuesta 2 |
| 23 | 50,24 | 6,21 | 13,89 | 5,31 | 0,22 | 8,36 | Expuesta 2 |
| 24 | 60,75 | 14,60 | 12,58 | 18,27 | 2,44 | 36,45 | Expuesta 2a |
| 25 | 69,26 | 3,57 | 4,59 | 4,26 | 0,83 | 12,27 | Expuesta 2a |
| 26 | 48,01 | 11,38 | 18,12 | 28,41 | 4,21 | 39,62 | Expuesta 2a |
| 27 | 58,98 | 6,61 | 12,29 | 22,24 | 3,22 | 38,80 | Protegida 2a |
| 28 | 65,96 | 6,64 | 8,27 | 12,26 | 1,51 | 18,27 | Expuesta 2a |
| 29 | 57,27 | 3,72 | 17,1 | 22,81 | 2,08 | 38,24 | Expuesta 2a |
| 30 | 72,08 | 8,87 | 2,25 | 3,20 | 4,99 | 4,17 | Expuesta 2a |
| 31 | 59,69 | 10,4 | 4,88 | 4,88 | 0,86 | 8,21 | Expuesta 2a |
| 32 | 62,61 | 6,24 | 8,32 | 8,27 | 1,27 | 14,61 | Protegida 2a |
| 33 | 51,2 | 6,9 | 22,15 | 22,12 | 4,16 | 51,86 | Protegida 2a |
| 34 | 77,33 | 10,5 | 7 | 4,84 | 3,94 | 35,21 | Protegida 2a |
| 35 | 44,24 | 6,29 | 18,28 | 18,81 | 5,31 | 66,25 | Protegida 2a |
| 36 | 55,51 | 15,26 | 18,22 | 22,89 | 3,46 | 41,12 | Protegida 2a |
| 37 | 51,99 | 6,24 | 18,84 | 45,25 | 3,99 | 40,24 | Expuesta 2a |
| 38 | 50,21 | 3,27 | 18,12 | 45,27 | 4,37 | 34,55 | Expuesta 2a |
| 39 | 62,28 | 19,23 | 12,48 | 18,21 | 3,37 | 22,89 | Expuesta 2a |
| 40 | 66,25 | 10,69 | 4,86 | 12,87 | 1,45 | 18,12 | Expuesta 2a |
| 41 | 59,26 | 10,3 | 14,24 | 18,83 | 2,65 | 20,21 | Protegida 2a |
| 42 | 75,26 | 11,60 | 6,87 | 1,25 | 4,17 | 2,06 | Protegida 2a |
| 43 | 52,21 | 3,24 | 22,1 | 18,25 | 3,86 | 49,25 | Expuesta 2a |
| 44 | 65,26 | 10,3 | 8,27 | 12,80 | 1,86 | 18,60 | Expuesta 2a |

| Fachada 1D _{R3} - cuerpo lateral (Norte) | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------|-------|-------|-------|---------|----------|---------|-------------------|
| Disposición directa (sin pasadizo y sin retículo urbano) | | | | | | | |
| #P | L* | B* | AL* | AL* (%) | CE, u SO | ACE (%) | Exposición Altura |
| 1 | 55,2 | 3,7 | 13,26 | 26,72 | 3,57 | 44,52 | Expuesta 0 |
| 2 | 56,24 | 6,29 | 22,23 | 22,23 | 3,08 | 56,21 | Expuesta 0 |
| 3 | 48,26 | 3,29 | 22,87 | 18,29 | 3,32 | 58,20 | Expuesta 0 |
| 4 | 49,28 | 6,27 | 22,87 | 22,87 | 4,18 | 62,11 | Protegida 0 |
| 5 | 46,28 | 6,27 | 22,87 | 22,87 | 4,18 | 62,11 | Protegida 0 |
| 6 | 48,24 | 4,26 | 22,19 | 24,42 | 4,66 | 52,28 | Protegida 0 |
| 7 | 65,27 | 6,83 | 4,62 | 12,60 | 1,28 | 18,22 | Protegida 1 |
| 8 | 59,26 | 6,24 | 14,86 | 18,99 | 2,62 | 20,21 | Protegida 1 |
| 9 | 52,27 | 2,28 | 20,26 | 28,20 | 3,27 | 42,08 | Protegida 1 |
| 10 | 40,26 | 6,23 | 19,21 | 46,15 | 6,17 | 28,82 | Expuesta 1 |
| 11 | 52,1 | 11,12 | 22,22 | 28,26 | 3,62 | 47,06 | Expuesta 1 |
| 12 | 55,11 | 6,82 | 18,12 | 28,26 | 3,26 | 42,06 | Expuesta 1 |
| 13 | 52,22 | 6,21 | 22,1 | 28,22 | 3,26 | 48,25 | Expuesta 1 |
| 14 | 42,26 | 6,29 | 22,87 | 22,87 | 3,27 | 22,46 | Expuesta 1 |
| 15 | 54,4 | 10,48 | 18,92 | 28,41 | 2,68 | 44,69 | Expuesta 1 |
| 16 | 53,03 | 6,44 | 28,46 | 22,52 | 3,68 | 48,68 | Expuesta 1 |
| 17 | 49,26 | 6,29 | 22,52 | 22,26 | 4,48 | 28,22 | Expuesta 1 |
| 18 | 68,27 | 3,81 | 5,5 | 7,21 | 1,02 | 12,56 | Expuesta 1 |
| 19 | 50,26 | 6,28 | 18,41 | 48,29 | 6,18 | 22,16 | Protegida 2 |
| 20 | 40,26 | 6,28 | 18,28 | 28,21 | 2,44 | 28,28 | Protegida 2 |
| 21 | 65,24 | 10,98 | 4,59 | 12,56 | 1,38 | 18,26 | Protegida 2 |
| 22 | 44,2 | 6,27 | 28,42 | 28,26 | 3,26 | 65,26 | Expuesta 2 |
| 23 | 55,23 | 6,89 | 42,26 | 28,26 | 2,57 | 64,21 | Expuesta 2 |
| 24 | 43,20 | 11,11 | 28,46 | 42,26 | 5,48 | 68,20 | Expuesta 2a |
| 25 | 50,28 | 6,43 | 22,46 | 22,56 | 6,20 | 52,26 | Expuesta 2a |
| 26 | 49,28 | 6,4 | 5,04 | 4,28 | 0,82 | 12,20 | Expuesta 2a |
| 27 | 52,66 | 6,29 | 4,67 | 4,02 | 1,28 | 14,96 | Protegida 2a |
| 28 | 46,28 | 6,25 | 28,24 | 28,20 | 4,68 | 58,20 | Expuesta 2a |
| 29 | 28,22 | 6,84 | 28,12 | 48,29 | 6,26 | 68,29 | Expuesta 2a |
| 30 | 48,29 | 10,7 | 4,94 | 4,12 | 1,08 | 12,54 | Expuesta 2a |
| 31 | 70,28 | 6,24 | 4,05 | 4,08 | 0,23 | 9,08 | Expuesta 2a |
| 32 | 22,22 | 2,22 | 1,06 | 1,45 | 0,19 | 2,44 | Protegida 2a |
| 33 | 45,28 | 2,22 | 28,24 | 42,26 | 5,22 | 48,21 | Protegida 2a |
| 34 | 50,29 | 10,28 | 14,4 | 18,27 | 2,28 | 32,29 | Protegida 2a |
| 35 | 38,24 | 11,28 | 22,28 | 22,26 | 6,28 | 68,26 | Protegida 2a |
| 36 | 69,20 | 6,81 | 4,1 | 4,05 | 0,21 | 18,29 | Protegida 2a |
| 37 | 42,2 | 6,28 | 42,20 | 22,27 | 3,91 | 48,26 | Expuesta 2a |
| 38 | 42,20 | 6,29 | 12,51 | 42,28 | 5,62 | 28,29 | Expuesta 2a |
| 39 | 78,24 | 11,62 | 6,81 | 1,25 | 0,17 | 2,09 | Expuesta 2a |
| 40 | 70,24 | 10,99 | 1,49 | 4,20 | 0,63 | 2,83 | Expuesta 2a |
| 41 | 68,12 | 6,27 | 4,21 | 4,25 | 1,12 | 12,83 | Protegida 2a |
| 42 | 58,28 | 6,87 | 15,25 | 22,26 | 2,28 | 24,42 | Protegida 2a |
| 43 | 55,2 | 6,81 | 18,21 | 28,28 | 3,62 | 42,81 | Expuesta 2a |
| 44 | 65,26 | 6,26 | 18,67 | 14,62 | 1,08 | 24,27 | Expuesta 2a |

Fig. 2. Retícula establecida en los cuerpos laterales de la portada de la iglesia (1D_{R1} - 1D_{R3}). Año 2006, antes limpieza.

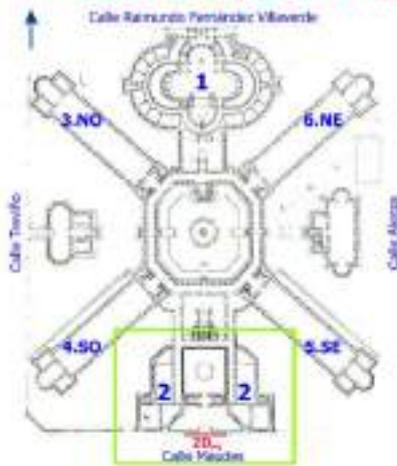
Cuerpo 1D_{R1}: L*_{n(max)} = 77,33 (zona protegida subnivel 3c); L*_{n(min)} = 40,79 (zona protegida nivel 2).

Cuerpo 1D_{R3}: L*_{n(max)} = 75,26 (zona expuesta 3c); L*_{n(min)} = 32,27 (zona expuesta nivel 2).

El nivel basamento (0) de estos cuerpos forma parte del muro perimetral. En el nivel superior de estos cuerpos igualmente se ha considerado un tercer subnivel (3c).

2. ACCESO AL INMUEBLE

**FACHADA C/MAUDES
ORIENTACIÓN SUR
CUERPO CENTRAL (fachada 2D_{M2})**



| Fachada 2D _{M2} - cuerpo central (Sur) | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------|---------|----------------|----------------|--------|---------|-----------------------|-----------|------------|-----------|---|
| Disposición directa (en paralelo a la retícula urbana) | | | | | | | | | | |
| | EP | S ^o | h ^o | ALT. | BL* (%) | CE, x 25 ^o | ACC. (%) | Exposición | Ritmo | |
| NIVEL 0 | 1 | 79,21 | 8,52 | -5,98 | 5,57 | -5,98 | -18,94 | Expuesta | 0 | |
| | 2 | 76,85 | -3,95 | 2,52 | 3,35 | -3,95 | -3,85 | Expuesta | 0 | |
| | 3 | 75,18 | 15,2 | -5,15 | -5,24 | 8,57 | 7,08 | Expuesta | 0 | |
| | 4 | 87,89 | 15,12 | -6,99 | -6,99 | 0,25 | 35,59 | Expuesta | 0 | |
| | 5 | 77,58 | 18,84 | -1,75 | -2,35 | 8,31 | 1,82 | Expuesta | 0 | |
| | 6 | 60,13 | 0,03 | -13,3 | -12,15 | 2,37 | 29,69 | Expuesta | 0 | |
| | 7 | 69,67 | 18,89 | -13,66 | -18,38 | 2,45 | 20,63 | Expuesta | 0 | |
| | 8 | 30,84 | 13,37 | -18,18 | -11,31 | 4,19 | 31,22 | Expuesta | 0 | |
| | 9 | 45,61 | 18,89 | -9,64 | -18,57 | 4,75 | 59,23 | Expuesta | 0 | |
| | 10 | 38,84 | 18,61 | -18,29 | -19,61 | 5,29 | 41,61 | Expuesta | 0 | |
| | 11 | 32,33 | 14,3 | -23,01 | -20,86 | 4,14 | 51,49 | Expuesta | 0 | |
| | 12 | 34,74 | 17,35 | -19,24 | -25,36 | 3,52 | 43,53 | Expuesta | 0 | |
| NIVEL 1 | 13 | 42,24 | 18,66 | -12,99 | -17,48 | 2,24 | 29,13 | Expuesta | 1 | |
| | 14 | 72,89 | 18,23 | -1,49 | -7,08 | 8,27 | 1,29 | Expuesta | 1 | |
| | 15 | 32,33 | 18,89 | -18,82 | -25,21 | 3,26 | 41,18 | Expuesta | 1 | |
| | 16 | 36,06 | 13,35 | -18,27 | -24,59 | 3,25 | 40,57 | Expuesta | 1 | |
| | 17 | 74,44 | 15,53 | 8,15 | 8,15 | -3,31 | -3,25 | Expuesta | 1 | |
| | 18 | 75,38 | 15,31 | -5,35 | -5,18 | 8,42 | 3,27 | Expuesta | 1 | |
| | 19 | 65,98 | 15,97 | -6,35 | -11,21 | 5,50 | 35,72 | Expuesta | 1 | |
| | 20 | 35,32 | 15,88 | -19,83 | -19,83 | 8,78 | 78,65 | Expuesta | 1 | |
| | 21 | 45,27 | 9,89 | -17,66 | -16,41 | 4,47 | 60,68 | Expuesta | 1 | |
| | 22 | 46,42 | 6,13 | -17,62 | -17,58 | 3,32 | 62,68 | Expuesta | 1 | |
| | 23 | 45,36 | 18,75 | -17,77 | -17,77 | 4,26 | 61,74 | Expuesta | 1 | |
| | 24 | 46,25 | 9 | -19,04 | -18,98 | 8,12 | 75,13 | Expuesta | 1 | |
| NIVEL 2 | 25 | 63,97 | 18,32 | -19,38 | -13,94 | 3,86 | 71,23 | Protegida | 2 | |
| | 26 | 40,31 | 6,29 | -11,82 | -15,88 | 2,13 | 49,18 | Protegida | 2 | |
| | 27 | 33,36 | 18,42 | -20,77 | -17,64 | 3,74 | 46,57 | Protegida | 2 | |
| | 28 | 44,81 | 9,49 | -19,52 | -19,71 | 5,21 | 66,19 | Protegida | 2 | |
| | 29 | 40,31 | 6,13 | -11,28 | -10,98 | 3,62 | 50,29 | Protegida | 2 | |
| | 30 | 37,62 | 14,27 | -18,52 | -17,23 | 3,83 | 17,84 | Protegida | 2 | |
| | 31 | 44,2 | 15,85 | -20,13 | -19,54 | 5,41 | 67,55 | Protegida | 2 | |
| | NIVEL 3 | 32 | 38,28 | 18,27 | -19,05 | -19,36 | 4,72 | 53,57 | Expuesta | 3 |
| | | 33 | 68,08 | 13,23 | -6,25 | -6,81 | 5,12 | 34,81 | Expuesta | 3 |
| | | 34 | 46,24 | 9,67 | -13,68 | -14,71 | 6,13 | 58,21 | Expuesta | 3 |
| | | 35 | 44,27 | 22,27 | -20,08 | -19,49 | 5,41 | 67,80 | Expuesta | 3 |
| | | 36 | 52,31 | 18,3 | -12,01 | -13,51 | 3,76 | 49,15 | Expuesta | 3 |
| 37 | | 54,72 | 12,65 | -19,08 | -18,39 | 3,81 | 44,88 | Expuesta | 3 | |
| 38 | | 49,28 | 18,21 | -24,49 | -12,89 | 4,40 | 54,82 | Expuesta | 3 | |
| 39 | | 41,88 | 9,38 | -19,47 | -19,49 | 5,48 | 68,12 | Expuesta | 3 | |
| 40 | | 48,35 | 0,02 | -25,74 | -24,61 | 4,82 | 57,72 | Expuesta | 3 | |
| 41 | | 48,26 | 18,26 | -25,07 | -24,11 | 4,56 | 56,89 | Expuesta | 3 | |
| 42 | | 40,28 | 6,45 | -17,84 | -16,38 | 4,85 | 60,63 | Expuesta | 3 | |
| 43 | | 47,07 | 8,71 | -26,4 | -15,52 | 4,72 | 59,23 | Expuesta | 3 | |
| NIVEL 4 | 44 | 48,8 | 15,88 | -25,03 | -14,82 | 4,59 | 57,24 | Expuesta | 4 | |
| | 45 | 49,28 | 18,82 | -19,75 | -19,87 | 4,58 | 56,62 | Expuesta | 4 | |
| | 46 | 48,02 | 9,45 | -26,23 | -25,46 | 4,73 | 58,99 | Expuesta | 4 | |
| | 47 | 46,63 | 6,59 | -22,7 | -22,71 | 4,98 | 62,11 | Expuesta | 4 | |
| | 48 | 40,23 | 18,32 | -16,8 | -16,08 | 4,82 | 60,09 | Expuesta | 4 | |
| | 49 | 45,45 | 18,83 | -18,92 | -18,21 | 4,84 | 60,16 | Expuesta | 4 | |
| | 50 | 45,45 | 18,89 | -19,89 | -18,14 | 4,84 | 60,27 | Protegida | 4 | |
| | 51 | 46,32 | 15,82 | -15,8 | -19,71 | 4,94 | 67,85 | Protegida | 4 | |
| | 52 | 38,62 | 12,36 | -13,66 | -14,81 | 4,25 | 53,05 | Protegida | 4 | |
| | 53 | 42,31 | 9,72 | -12,20 | -16,27 | 2,22 | 27,62 | Protegida | 4 | |
| | 54 | 40,25 | 9,14 | -17,48 | -16,79 | 4,93 | 61,17 | Protegida | 4 | |
| | 55 | 46,25 | 13,81 | -18,08 | -17,73 | 5,05 | 61,94 | Protegida | 4 | |
| NIVEL 5 | 56 | 46,45 | 5,35 | -12,08 | -14,74 | 5,21 | 75,73 | Protegida | 5 | |
| | NIVEL 6 | 57 | 35,35 | 9,68 | -16,35 | -19,11 | 6,58 | 61,39 | Protegida | 6 |
| | | 58 | 36,27 | 18,45 | -16,24 | -17,64 | 6,40 | 76,72 | Protegida | 6 |
| | | 59 | 32,56 | 15,81 | -22,74 | -20,55 | 4,35 | 50,59 | Protegida | 6 |
| | | 60 | 68,72 | 8,1 | -24,1 | -13,24 | 5,27 | 17,80 | Protegida | 6 |
| | | 61 | 32,24 | 7,82 | -12,07 | -16,68 | 5,62 | 54,12 | Protegida | 6 |
| | | 62 | 32,67 | 12,35 | -12,64 | -12,89 | 4,88 | 50,81 | Protegida | 6 |
| | | 63 | 36,47 | 13,82 | -17,92 | -15,11 | 5,22 | 40,18 | Protegida | 6 |
| | | 64 | 32,25 | 13,27 | -11,08 | -14,36 | 3,79 | 47,27 | Expuesta | 6 |
| | | 65 | 32,31 | 15,46 | -11,32 | -14,58 | 3,84 | 47,80 | Expuesta | 6 |
| | | 66 | 35,27 | 2,77 | -18,26 | -11,38 | 3,24 | 30,45 | Expuesta | 6 |
| | | 67 | 35,14 | 15,24 | -11,18 | -18,51 | 3,81 | 47,51 | Expuesta | 6 |
| 68 | | 35,38 | 18,71 | -19,57 | -19,67 | 6,20 | 66,24 | Expuesta | 6 | |
| NIVEL 7 | 69 | 46,42 | 9,38 | -6,92 | -11,99 | 5,80 | 59,88 | Expuesta | 7 | |
| | 70 | 38,27 | 9,84 | -15,26 | -18,51 | 2,75 | 34,12 | Expuesta | 7 | |
| | 71 | 44,70 | 12,81 | -5,47 | -7,28 | 8,97 | 31,13 | Protegida | 7 | |
| | 72 | 75,83 | 0,02 | -5,0 | -5,38 | 8,46 | 5,81 | Protegida | 7 | |
| NIVEL 8 | 73 | 68,14 | 2,35 | -14,18 | -14,09 | 3,35 | 31,32 | Protegida | 8 | |
| | 74 | 78,9 | 2,34 | -5,47 | -4,61 | 3,62 | 2,68 | Protegida | 8 | |
| | 75 | 58,14 | 6,09 | -14,13 | -13,09 | 2,52 | 21,82 | Protegida | 8 | |
| | 76 | 62,36 | 8,5 | -12,27 | -16,51 | 3,21 | 27,51 | Protegida | 8 | |
| 77 | 79,79 | 7,81 | -5,94 | -6,78 | 8,64 | 3,94 | Protegida | 8 | | |

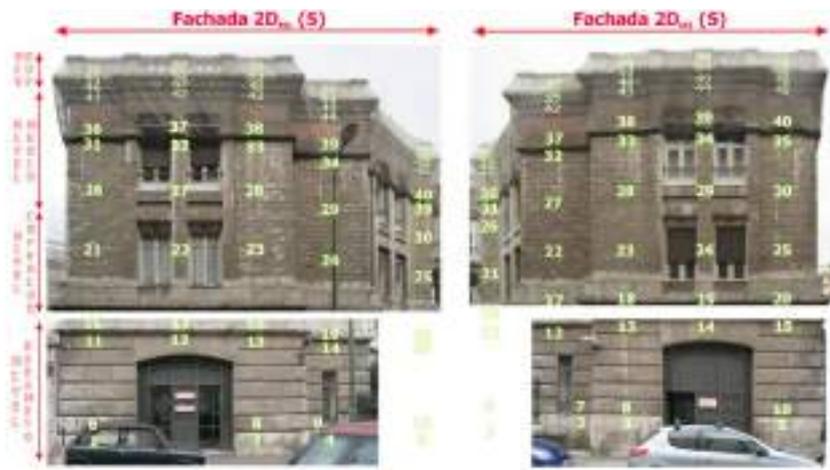
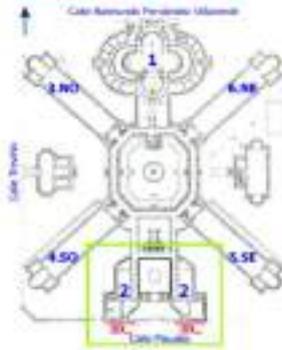
Fig. 3. Retícula establecida en el cuerpo central de la fachada de acceso al inmueble por la calle Maudes (2D_{M2}). Año 2006, antes limpieza.

L*_n (max) = 79,21 (zona expuesta nivel 0).

L*_n (min) = 32,26 (zona protegida subnivel 3b).

La albardilla que remata el nivel balaustrada está configurada con piedra artificial. Este cuerpo está considerablemente alejado de la calle Maudes y también muestra cierto carácter escultórico, al presentar un diseño provisto de numerosos vanos.

2. ACCESO AL INMUEBLE
FACHADA C/MAUDES
ORIENTACIÓN SUR
CUERPOS LATERALES
(fachadas 2D_{M1} y 2D_{M2})



| Fachada 2D _{M1} - cuerpo lateral (Sur) | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------|-------|-------|--------|---------|----------|----------|------------|--------|--|
| Disposición directa (sin paralelo a la retícula urbana) | | | | | | | | | |
| #P | L* | B* | AL* | AL* (%) | CE, a ED | ACE, (%) | Exposición | Altura | |
| 1 | 74,37 | 8,46 | 0,04 | 0,05 | -0,09 | -0,09 | Coposita | 0 | |
| 2 | x | x | x | x | x | x | Coposita | 0 | |
| 3 | 67,1 | 11,60 | -12,11 | -16,30 | 2,18 | 27,28 | Exposita | 0 | |
| 4 | 71,62 | 8,86 | -2,51 | -3,38 | 0,46 | 5,63 | Exposita | 0 | |
| 5 | 71,20 | 12,28 | -0,2 | -4,07 | 0,68 | 7,44 | Exposita | 0 | |
| 6 | 64,49 | 8,77 | -9,84 | -13,20 | 1,77 | 23,86 | Exposita | 0 | |
| 7 | x | x | x | x | x | x | Coposita | 0 | |
| 8 | 56,33 | 12,62 | -15 | -20,18 | 2,78 | 35,83 | Coposita | 0 | |
| 9 | 64,64 | 16,53 | -0,46 | -12,77 | 1,75 | 21,28 | Coposita | 0 | |
| 10 | 66,07 | 13,51 | -5,46 | -7,35 | 0,98 | 12,24 | Coposita | 0 | |
| 11 | 47,35 | 16,48 | -11,27 | -42,47 | 5,68 | 79,79 | Protectora | 0 | |
| 12 | 43,82 | 13,30 | -34,81 | -41,05 | 5,48 | 68,41 | Protectora | 0 | |
| 13 | 46,68 | 10,3 | -19,67 | -32,19 | 4,44 | 56,32 | Protectora | 0 | |
| 14 | 50,13 | 11,77 | -24,22 | -32,58 | 4,38 | 54,31 | Protectora | 0 | |
| 15 | 46,13 | 8,36 | -26,22 | -32,29 | 4,72 | 58,29 | Protectora | 0 | |
| 16 | 50,65 | 12,53 | -13,68 | -18,46 | 2,48 | 28,67 | Coposita | 0 | |
| 17 | 51,08 | 8,07 | -12,25 | -12,80 | 2,38 | 28,73 | Coposita | 0 | |
| 18 | 56,68 | 8,46 | -14,45 | -19,44 | 2,68 | 32,40 | Coposita | 0 | |
| 19 | 54,05 | 12,41 | -20,28 | -27,28 | 3,60 | 45,67 | Exposita | 0 | |
| 20 | 55,09 | 10,4 | -19,24 | -25,88 | 3,48 | 43,14 | Exposita | 0 | |
| 21 | 51,94 | 8,67 | -17,39 | -23,12 | 3,02 | 38,20 | Exposita | 1 | |
| 22 | 53,42 | 7,18 | -20,21 | -28,13 | 3,78 | 48,89 | Exposita | 1 | |
| 23 | 56,35 | 12,62 | -15,98 | -21,28 | 2,68 | 35,81 | Exposita | 1 | |
| 24 | 59,03 | 8,07 | -18,1 | -23,58 | 2,75 | 35,31 | Exposita | 1 | |
| 25 | 56,79 | 13,68 | -12,56 | -23,61 | 3,18 | 39,35 | Exposita | 1 | |
| 26 | 52,17 | 11,73 | -12,08 | -22,68 | 3,07 | 40,46 | Exposita | 1 | |
| 27 | 51,43 | 7,98 | -16,4 | -22,74 | 3,04 | 37,68 | Exposita | 2 | |
| 28 | 66,08 | 8,80 | -7,45 | -10,00 | 1,24 | 16,70 | Coposita | 2 | |
| 29 | 46,68 | 13,64 | -23,63 | -34,51 | 4,01 | 57,51 | Coposita | 2 | |
| 30 | 59,03 | 8,36 | -16,4 | -21,27 | 2,68 | 32,28 | Exposita | 2 | |
| 31 | 44,8 | 10,3 | -28,83 | -35,73 | 5,21 | 66,21 | Protectora | 2 | |
| 32 | 56,24 | 8,86 | -18,09 | -24,34 | 3,25 | 40,56 | Protectora | 2 | |
| 33 | 51,37 | 12,53 | -22,96 | -30,88 | 4,13 | 51,46 | Protectora | 2 | |
| 34 | 58,5 | 12,82 | -15,81 | -21,38 | 2,85 | 35,49 | Protectora | 2 | |
| 35 | 61,28 | 16,13 | -11,98 | -17,66 | 2,39 | 28,21 | Protectora | 2 | |
| 36 | 46,32 | 16,25 | -15,81 | -24,72 | 4,64 | 57,80 | Exposita | 2 | |
| 37 | 55,9 | 16,73 | -18,43 | -24,79 | 3,30 | 46,32 | Coposita | 2 | |
| 38 | 46,27 | 8,83 | -28,06 | -32,75 | 5,05 | 62,82 | Exposita | 2 | |
| 39 | 51,29 | 10,51 | -23,04 | -31,06 | 4,14 | 51,86 | Exposita | 2 | |
| 40 | 58,08 | 10,6 | -18,24 | -21,89 | 2,92 | 38,41 | Exposita | 2 | |
| 41 | 49,43 | 12,44 | -24,8 | -32,36 | 4,48 | 55,83 | Protectora | 2 | |
| 42 | 41,1 | 16,92 | -12,21 | -44,71 | 5,98 | 74,51 | Protectora | 2 | |
| 43 | 42,2 | 16,68 | -22,13 | -43,23 | 5,78 | 72,84 | Protectora | 2 | |
| 44 | 46,02 | 8,27 | -34,51 | -46,18 | 6,17 | 78,83 | Protectora | 2 | |
| 45 | 49,13 | 8,19 | -29,22 | -39,21 | 6,38 | 86,52 | Protectora | 2 | |
| 46 | 51,11 | 6,94 | -17,22 | -23,17 | 2,18 | 28,61 | Protectora | 3a | |
| 47 | 56,46 | 8,94 | -15,87 | -21,29 | 2,88 | 35,88 | Protectora | 3a | |
| 48 | 46,46 | 16,25 | -22,30 | -32,80 | 4,90 | 65,37 | Protectora | 3a | |
| 49 | 56,34 | 7,65 | -14,99 | -20,17 | 2,79 | 33,81 | Protectora | 3a | |
| 50 | 54,13 | 11,61 | -22,22 | -27,29 | 3,64 | 46,34 | Protectora | 3a | |
| 51 | 56,32 | 8,37 | -15,86 | -21,47 | 2,80 | 35,26 | Exposita | 3a | |
| 52 | 57,35 | 7,79 | -16,78 | -22,58 | 3,02 | 37,63 | Exposita | 3a | |
| 53 | 61,28 | 8,32 | -12,76 | -14,58 | 1,94 | 24,17 | Exposita | 3a | |
| 54 | 46,37 | 8,85 | -27,96 | -32,62 | 5,03 | 62,89 | Exposita | 3a | |
| 55 | 51,08 | 6,99 | -12,27 | -24,60 | 2,61 | 47,68 | Exposita | 3a | |
| 56 | 46,49 | 8,37 | -15,84 | -21,39 | 2,13 | 28,59 | Protectora | 3b | |
| 57 | 50,03 | 8,22 | -13,42 | -18,05 | 2,41 | 30,29 | Protectora | 3b | |
| 58 | 56,36 | 8,39 | -14,97 | -20,14 | 2,68 | 33,57 | Protectora | 3b | |
| 59 | 53,49 | 8,80 | -19,84 | -24,58 | 1,95 | 24,31 | Protectora | 3b | |
| 60 | 63,1 | 7,5 | -15,21 | -18,13 | 2,02 | 25,38 | Protectora | 3b | |

| Fachada 2D _{M2} - cuerpo lateral (Sur) | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------------|-------|-------|--------|---------|----------|----------|------------|----------|---|--|
| Disposición directa (sin paralelo a la retícula urbana) | | | | | | | | | | |
| #P | L* | B* | AL* | AL* (%) | CE, a ED | ACE, (%) | Exposición | Altura | | |
| 1 | 76,15 | 7,22 | -4,18 | -5,62 | 0,75 | 9,37 | Coposita | 0 | | |
| 2 | 66,21 | 12,43 | -5,02 | -6,90 | x | 9,90 | x | Coposita | 0 | |
| 3 | 74,25 | 9,19 | -0,08 | -0,15 | 0,65 | 8,18 | Exposita | 0 | | |
| 4 | x | x | x | x | x | x | x | Coposita | 0 | |
| 5 | 72,45 | 16,47 | -1,88 | -2,32 | 0,34 | 4,23 | Exposita | 0 | | |
| 6 | 56,82 | 12,83 | -25,21 | -25,98 | 1,47 | 43,38 | Exposita | 0 | | |
| 7 | 57,11 | 8,36 | -17,21 | -20,30 | 1,30 | x | Coposita | 0 | | |
| 8 | 54,65 | 9,74 | -23,68 | -26,44 | 1,94 | 44,13 | Coposita | 0 | | |
| 9 | x | x | x | x | x | x | x | Coposita | 0 | |
| 10 | 56,9 | 14,21 | -17,43 | -23,45 | 1,14 | 28,08 | Coposita | 0 | | |
| 11 | 56,07 | 16,41 | -23,68 | -31,83 | 4,35 | 53,05 | Protectora | 0 | | |
| 12 | 46,25 | 11,63 | -26,98 | -30,99 | 5,21 | 64,98 | Protectora | 0 | | |
| 13 | 52,28 | 8,98 | -22,65 | -29,67 | 3,97 | 49,44 | Protectora | 0 | | |
| 14 | 57,77 | 11,59 | -21,28 | -27,03 | 3,88 | 48,24 | Protectora | 0 | | |
| 15 | 53,46 | 11,71 | -20,67 | -26,08 | 3,75 | 46,68 | Protectora | 0 | | |
| 16 | 56,62 | 11,4 | -20,53 | -21,94 | 2,93 | 36,52 | Coposita | 0 | | |
| 17 | 55,23 | 12,31 | -18 | -25,84 | 2,42 | 42,68 | Coposita | 0 | | |
| 18 | 52,04 | 12,63 | -17,29 | -23,18 | 1,18 | 38,77 | Coposita | 0 | | |
| 19 | 46,83 | 12,87 | -13,4 | -28,03 | 2,41 | 39,03 | Exposita | 0 | | |
| 20 | 56,24 | 13,89 | -14,58 | -20,63 | 2,62 | 32,75 | Exposita | 0 | | |
| 21 | 61,29 | 12,4 | -11,94 | -20,08 | 1,15 | 26,77 | Exposita | 1 | | |
| 22 | 54,44 | 12,48 | -22,85 | -26,73 | 3,38 | 45,68 | Exposita | 1 | | |
| 23 | 56,35 | 11,31 | -24,17 | -32,52 | 4,32 | 54,31 | Exposita | 1 | | |
| 24 | 58,41 | 11,4 | -23,72 | -31,07 | 4,27 | 53,18 | Exposita | 1 | | |
| 25 | 51,96 | 11,21 | -22,57 | -30,18 | 4,82 | 50,18 | Exposita | 1 | | |
| 26 | 48,84 | 11,4 | -19,48 | -29,44 | 3,81 | 42,09 | Exposita | 2 | | |
| 27 | 46,45 | 16,26 | -24,68 | -33,47 | 4,48 | 55,79 | Exposita | 2 | | |
| 28 | 46,00 | 7,17 | -25,27 | -34,00 | 4,35 | 56,08 | Coposita | 2 | | |
| 29 | 56,98 | 11,23 | -23,25 | -31,41 | 4,20 | 52,26 | Coposita | 2 | | |
| 30 | 56,73 | 12,38 | -17,68 | -25,68 | 3,17 | 39,08 | Exposita | 2 | | |
| 31 | 46,79 | 7,89 | -23,88 | -28,27 | 2,44 | 30,49 | Protectora | 2 | | |
| 32 | 41,67 | 8,11 | -23,28 | -44,75 | 5,88 | 74,58 | Protectora | 2 | | |
| 33 | 58,63 | 8,07 | -15,5 | -20,65 | 2,79 | 34,75 | Protectora | 2 | | |
| 34 | 53,81 | 12,48 | -20,72 | -27,89 | 3,73 | 46,48 | Protectora | 2 | | |
| 35 | 58,44 | 8,12 | -19,88 | -21,18 | 2,80 | 33,03 | Protectora | 2 | | |
| 36 | 53,11 | 8,73 | -17,32 | -25,17 | 3,30 | 38,61 | Exposita | 2 | | |
| 37 | 52,99 | 6,01 | -21,34 | -26,71 | 3,84 | 47,86 | Exposita | 2 | | |
| 38 | 36,60 | 4,07 | -34,4 | -46,28 | 6,79 | 77,13 | Exposita | 2 | | |
| 39 | 48,67 | 3,07 | -23,18 | -23,98 | 4,34 | 58,04 | Exposita | 2 | | |
| 40 | 33,5 | 8,3 | -41,26 | -56,18 | 7,52 | 93,79 | Exposita | 2 | | |
| 41 | 41,88 | 12,38 | -22,65 | -43,91 | 5,87 | 73,21 | Protectora | 2 | | |
| 42 | 44,81 | 16,77 | -20,38 | -30,23 | 5,29 | 65,68 | Protectora | 2 | | |
| 43 | 46,23 | 12,30 | -28,1 | -37,80 | 5,05 | 63,01 | Protectora | 2 | | |
| 44 | 51,42 | 12,95 | -27,01 | -30,82 | 4,12 | 51,37 | Protectora | 2 | | |
| 45 | 42,84 | 8,58 | -31,88 | -42,13 | 3,65 | 49,08 | Protectora | 2 | | |
| 46 | 52,60 | 12,88 | -21,4 | -26,75 | 3,85 | 47,08 | Protectora | 3a | | |
| 47 | 54,62 | 12,58 | -29,73 | -26,52 | 5,29 | 44,18 | Protectora | 3a | | |
| 48 | 46,61 | 11,35 | -25,20 | -34,06 | 4,35 | 56,27 | Protectora | 3a | | |
| 49 | 56,88 | 7,9 | -16,44 | -21,43 | 2,80 | 33,38 | Protectora | 3a | | |
| 50 | 56,25 | 7,69 | -18,08 | -24,32 | 3,25 | 40,54 | Protectora | 3a | | |
| 51 | 53,64 | 6,66 | -23,28 | -31,21 | 4,14 | 52,27 | Exposita | 3a | | |
| 52 | 44,70 | 5,08 | -29,57 | -39,78 | 5,32 | 66,38 | Exposita | 3a | | |
| 53 | 46,24 | 8,05 | -28,04 | -34,37 | 3,76 | 46,46 | Exposita | 3a | | |
| 54 | 58,52 | 8,44 | -25,61 | -21,27 | 2,84 | 35,40 | Exposita | 3a | | |
| 55 | 55,85 | 8,25 | -26,35 | -24,68 | 3,30 | 41,15 | Exposita | 3a | | |
| 56 | 43,57 | 7,44 | -29,78 | -34,44 | 1,94 | 24,13 | Protectora | 3b | | |
| 57 | 56,35 | 8,78 | -14,17 | -20,06 | 2,35 | 31,77 | Protectora | 3b | | |
| 58 | 51,62 | 8,03 | -11,21 | -25,22 | 2,83 | 25,38 | Protectora | 3b | | |
| 59 | 53,45 | 6,89 | -20,68 | -24,64 | 1,90 | 24,46 | Protectora | 3b | | |
| 60 | 46,36 | 9,01 | -13,07 | -20,78 | 2,51 | 31,32 | Protectora | 3b | | |

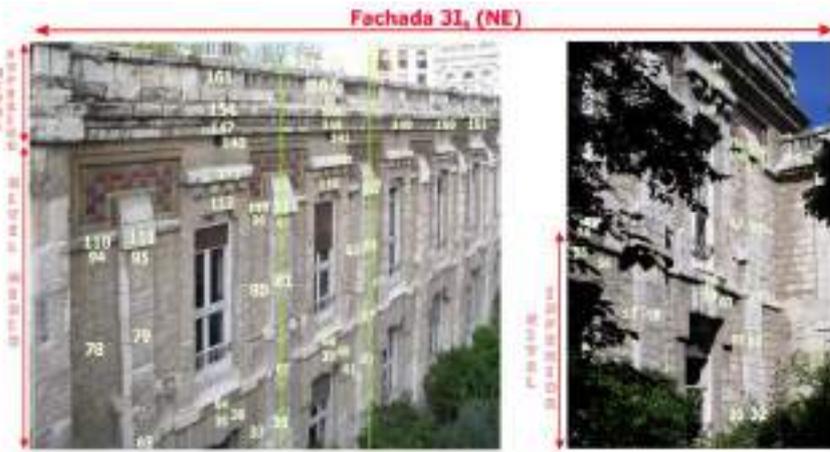
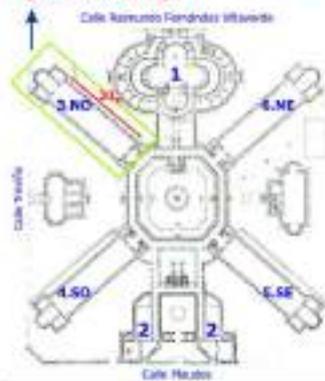
Fig. 4. Retícula establecida en los cuerpos laterales de la fachada de acceso al inmueble por la calle Maudes (1D_{M1} - 1D_{M3}). Año 2006, antes limpieza.

Cuerpo 2D_{M1}: L*_{n(max)} = 74,37 (zona expuesta nivel 0); L*_{n(min)} = 40,02 (zona protegida nivel 2).

Cuerpo 2D_{M2}: L*_{n(max)} = 74,25 (zona expuesta nivel 0); L*_{n(min)} = 32,5 (zona expuesta nivel 2).

En estos cuerpos también la albardilla superior está configurada con piedra artificial. Se ha indicado con una x los puntos de la retícula donde no existe piedra caliza. Estos cuerpos presentan unos paramentos con disposición indirecta, los cuales no se han incluido en la retícula establecida.

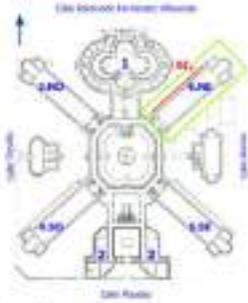
**3. NAVE NOROESTE
ORIENTACIÓN NORESTE
(fachada 3I_r)**



Fachada 3I_r (Orientación Noreste)
Distribución horizontal (en diagonal a la redícula columnas)

| NIVEL | N° | L* | M* | aL* | aL* (%) | CE, a 10° | ACE, (%) | Exposición | Altura | NIVEL | N° | L* | M* | aL* | aL* (%) | CE, a 10° | ACE, (%) | Exposición | Altura |
|----------------|----|-------|-------|--------|---------|-----------|----------|------------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|-----------|-----------|------------|--------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NIVEL SUPERIOR | 1 | 74,05 | 9,21 | 0,18 | 0,24 | 0,03 | 0,40 | Expuesta | 0 | 100 | 54,38 | 10,30 | -10,84 | -16,83 | 3,50 | 44,71 | Expuesta | 2 | |
| | 2 | 68,87 | 18,80 | 0,26 | -11,11 | 1,49 | 10,52 | Expuesta | 0 | 100 | 65,74 | 8,61 | 8,00 | -11,95 | 1,55 | 10,24 | Expuesta | 1 | |
| | 3 | 68,39 | 18,21 | -0,04 | -7,80 | 1,67 | 12,52 | Expuesta | 0 | 100 | 67,06 | 9,5 | -16,17 | -22,82 | 2,94 | 36,71 | Expuesta | 2 | |
| | 4 | 80,23 | 9,4 | -17,08 | -16,78 | 2,17 | 27,89 | Expuesta | 0 | 100 | 78,40 | 8,5 | -1,89 | -4,81 | 2,94 | 8,18 | Expuesta | 2 | |
| | 5 | 83,2 | 9,07 | -11,03 | -14,84 | 1,80 | 25,73 | Expuesta | 0 | 100 | 91,2 | 11,65 | -21,83 | -18,20 | 3,78 | 43,03 | Expuesta | 2 | |
| | 6 | 63,22 | 9,25 | -0,05 | -1,80 | 2,34 | 20,17 | Expuesta | 0 | 100 | 72,03 | 9,44 | 4,03 | -3,82 | 8,29 | 9,81 | Expuesta | 2 | |
| | 7 | 77,09 | 9,15 | 1,35 | 3,71 | -6,50 | -6,29 | Expuesta | 0 | 100 | 57,60 | 6,24 | -16,72 | -22,49 | 3,01 | 31,49 | Expuesta | 2 | |
| | 8 | 66,87 | 18,81 | -7,46 | -10,04 | 1,34 | 35,75 | Expuesta | 0 | 100 | 73,27 | 6,70 | -8,50 | -8,75 | 8,10 | 1,78 | Expuesta | 2 | |
| | 9 | 71,9 | 9,38 | 0,03 | 3,27 | 8,41 | 5,41 | Expuesta | 0 | 100 | 66,80 | 5,60 | 5,45 | -16,81 | 1,34 | 16,68 | Expuesta | 2 | |
| | 10 | 66,39 | 9,18 | 7,94 | -10,68 | 1,42 | 37,80 | Expuesta | 0 | 100 | 74,52 | 10,02 | 8,99 | 8,79 | -5,11 | -1,32 | Expuesta | 2 | |
| NIVEL MEDIO | 11 | 78,82 | 9,88 | -5,7 | -4,88 | 0,87 | 8,32 | Expuesta | 0 | 100 | 48,49 | 11,3 | -24,84 | -24,42 | 4,37 | 38,70 | Protigida | 2 | |
| | 12 | 49,9 | 14,12 | -0,80 | -10,33 | 1,41 | 37,89 | Expuesta | 0 | 100 | 48,89 | 10,3 | -22,54 | -26,79 | 4,03 | 31,39 | Protigida | 2 | |
| | 13 | 80,82 | 18,31 | -6,28 | -2,89 | 0,79 | 8,81 | Expuesta | 0 | 100 | 55,62 | 14,75 | -20,11 | -21,89 | 4,16 | 24,82 | Protigida | 2 | |
| | 14 | 85,71 | 18,5 | -2,12 | -9,58 | 1,26 | 25,26 | Expuesta | 0 | 100 | 57,24 | 18,57 | -17,09 | -22,90 | 3,07 | 36,32 | Protigida | 2 | |
| | 15 | 78,89 | 9,5 | 5,64 | -4,80 | 0,85 | 8,46 | Expuesta | 0 | 100 | 82,17 | 11,1 | -19,16 | -24,70 | 3,48 | 43,84 | Protigida | 2 | |
| | 16 | 81,28 | 9,24 | -11,13 | -12,00 | 2,21 | 27,00 | Expuesta | 0 | 100 | 45,40 | 13,08 | -26,34 | -28,12 | 8,10 | 41,83 | Protigida | 2 | |
| | 17 | 80,24 | 18,41 | -11,09 | -13,72 | 2,89 | 29,94 | Expuesta | 1 | 100 | 83,81 | 11,34 | -20,4 | -22,70 | 3,67 | 40,75 | Protigida | 2 | |
| | 18 | 78,82 | 9,78 | -4,8 | 6,33 | -0,82 | -10,11 | Expuesta | 1 | 100 | 52,88 | 11,05 | -18,79 | -22,10 | 2,87 | 38,57 | Protigida | 2 | |
| | 19 | 80,82 | 9 | 11,2 | -16,29 | 2,21 | 27,88 | Expuesta | 1 | 100 | 88,29 | 12,44 | -23,84 | -23,80 | 8,16 | 39,72 | Protigida | 2 | |
| | 20 | 78,38 | 7,5 | 4,85 | 0,52 | -0,87 | -10,87 | Expuesta | 1 | 100 | 43,11 | 20,12 | -21,22 | -20,20 | 5,81 | 70,00 | Protigida | 2 | |
| NIVEL INFERIOR | 21 | 72,57 | 12,49 | 1,29 | -7,32 | 0,32 | 3,85 | Expuesta | 1 | 100 | 58,68 | 11,02 | -23,65 | -21,82 | 4,25 | 51,63 | Protigida | 2 | |
| | 22 | 74,38 | 15,82 | -0,15 | -6,20 | 0,62 | 6,36 | Expuesta | 1 | 100 | 42,74 | 14,00 | -27,00 | -26,45 | 4,87 | 60,16 | Protigida | 2 | |
| | 23 | 72,11 | 9,28 | -2,2 | -2,89 | 0,40 | 4,48 | Expuesta | 1 | 100 | 52,03 | 10,57 | -22,28 | -28,97 | 4,01 | 46,80 | Protigida | 2 | |
| | 24 | 78,39 | 9,78 | -0,94 | -8,20 | 0,71 | 8,83 | Expuesta | 1 | 100 | 54,81 | 20,33 | -24,12 | -28,80 | 3,84 | 47,80 | Protigida | 2 | |
| | 25 | 80,85 | 9,78 | -0,28 | -12,48 | 1,67 | 20,01 | Expuesta | 1 | 100 | 51,88 | 11,08 | -22,83 | -26,47 | 4,07 | 39,79 | Protigida | 2 | |
| | 26 | 80,8 | 14,10 | -12,53 | -10,07 | 2,42 | 20,12 | Expuesta | 1 | 100 | 49,28 | 10,04 | -24,82 | -23,27 | 5,49 | 50,84 | Protigida | 2 | |
| | 27 | 69,85 | 9,54 | -0,79 | -11,81 | 1,50 | 19,05 | Expuesta | 1 | 100 | 58,94 | 10,20 | -15,79 | -16,70 | 2,77 | 34,51 | Expuesta | 2 | |
| | 28 | 68,44 | 9,52 | -0,68 | -6,31 | 0,84 | 10,52 | Expuesta | 1 | 100 | 78,78 | 6,46 | 4,43 | 5,80 | -0,80 | -0,21 | Expuesta | 2 | |
| | 29 | 62,81 | 7,21 | -10,32 | -16,07 | 2,32 | 27,62 | Expuesta | 1 | 100 | 83,37 | 10,78 | -20,86 | -28,20 | 3,77 | 47,00 | Protigida | 2 | |
| | 30 | 62,3 | 18,24 | -12,23 | -16,19 | 2,20 | 27,42 | Expuesta | 1 | 100 | 84,21 | 14,50 | -19,24 | -26,74 | 3,72 | 31,84 | Expuesta | 2 | |
| NIVEL SUPERIOR | 31 | 68,34 | 0,80 | 0,88 | -8,68 | 1,88 | 13,42 | Expuesta | 1 | 100 | 78,74 | 10,66 | 4,41 | 8,43 | -0,78 | -0,88 | Expuesta | 2 | |
| | 32 | 73,88 | 9,12 | -0,55 | -0,81 | 0,88 | 4,81 | Expuesta | 1 | 100 | 58,80 | 11,2 | -13,08 | -18,80 | 2,77 | 34,44 | Protigida | 2 | |
| | 33 | 56,8 | 9,03 | -11,03 | -14,42 | 5,67 | 20,70 | Expuesta | 1 | 100 | 63,28 | 11,79 | -14,82 | -14,87 | 1,29 | 25,70 | Expuesta | 2 | |
| | 34 | 68,86 | 7,35 | -5,27 | -7,00 | 0,95 | 11,82 | Expuesta | 1 | 100 | 38,57 | 11,19 | 4,34 | 3,70 | -0,78 | -0,51 | Expuesta | 2 | |
| | 35 | 58,81 | 9,28 | -10,52 | -21,02 | 3,73 | 41,02 | Expuesta | 1 | 100 | 53,78 | 9,44 | -20,53 | -22,05 | 3,70 | 46,88 | Protigida | 2 | |
| | 36 | 54,42 | 7,11 | -19,20 | -20,79 | 3,58 | 44,04 | Protigida | 1 | 100 | 68,26 | 7,07 | -5,87 | -8,03 | 1,87 | 13,39 | Expuesta | 2 | |
| | 37 | 50,82 | 18,21 | -27,80 | -20,88 | 4,30 | 51,18 | Expuesta | 1 | 100 | 75,39 | 10,02 | 1,88 | 1,43 | -0,18 | -0,28 | Expuesta | 2 | |
| | 38 | 48,2 | 9,51 | -6,11 | -8,28 | 1,10 | 13,78 | Expuesta | 1 | 100 | 81,79 | 13,24 | -22,84 | -26,81 | 4,00 | 30,84 | Protigida | 2 | |
| | 39 | 54,22 | 9,38 | -0,4 | -20,08 | 0,89 | 10,42 | Expuesta | 1 | 100 | 63,67 | 9,46 | -13,80 | -14,80 | 1,29 | 24,80 | Expuesta | 2 | |
| | 40 | 52,43 | 6,24 | -16,3 | -21,34 | 3,64 | 17,89 | Protigida | 1 | 100 | 73,67 | 11,28 | -8,40 | -8,82 | 3,06 | 1,01 | Expuesta | 2 | |
| NIVEL MEDIO | 41 | 53,81 | 13,82 | -20,42 | -21,47 | 3,42 | 45,79 | Expuesta | 1 | 100 | 53,37 | 9,64 | -20,46 | -28,20 | 3,77 | 47,00 | Protigida | 2 | |
| | 42 | 60,8 | 9,52 | -0,40 | 8,66 | 0,80 | 6,85 | Expuesta | 1 | 100 | 64,49 | 11,03 | -5,84 | -14,93 | 1,41 | 13,88 | Expuesta | 2 | |
| | 43 | 58,2 | 9,24 | 11,89 | -15,72 | 3,17 | 29,02 | Expuesta | 1 | 100 | 73,79 | 5,07 | 8,49 | -8,72 | -4,40 | 1,71 | Expuesta | 2 | |
| | 44 | 58,82 | 9,84 | -18,40 | -24,77 | 3,21 | 41,28 | Protigida | 1 | 100 | 56,74 | 15,17 | -17,54 | -23,80 | 3,16 | 39,73 | Protigida | 2 | |
| | 45 | 60,24 | 14,10 | -20,58 | -22,50 | 3,20 | 46,12 | Expuesta | 1 | 100 | 41,81 | 15,36 | -12,0 | -16,80 | 3,70 | 29,83 | Protigida | 2 | |
| | 46 | 58,26 | 9,08 | -15,07 | -21,49 | 3,87 | 20,81 | Expuesta | 1 | 100 | 79,21 | 10,78 | 4,80 | 8,47 | -0,80 | -10,24 | Expuesta | 2 | |
| | 47 | 58,85 | 9,07 | -15,48 | -11,04 | 4,22 | 52,65 | Expuesta | 1 | 100 | 54,67 | 6,30 | -17,66 | -23,26 | 3,16 | 36,40 | Protigida | 2 | |
| | 48 | 60,79 | 6,34 | -24,8 | -33,18 | 4,45 | 45,16 | Protigida | 1 | 100 | 68,81 | 6,27 | -7,52 | -18,12 | 1,20 | 16,86 | Expuesta | 2 | |
| | 49 | 60,42 | 18,40 | -19,00 | -26,79 | 3,88 | 45,04 | Expuesta | 1 | 100 | 70,44 | 9,76 | 4,10 | 8,43 | -0,93 | 41,50 | Expuesta | 2 | |
| | 50 | 61,27 | 18,90 | -13,08 | -13,87 | 2,38 | 29,28 | Expuesta | 1 | 100 | 84,21 | 14,50 | -19,24 | -26,74 | 3,72 | 31,84 | Expuesta | 2 | |
| NIVEL INFERIOR | 51 | 58,86 | 9,22 | -15,47 | -20,81 | 2,59 | 25,68 | Expuesta | 1 | 100 | 75,01 | 9,80 | -6,1 | -8,40 | 3,08 | 0,67 | Expuesta | 2 | |
| | 52 | 55,89 | 7,24 | -26,24 | -20,44 | 4,24 | 39,08 | Protigida | 1 | 100 | 75,94 | 11,28 | -4,89 | -4,82 | 3,26 | 9,07 | Expuesta | 2 | |
| | 53 | 58,41 | 14,30 | -23,50 | -31,18 | 4,30 | 33,62 | Expuesta | 1 | 100 | 51,13 | 11,47 | -4,25 | -4,32 | 3,56 | 7,12 | Expuesta | 2 | |
| | 54 | 61,27 | 9,02 | -13,06 | -13,57 | 3,25 | 29,38 | Expuesta | 1 | 100 | 60,48 | 10,77 | -8,60 | -8,21 | 3,84 | 18,62 | Expuesta | 2 | |
| | 55 | 58,42 | 14,88 | -19,00 | -21,49 | 2,86 | 33,67 | Expuesta | 1 | 100 | 73,34 | 10,07 | -1,99 | -2,88 | 5,36 | 6,46 | Expuesta | 2 | |
| | 56 | 48,22 | 9,79 | -18,1 | -17,80 | 5,40 | 48,00 | Protigida | 1 | 100 | 66,88 | 10,09 | -9,49 | -7,72 | 4,88 | 12,22 | Expuesta | 2 | |
| | 57 | 58,84 | 18,80 | -17,39 | -21,49 | 2,12 | 38,88 | Expuesta | 1 | 100 | 52,14 | 8,06 | -22,28 | -28,80 | 3,88 | 40,76 | Protigida | 2 | |
| | 58 | 58,82 | 13,20 | -19,20 | -20,02 | 2,75 | 35,22 | Expuesta | 1 | 100 | 55,23 | 12,47 | -22,88 | -28,71 | 3,87 | 40,11 | Protigida | 2 | |
| | 59 | 76,39 | 11,8 | 1,61 | 2,49 | -6,22 | -4,30 | Expuesta | 1 | 100 | 26,48 | 9,1 | -23,62 | -28,23 | 3,09 | 40,54 | Protigida | 2 | |
| | 60 | 48,24 | 2,85 | -25,29 | -34,20 | 4,64 | 52,62 | Protigida | 1 | 100 | 53,87 | 10,79 | -20,46 | -27,22 | 3,40 | 46,49 | Protigida | 2 | |
| NIVEL SUPERIOR | 61 | 68,38 | 9,71 | -0,45 | -6,68 | 0,80 | 11,18 | Expuesta | 1 | 100 | 62,3 | 10,30 | -20,53 | -26,40 | 4,77 | 50,49 | Protigida | 2 | |
| | 62 | 60,1 | 18,47 | -5,27 | -7,88 | 0,84 | 11,72 | Expuesta | 1 | 100 | 60,30 | 8,88 | -14,80 | -22,40 | 4,23 | 51,88 | Protigida | 2 | |
| | 63 | 62,39 | 9,94 | -12,14 | -16,79 | 1,38 | 27,32 | Expuesta | 2 | 100 | 54,24 | 10,38 | -20,89 | -22,00 | 3,81 | 40,00 | Protigida | 2 | |
| | 64 | 41,28 | 7,52 | 13,05 | -44,46 | 5,85 | 74,13 | Protigida | 2 | 100 | 76,11 | 6,52 | 6,82 | 1,00 | -0,1 | | | | |

6. NAVE NORESTE
ORIENTACIÓN NOROESTE
(Fachada 6I_R)

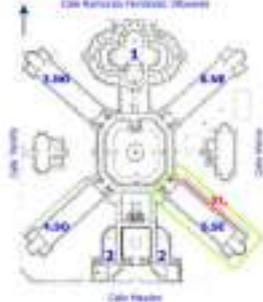


Fachada 6I_R (Orientación Noroeste)

Dimensiones estándares (en concordancia a la medida aritmética)

| NIVEL | ZONA | PUNTO | NIVEL SUPERIOR | | | | | | NIVEL MEDIO | | | | | | NIVEL INFERIOR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--------|-------|----------------|----------------|----------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------|--------|----------------|----------------|----------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------|--------|----------------|----------------|----------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------|--------|-------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|-------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|-------|-------|--------|--------|------|------|------------|---|----|-------|------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|-------|-----|--------|--------|------|-------|------------|---|----|-------|-------|-------|------|-------|-------|------------|---|----|-------|------|-------|------|-------|-------|------------|---|----|------|------|-------|------|-------|-------|------------|---|----|-------|------|------|------|-------|-------|------------|---|----|-------|-----|------|------|-------|-------|------------|---|----|-------|------|------|------|------|-------|------------|---|----|-------|-------|-------|-------|------|------|------------|---|----|-------|-------|------|------|------|-------|------------|---|----|-------|------|-------|-------|------|------|------------|---|----|-------|------|-------|-------|------|-------|------------|---|----|-------|-------|-------|--------|------|-------|------------|---|----|-------|------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|-------|------|-------|-------|------|-------|------------|---|----|-------|------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|-------|-------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|-------|------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|-------|-------|------|------|------|------|------------|---|----|--------|-------|-------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|------|------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|------|------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|-------|-------|--------|------|-------|-----------|---|----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|-------|-------|--------|--------|------|-------|-----------|---|----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|------|-------|-------|------|------|------------|---|----|--------|------|--------|--------|------|-------|-----------|---|----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|------|-------|-------|------|------|------------|---|----|--------|------|------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|-------|-------|--------|------|-------|-----------|---|----|-------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|----|--------|-------|--------|--------|------|-------|-----------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|------|-------|-------|------|------|------------|---|-----|--------|------|--------|--------|------|-------|-----------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|-------|-------|------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|-------|--------|------|-------|-----------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|------|------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|-------|--------|------|-------|-----------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|-------|------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|-----------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|------|-------|-------|------|------|------------|---|-----|--------|------|--------|--------|------|-------|-----------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|------|--------|------|-------|------------|---|-----|-------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|-------|--------|------|-------|-----------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|------|------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|-------|--------|------|-------|-----------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|-------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|-----------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|------|-------|-------|------|------|------------|---|-----|--------|------|--------|--------|------|-------|-----------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|-------|-------|-------|--------|------|-------|-----------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|------|------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|-------|--------|------|-------|-----------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|-------|-------|--------|--------|------|-------|-----------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|------|-------|-------|------|------|------------|---|-----|--------|------|--------|--------|------|-------|-----------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|-------|--------|------|-------|-----------|---|-----|-------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|-----------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|------|-------|-------|------|------|------------|---|-----|--------|------|--------|--------|------|-------|-----------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|-------|-------|------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|-------|--------|------|-------|-----------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|------|------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|-------|--------|------|-------|-----------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|-------|------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|-----------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|------------|---|-----|--------|-------|--------|--------|------|-------|----|
| | | | U ^o | V ^o | W ^o | AL ^o (%) | CE ^o (°) | CE ^o (ID) | ACE ^o (%) | Exposición | Altura | U ^o | V ^o | W ^o | AL ^o (%) | CE ^o (°) | CE ^o (ID) | ACE ^o (%) | Exposición | Altura | U ^o | V ^o | W ^o | AL ^o (%) | CE ^o (°) | CE ^o (ID) | ACE ^o (%) | Exposición | Altura | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NIVEL SUPERIOR | ZONA 1 | 1 | 26,21 | 8,03 | 1,08 | 2,68 | -0,28 | -4,44 | Exposición | 8 | 47 | 82,43 | 2,04 | -13,8 | -20,03 | 3,14 | 24,98 | Exposición | 3 | 48 | 83,64 | 8,84 | -0,19 | -0,03 | 1,19 | 15,05 | Exposición | 3 | 49 | 84,28 | 14,78 | -10,04 | -10,41 | 4,41 | 23,01 | Exposición | 3 | 50 | 85,07 | 18,11 | -11,96 | -15,40 | 2,08 | 25,70 | Exposición | 3 | 51 | 85,86 | 18,88 | -11,97 | -14,18 | 0,43 | 8,31 | Exposición | 3 | 52 | 86,64 | 8,91 | -13,99 | -18,13 | 2,89 | 38,25 | Exposición | 3 | 53 | 87,43 | 8,2 | -16,04 | -21,28 | 1,59 | 18,18 | Exposición | 3 | 54 | 88,22 | 18,23 | -13,2 | 4,41 | -4,09 | -1,44 | Exposición | 3 | 55 | 89,01 | 8,73 | -11,7 | 1,87 | -0,71 | -0,62 | Exposición | 3 | 56 | 89,8 | 8,92 | -1,51 | 1,08 | -0,71 | -1,18 | Exposición | 3 | 57 | 90,59 | 6,34 | 3,14 | 6,32 | -0,38 | -1,08 | Exposición | 3 | 58 | 91,38 | 1,1 | 3,92 | 8,97 | -0,02 | -0,18 | Exposición | 3 | 59 | 92,17 | 8,83 | 8,13 | 7,17 | 0,98 | 11,95 | Exposición | 3 | 60 | 92,96 | 13,19 | -0,18 | -0,69 | 0,18 | 9,39 | Exposición | 3 | 61 | 93,75 | 23,87 | 2,58 | 1,64 | 6,38 | -1,68 | Exposición | 3 | 62 | 94,54 | 8,25 | -0,97 | -0,63 | 0,08 | 1,05 | Exposición | 3 | 63 | 95,33 | 8,39 | -0,67 | -1,48 | 1,38 | 15,45 | Exposición | 3 | 64 | 96,12 | 13,89 | -11,4 | -17,29 | 2,37 | 28,80 | Exposición | 3 | 65 | 96,91 | 8,81 | -12,24 | -18,47 | 2,38 | 32,95 | Exposición | 3 | 66 | 97,7 | 13,89 | -10,31 | -18,38 | 2,01 | 22,05 | Exposición | 3 | 67 | 98,49 | 2,68 | -2,18 | -0,25 | 1,38 | 14,25 | Exposición | 3 | 68 | 99,28 | 8,78 | -13,17 | -18,18 | 2,88 | 28,82 | Exposición | 3 | 69 | 100,07 | 13,31 | -14,08 | -20,13 | 2,68 | 33,59 | Exposición | 3 | 70 | 100,86 | 13,18 | -14,18 | -20,13 | 2,68 | 33,59 | Exposición | 3 | 71 | 101,65 | 18,13 | -0,97 | -12,67 | 1,61 | 49,11 | Exposición | 3 | 72 | 102,44 | 14,84 | -14,07 | -17,49 | 2,74 | 49,88 | Exposición | 3 | 73 | 103,23 | 11,41 | -0,9 | -11,94 | 1,54 | 18,73 | Exposición | 3 | 74 | 104,02 | 14,8 | -14,14 | -18,09 | 2,84 | 31,71 | Exposición | 3 | 75 | 104,81 | 8,68 | -13,03 | -18,34 | 2,85 | 38,55 | Exposición | 3 | 76 | 105,6 | 23,63 | 8,18 | -1,3 | 0,23 | 2,85 | Exposición | 3 | 77 | 106,39 | 18,17 | -0,16 | -13,67 | 1,07 | 24,38 | Exposición | 3 | 78 | 107,18 | 2,64 | 8,38 | -14,38 | 1,73 | 21,50 | Exposición | 3 | 79 | 107,97 | 16,18 | -10,04 | -15,28 | 0,58 | 49,49 | Exposición | 3 | 80 | 108,76 | 8,48 | -8,5 | -11,94 | 1,01 | 18,28 | Exposición | 3 | 81 | 109,55 | 18,25 | -10,25 | -11,28 | 1,28 | 18,87 | Exposición | 3 | 82 | 110,34 | 13,24 | -11,4 | -11,48 | 0,25 | 52,47 | Protigida | 3 | 83 | 111,13 | 14,27 | -10,41 | -12,09 | 2,05 | 26,82 | Exposición | 3 | 84 | 111,92 | 14,6 | -10,38 | -12,08 | 1,68 | 29,81 | Exposición | 3 | 85 | 112,71 | 18,25 | -20,81 | -17,89 | 1,68 | 14,89 | Exposición | 3 | 86 | 113,5 | 12,11 | -17,05 | -23,08 | 3,14 | 38,49 | Protigida | 3 | 87 | 114,29 | 18,84 | -10,33 | -17,11 | 2,62 | 48,18 | Exposición | 3 | 88 | 115,08 | 13,88 | -14,84 | -18,38 | 2,62 | 32,60 | Exposición | 3 | 89 | 115,87 | 8,09 | -0,38 | -0,21 | 0,07 | 0,89 | Exposición | 3 | 90 | 116,66 | 2,14 | -13,06 | -11,60 | 8,13 | 55,71 | Protigida | 3 | 91 | 117,45 | 14,42 | -10,38 | -12,89 | 3,39 | 48,18 | Exposición | 3 | 92 | 118,24 | 2,64 | -1,89 | -3,64 | 0,34 | 4,28 | Exposición | 3 | 93 | 119,03 | 8,48 | -8,5 | -11,94 | 1,01 | 18,28 | Exposición | 3 | 94 | 119,82 | 18,25 | -10,25 | -11,28 | 1,28 | 18,87 | Exposición | 3 | 95 | 120,61 | 13,24 | -11,4 | -11,48 | 0,25 | 52,47 | Protigida | 3 | 96 | 121,4 | 14,27 | -10,41 | -12,09 | 2,05 | 26,82 | Exposición | 3 | 97 | 122,19 | 14,6 | -10,38 | -12,08 | 1,68 | 29,81 | Exposición | 3 | 98 | 122,98 | 18,25 | -20,81 | -17,89 | 1,68 | 14,89 | Exposición | 3 | 99 | 123,77 | 12,11 | -17,05 | -23,08 | 3,14 | 38,49 | Protigida | 3 | 100 | 124,56 | 18,84 | -10,33 | -17,11 | 2,62 | 48,18 | Exposición | 3 | 101 | 125,35 | 13,88 | -14,84 | -18,38 | 2,62 | 32,60 | Exposición | 3 | 102 | 126,14 | 8,09 | -0,38 | -0,21 | 0,07 | 0,89 | Exposición | 3 | 103 | 126,93 | 2,14 | -13,06 | -11,60 | 8,13 | 55,71 | Protigida | 3 | 104 | 127,72 | 14,42 | -10,38 | -12,89 | 3,39 | 48,18 | Exposición | 3 | 105 | 128,51 | 16,18 | -10,04 | -15,28 | 0,58 | 49,49 | Exposición | 3 | 106 | 129,3 | 10,48 | -8,5 | -11,94 | 1,01 | 18,28 | Exposición | 3 | 107 | 130,09 | 18,25 | -10,25 | -11,28 | 1,28 | 18,87 | Exposición | 3 | 108 | 130,88 | 13,24 | -11,4 | -11,48 | 0,25 | 52,47 | Protigida | 3 | 109 | 131,67 | 14,27 | -10,41 | -12,09 | 2,05 | 26,82 | Exposición | 3 | 110 | 132,46 | 14,6 | -10,38 | -12,08 | 1,68 | 29,81 | Exposición | 3 | 111 | 133,25 | 18,25 | -20,81 | -17,89 | 1,68 | 14,89 | Exposición | 3 | 112 | 134,04 | 8,48 | -8,5 | -11,94 | 1,01 | 18,28 | Exposición | 3 | 113 | 134,83 | 18,25 | -10,25 | -11,28 | 1,28 | 18,87 | Exposición | 3 | 114 | 135,62 | 13,24 | -11,4 | -11,48 | 0,25 | 52,47 | Protigida | 3 | 115 | 136,41 | 14,27 | -10,41 | -12,09 | 2,05 | 26,82 | Exposición | 3 | 116 | 137,2 | 14,6 | -10,38 | -12,08 | 1,68 | 29,81 | Exposición | 3 | 117 | 137,99 | 18,25 | -20,81 | -17,89 | 1,68 | 14,89 | Exposición | 3 | 118 | 138,78 | 12,11 | -17,05 | -23,08 | 3,14 | 38,49 | Protigida | 3 | 119 | 139,57 | 18,84 | -10,33 | -17,11 | 2,62 | 48,18 | Exposición | 3 | 120 | 140,36 | 13,88 | -14,84 | -18,38 | 2,62 | 32,60 | Exposición | 3 | 121 | 141,15 | 8,09 | -0,38 | -0,21 | 0,07 | 0,89 | Exposición | 3 | 122 | 141,94 | 2,14 | -13,06 | -11,60 | 8,13 | 55,71 | Protigida | 3 | 123 | 142,73 | 14,42 | -10,38 | -12,89 | 3,39 | 48,18 | Exposición | 3 | 124 | 143,52 | 16,18 | -10,04 | -15,28 | 0,58 | 49,49 | Exposición | 3 | 125 | 144,31 | 10,48 | -8,5 | -11,94 | 1,01 | 18,28 | Exposición | 3 | 126 | 145,1 | 18,25 | -10,25 | -11,28 | 1,28 | 18,87 | Exposición | 3 | 127 | 145,89 | 13,24 | -11,4 | -11,48 | 0,25 | 52,47 | Protigida | 3 | 128 | 146,68 | 14,27 | -10,41 | -12,09 | 2,05 | 26,82 | Exposición | 3 | 129 | 147,47 | 14,6 | -10,38 | -12,08 | 1,68 | 29,81 | Exposición | 3 | 130 | 148,26 | 18,25 | -20,81 | -17,89 | 1,68 | 14,89 | Exposición | 3 | 131 | 149,05 | 8,48 | -8,5 | -11,94 | 1,01 | 18,28 | Exposición | 3 | 132 | 149,84 | 18,25 | -10,25 | -11,28 | 1,28 | 18,87 | Exposición | 3 | 133 | 150,63 | 13,24 | -11,4 | -11,48 | 0,25 | 52,47 | Protigida | 3 | 134 | 151,42 | 14,27 | -10,41 | -12,09 | 2,05 | 26,82 | Exposición | 3 | 135 | 152,21 | 14,6 | -10,38 | -12,08 | 1,68 | 29,81 | Exposición | 3 | 136 | 153,0 | 18,25 | -20,81 | -17,89 | 1,68 | 14,89 | Exposición | 3 | 137 | 153,79 | 12,11 | -17,05 | -23,08 | 3,14 | 38,49 | Protigida | 3 | 138 | 154,58 | 18,84 | -10,33 | -17,11 | 2,62 | 48,18 | Exposición | 3 | 139 | 155,37 | 13,88 | -14,84 | -18,38 | 2,62 | 32,60 | Exposición | 3 | 140 | 156,16 | 8,09 | -0,38 | -0,21 | 0,07 | 0,89 | Exposición | 3 | 141 | 156,95 | 2,14 | -13,06 | -11,60 | 8,13 | 55,71 | Protigida | 3 | 142 | 157,74 | 14,42 | -10,38 | -12,89 | 3,39 | 48,18 | Exposición | 3 | 143 | 158,53 | 16,18 | -10,04 | -15,28 | 0,58 | 49,49 | Exposición | 3 | 144 | 159,32 | 10,48 | -8,5 | -11,94 | 1,01 | 18,28 | Exposición | 3 | 145 | 160,11 | 18,25 | -10,25 | -11,28 | 1,28 | 18,87 | Exposición | 3 | 146 | 160,9 | 13,24 | -11,4 | -11,48 | 0,25 | 52,47 | Protigida | 3 | 147 | 161,69 | 14,27 | -10,41 | -12,09 | 2,05 | 26,82 | Exposición | 3 | 148 | 162,48 | 14,6 | -10,38 | -12,08 | 1,68 | 29,81 | Exposición | 3 | 149 | 163,27 | 18,25 | -20,81 | -17,89 | 1,68 | 14,89 | Exposición | 3 | 150 | 164,06 | 8,48 | -8,5 | -11,94 | 1,01 | 18,28 | Exposición | 3 | 151 | 164,85 | 18,25 | -10,25 | -11,28 | 1,28 | 18,87 | Exposición | 3 | 152 | 165,64 | 13,24 | -11,4 | -11,48 | 0,25 | 52,47 | Protigida | 3 | 153 | 166,43 | 14,27 | -10,41 | -12,09 | 2,05 | 26,82 | Exposición | 3 | 154 | 167,22 | 14,6 | -10,38 | -12,08 | 1,68 | 29,81 | Exposición | 3 | 155 | 168,01 | 18,25 | -20,81 | -17,89 | 1,68 | 14,89 | Exposición | 3 | 156 | 168,8 | 12,11 | -17,05 | -23,08 | 3,14 | 38,49 | Protigida | 3 | 157 | 169,59 | 18,84 | -10,33 | -17,11 | 2,62 | 48,18 | Exposición | 3 | 158 | 170,38 | 13,88 | -14,84 | -18,38 | 2,62 | 32,60 | Exposición | 3 | 159 | 171,17 | 8,09 | -0,38 | -0,21 | 0,07 | 0,89 | Exposición | 3 | 160 | 171,96 | 2,14 | -13,06 | -11,60 | 8,13 | 55,71 | Protigida | 3 | 161 | 172,75 | 14,42 | -10,38 | -12,89 | 3,39 | 48,18 | Exposición | 3 | 162 | 173,54 | 16,18 | -10,04 | -15,28 | 0,58 | 49,49 | Exposición | 3 | 163 | 174,33 | 10,48 | -8,5 | -11,94 | 1,01 | 18,28 | Exposición | 3 | 164 | 175,12 | 18,25 | -10,25 | -11,28 | 1,28 | 18,87 | Exposición | 3 | 165 | 175,91 | 13,24 | -11,4 | -11,48 | 0,25 | 52,47 | Protigida | 3 | 166 | 176,7 | 14,27 | -10,41 | -12,09 | 2,05 | 26,82 | Exposición | 3 | 167 | 177,49 | 14,6 | -10,38 | -12,08 | 1,68 | 29,81 | Exposición | 3 | 168 | 178,28 | 18,25 | -20,81 | -17,89 | 1,68 | 14,89 | Exposición | 3 | 169 | 179,07 | 12,11 | -17,05 | -23,08 | 3,14 | 38,49 | Protigida | 3 | 170 | 179,86 | 18,84 | -10,33 | -17,11 | 2,62 | 48,18 | Exposición | 3 | 171 | 180,65 | 13,88 | -14,84 | -18,38 | 2,62 | 32,60 | Exposición | 3 | 172 | 181,44 | 8,09 | -0,38 | -0,21 | 0,07 | 0,89 | Exposición | 3 | 173 | 182,23 | 2,14 | -13,06 | -11,60 | 8,13 | 55,71 | Protigida | 3 | 174 | 183,02 | 14,42 | -10,38 | -12,89 | 3,39 | 48,18 | Exposición | 3 | 175 | 183,81 | 16,18 | -10,04 | -15,28 | 0,58 | 49,49 | Exposición | 3 | 176 | 184,6 | 10,48 | -8,5 | -11,94 | 1,01 | 18,28 | Exposición | 3 | 177 | 185,39 | 18,25 | -10,25 | -11,28 | 1,28 | 18,87 | Exposición | 3 | 178 | 186,18 | 13,24 | -11,4 | -11,48 | 0,25 | 52,47 | Protigida | 3 | 179 | 186,97 | 14,27 | -10,41 | -12,09 | 2,05 | 26,82 | Exposición | 3 | 180 | 187,76 | 14,6 | -10,38 | -12,08 | 1,68 | 29,81 | Exposición | 3 | 181 | 188,55 | 18,25 | -20,81 | -17,89 | 1,68 | 14,89 | Exposición | 3 | 182 | 189,34 | 8,48 | -8,5 | -11,94 | 1,01 | 18,28 | Exposición | 3 | 183 | 190,13 | 18,25 | -10,25 | -11,28 | 1,28 | 18,87 | Exposición | 3 | 184 | 190,92 | 13,24 | -11,4 | -11,48 | 0,25 | 52,47 | Protigida | 3 | 185 | 191,71 | 14,27 | -10,41 | -12,09 | 2,05 | 26,82 | Exposición | 3 | 186 | 192,5 | 14,6 | -10,38 | -12,08 | 1,68 | 29,81 | Exposición | 3 | 187 | 193,29 | 18,25 | -20,81 | -17,89 | 1,68 | 14,89 | Exposición | 3 | 188 | 194,08 | 12,11 | -17,05 | -23,08 | 3,14 | 38,49 | Protigida | 3 | 189 | 194,87 | 18,84 | -10,33 | -17,11 | 2,62 | 48,18 | Exposición | 3 | 190 | 195,66 | 13,88 | -14,84 | -18,38 | 2,62 | 32,60 | Ex |

5. NAVE SURESTE
ORIENTACIÓN NORESTE
(fachada 5I_A)



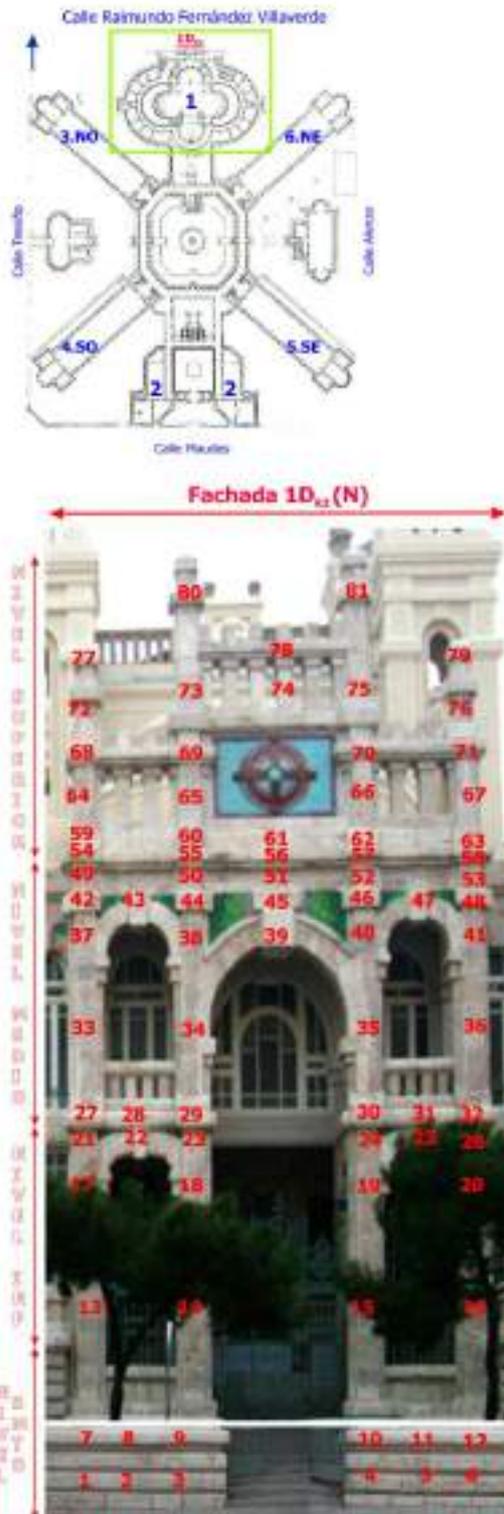
Fachada 5I_A (NE)



Fachada 5I_A (Orientación Noreste)

| | | Módulos Individuales (en diagonal a la retícula lateral) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------------------------------------------------------|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | L* | W* | W ₁ | W ₂ | W ₃ | W ₄ | W ₅ | W ₆ | W ₇ | W ₈ | W ₉ | W ₁₀ | W ₁₁ | W ₁₂ | W ₁₃ | W ₁₄ | W ₁₅ | W ₁₆ | W ₁₇ | W ₁₈ | W ₁₉ | W ₂₀ | W ₂₁ | W ₂₂ | W ₂₃ | W ₂₄ | W ₂₅ | W ₂₆ | W ₂₇ | W ₂₈ | W ₂₉ | W ₃₀ | W ₃₁ | W ₃₂ | W ₃₃ | W ₃₄ | W ₃₅ | W ₃₆ | W ₃₇ | W ₃₈ | W ₃₉ | W ₄₀ | W ₄₁ | W ₄₂ | W ₄₃ | W ₄₄ | W ₄₅ | W ₄₆ | W ₄₇ | W ₄₈ | W ₄₉ | W ₅₀ | W ₅₁ | W ₅₂ | W ₅₃ | W ₅₄ | W ₅₅ | W ₅₆ | W ₅₇ | W ₅₈ | W ₅₉ | W ₆₀ | W ₆₁ | W ₆₂ | W ₆₃ | W ₆₄ | W ₆₅ | W ₆₆ | W ₆₇ | W ₆₈ | W ₆₉ | W ₇₀ | W ₇₁ | W ₇₂ | W ₇₃ | W ₇₄ | W ₇₅ | W ₇₆ | W ₇₇ | W ₇₈ | W ₇₉ | W ₈₀ | W ₈₁ | W ₈₂ | W ₈₃ | W ₈₄ | W ₈₅ | W ₈₆ | W ₈₇ | W ₈₈ | W ₈₉ | W ₉₀ | W ₉₁ | W ₉₂ | W ₉₃ | W ₉₄ | W ₉₅ | W ₉₆ | W ₉₇ | W ₉₈ | W ₉₉ | W ₁₀₀ | W ₁₀₁ | W ₁₀₂ | W ₁₀₃ | W ₁₀₄ | W ₁₀₅ | W ₁₀₆ | W ₁₀₇ | W ₁₀₈ | W ₁₀₉ | W ₁₁₀ | W ₁₁₁ | W ₁₁₂ | W ₁₁₃ | W ₁₁₄ | W ₁₁₅ | W ₁₁₆ | W ₁₁₇ | W ₁₁₈ | W ₁₁₉ | W ₁₂₀ | W ₁₂₁ | W ₁₂₂ | W ₁₂₃ | W ₁₂₄ | W ₁₂₅ | W ₁₂₆ | W ₁₂₇ | W ₁₂₈ | W ₁₂₉ | W ₁₃₀ | W ₁₃₁ | W ₁₃₂ | W ₁₃₃ | W ₁₃₄ | W ₁₃₅ | W ₁₃₆ | W ₁₃₇ | W ₁₃₈ | W ₁₃₉ | W ₁₄₀ | W ₁₄₁ | W ₁₄₂ | W ₁₄₃ | W ₁₄₄ | W ₁₄₅ | W ₁₄₆ | W ₁₄₇ | W ₁₄₈ | W ₁₄₉ | W ₁₅₀ | W ₁₅₁ | W ₁₅₂ | W ₁₅₃ | W ₁₅₄ | W ₁₅₅ | W ₁₅₆ | W ₁₅₇ | W ₁₅₈ | W ₁₅₉ | W ₁₆₀ | W ₁₆₁ | W ₁₆₂ | W ₁₆₃ | W ₁₆₄ | W ₁₆₅ | W ₁₆₆ | W ₁₆₇ | W ₁₆₈ | W ₁₆₉ | W ₁₇₀ | W ₁₇₁ | W ₁₇₂ | W ₁₇₃ | W ₁₇₄ | W ₁₇₅ | W ₁₇₆ | W ₁₇₇ | W ₁₇₈ | W ₁₇₉ | W ₁₈₀ | W ₁₈₁ | W ₁₈₂ | W ₁₈₃ | W ₁₈₄ | W ₁₈₅ | W ₁₈₆ | W ₁₈₇ | W ₁₈₈ | W ₁₈₉ | W ₁₉₀ | W ₁₉₁ | W ₁₉₂ | W ₁₉₃ | W ₁₉₄ | W ₁₉₅ | W ₁₉₆ | W ₁₉₇ | W ₁₉₈ | W ₁₉₉ | W ₂₀₀ | W ₂₀₁ | W ₂₀₂ | W ₂₀₃ | W ₂₀₄ | W ₂₀₅ | W ₂₀₆ | W ₂₀₇ | W ₂₀₈ | W ₂₀₉ | W ₂₁₀ | W ₂₁₁ | W ₂₁₂ | W ₂₁₃ | W ₂₁₄ | W ₂₁₅ | W ₂₁₆ | W ₂₁₇ | W ₂₁₈ | W ₂₁₉ | W ₂₂₀ | W ₂₂₁ | W ₂₂₂ | W ₂₂₃ | W ₂₂₄ | W ₂₂₅ | W ₂₂₆ | W ₂₂₇ | W ₂₂₈ | W ₂₂₉ | W ₂₃₀ | W ₂₃₁ | W ₂₃₂ | W ₂₃₃ | W ₂₃₄ | W ₂₃₅ | W ₂₃₆ | W ₂₃₇ | W ₂₃₈ | W ₂₃₉ | W ₂₄₀ | W ₂₄₁ | W ₂₄₂ | W ₂₄₃ | W ₂₄₄ | W ₂₄₅ | W ₂₄₆ | W ₂₄₇ | W ₂₄₈ | W ₂₄₉ | W ₂₅₀ | W ₂₅₁ | W ₂₅₂ | W ₂₅₃ | W ₂₅₄ | W ₂₅₅ | W ₂₅₆ | W ₂₅₇ | W ₂₅₈ | W ₂₅₉ | W ₂₆₀ | W ₂₆₁ | W ₂₆₂ | W ₂₆₃ | W ₂₆₄ | W ₂₆₅ | W ₂₆₆ | W ₂₆₇ | W ₂₆₈ | W ₂₆₉ | W ₂₇₀ | W ₂₇₁ | W ₂₇₂ | W ₂₇₃ | W ₂₇₄ | W ₂₇₅ | W ₂₇₆ | W ₂₇₇ | W ₂₇₈ | W ₂₇₉ | W ₂₈₀ | W ₂₈₁ | W ₂₈₂ | W ₂₈₃ | W ₂₈₄ | W ₂₈₅ | W ₂₈₆ | W ₂₈₇ | W ₂₈₈ | W ₂₈₉ | W ₂₉₀ | W ₂₉₁ | W ₂₉₂ | W ₂₉₃ | W ₂₉₄ | W ₂₉₅ | W ₂₉₆ | W ₂₉₇ | W ₂₉₈ | W ₂₉₉ | W ₃₀₀ | W ₃₀₁ | W ₃₀₂ | W ₃₀₃ | W ₃₀₄ | W ₃₀₅ | W ₃₀₆ | W ₃₀₇ | W ₃₀₈ | W ₃₀₉ | W ₃₁₀ | W ₃₁₁ | W ₃₁₂ | W ₃₁₃ | W ₃₁₄ | W ₃₁₅ | W ₃₁₆ | W ₃₁₇ | W ₃₁₈ | W ₃₁₉ | W ₃₂₀ | W ₃₂₁ | W ₃₂₂ | W ₃₂₃ | W ₃₂₄ | W ₃₂₅ | W ₃₂₆ | W ₃₂₇ | W ₃₂₈ | W ₃₂₉ | W ₃₃₀ | W ₃₃₁ | W ₃₃₂ | W ₃₃₃ | W ₃₃₄ | W ₃₃₅ | W ₃₃₆ | W ₃₃₇ | W ₃₃₈ | W ₃₃₉ | W ₃₄₀ | W ₃₄₁ | W ₃₄₂ | W ₃₄₃ | W ₃₄₄ | W ₃₄₅ | W ₃₄₆ | W ₃₄₇ | W ₃₄₈ | W ₃₄₉ | W ₃₅₀ | W ₃₅₁ | W ₃₅₂ | W ₃₅₃ | W ₃₅₄ | W ₃₅₅ | W ₃₅₆ | W ₃₅₇ | W ₃₅₈ | W ₃₅₉ | W ₃₆₀ | W ₃₆₁ | W ₃₆₂ | W ₃₆₃ | W ₃₆₄ | W ₃₆₅ | W ₃₆₆ | W ₃₆₇ | W ₃₆₈ | W ₃₆₉ | W ₃₇₀ | W ₃₇₁ | W ₃₇₂ | W ₃₇₃ | W ₃₇₄ | W ₃₇₅ | W ₃₇₆ | W ₃₇₇ | W ₃₇₈ | W ₃₇₉ | W ₃₈₀ | W ₃₈₁ | W ₃₈₂ | W ₃₈₃ | W ₃₈₄ | W ₃₈₅ | W ₃₈₆ | W ₃₈₇ | W ₃₈₈ | W ₃₈₉ | W ₃₉₀ | W ₃₉₁ | W ₃₉₂ | W ₃₉₃ | W ₃₉₄ | W ₃₉₅ | W ₃₉₆ | W ₃₉₇ | W ₃₉₈ | W ₃₉₉ | W ₄₀₀ | W ₄₀₁ | W ₄₀₂ | W ₄₀₃ | W ₄₀₄ | W ₄₀₅ | W ₄₀₆ | W ₄₀₇ | W ₄₀₈ | W ₄₀₉ | W ₄₁₀ | W ₄₁₁ | W ₄₁₂ | W ₄₁₃ | W ₄₁₄ | W ₄₁₅ | W ₄₁₆ | W ₄₁₇ | W ₄₁₈ | W ₄₁₉ | W ₄₂₀ | W ₄₂₁ | W ₄₂₂ | W ₄₂₃ | W ₄₂₄ | W ₄₂₅ | W ₄₂₆ | W ₄₂₇ | W ₄₂₈ | W ₄₂₉ | W ₄₃₀ | W ₄₃₁ | W ₄₃₂ | W ₄₃₃ | W ₄₃₄ | W ₄₃₅ | W ₄₃₆ | W ₄₃₇ | W ₄₃₈ | W ₄₃₉ | W ₄₄₀ | W ₄₄₁ | W ₄₄₂ | W ₄₄₃ | W ₄₄₄ | W ₄₄₅ | W ₄₄₆ | W ₄₄₇ | W ₄₄₈ | W ₄₄₉ | W ₄₅₀ | W ₄₅₁ | W ₄₅₂ | W ₄₅₃ | W ₄₅₄ | W ₄₅₅ | W ₄₅₆ | W ₄₅₇ | W ₄₅₈ | W ₄₅₉ | W ₄₆₀ | W ₄₆₁ | W ₄₆₂ | W ₄₆₃ | W ₄₆₄ | W ₄₆₅ | W ₄₆₆ | W ₄₆₇ | W ₄₆₈ | W ₄₆₉ | W ₄₇₀ | W ₄₇₁ | W ₄₇₂ | W ₄₇₃ | W ₄₇₄ | W ₄₇₅ | W ₄₇₆ | W ₄₇₇ | W ₄₇₈ | W ₄₇₉ | W ₄₈₀ | W ₄₈₁ | W ₄₈₂ | W ₄₈₃ | W ₄₈₄ | W ₄₈₅ | W ₄₈₆ | W ₄₈₇ | W ₄₈₈ | W ₄₈₉ | W ₄₉₀ | W ₄₉₁ | W ₄₉₂ | W ₄₉₃ | W ₄₉₄ | W ₄₉₅ | W ₄₉₆ | W ₄₉₇ | W ₄₉₈ | W ₄₉₉ | W ₅₀₀ | W ₅₀₁ | W ₅₀₂ | W ₅₀₃ | W ₅₀₄ | W ₅₀₅ | W ₅₀₆ | W ₅₀₇ | W ₅₀₈ | W ₅₀₉ | W ₅₁₀ | W ₅₁₁ | W ₅₁₂ | W ₅₁₃ | W ₅₁₄ | W ₅₁₅ | W ₅₁₆ | W ₅₁₇ | W ₅₁₈ | W ₅₁₉ | W ₅₂₀ | W ₅₂₁ | W ₅₂₂ | W ₅₂₃ | W ₅₂₄ | W ₅₂₅ | W ₅₂₆ | W ₅₂₇ | W ₅₂₈ | W ₅₂₉ | W ₅₃₀ | W ₅₃₁ | W ₅₃₂ | W ₅₃₃ | W ₅₃₄ | W ₅₃₅ | W ₅₃₆ | W ₅₃₇ | W ₅₃₈ | W ₅₃₉ | W ₅₄₀ | W ₅₄₁ | W ₅₄₂ | W ₅₄₃ | W ₅₄₄ | W ₅₄₅ | W ₅₄₆ | W ₅₄₇ | W ₅₄₈ | W ₅₄₉ | W ₅₅₀ | W ₅₅₁ | W ₅₅₂ | W ₅₅₃ | W ₅₅₄ | W ₅₅₅ | W ₅₅₆ | W ₅₅₇ | W ₅₅₈ | W ₅₅₉ | W ₅₆₀ | W ₅₆₁ | W ₅₆₂ | W ₅₆₃ | W ₅₆₄ | W ₅₆₅ | W ₅₆₆ | W ₅₆₇ | W ₅₆₈ | W ₅₆₉ | W ₅₇₀ | W ₅₇₁ | W ₅₇₂ | W ₅₇₃ | W ₅₇₄ | W ₅₇₅ | W ₅₇₆ | W ₅₇₇ | W ₅₇₈ | W ₅₇₉ | W ₅₈₀ | W ₅₈₁ | W ₅₈₂ | W ₅₈₃ | W ₅₈₄ | W ₅₈₅ | W ₅₈₆ | W ₅₈₇ | W ₅₈₈ | W ₅₈₉ | W ₅₉₀ | W ₅₉₁ | W ₅₉₂ | W ₅₉₃ | W ₅₉₄ | W ₅₉₅ | W ₅₉₆ | W ₅₉₇ | W ₅₉₈ | W ₅₉₉ | W ₆₀₀ | W ₆₀₁ | W ₆₀₂ | W ₆₀₃ | W ₆₀₄ | W ₆₀₅ | W ₆₀₆ | W ₆₀₇ | W ₆₀₈ | W ₆₀₉ | W ₆₁₀ | W ₆₁₁ | W ₆₁₂ | W ₆₁₃ | W ₆₁₄ | W ₆₁₅ | W ₆₁₆ | W ₆₁₇ | W ₆₁₈ | W ₆₁₉ | W ₆₂₀ | W ₆₂₁ | W ₆₂₂ | W ₆₂₃ | W ₆₂₄ | W ₆₂₅ | W ₆₂₆ | W ₆₂₇ | W ₆₂₈ | W ₆₂₉ | W ₆₃₀ | W ₆₃₁ | W ₆₃₂ | W ₆₃₃ | W ₆₃₄ | W ₆₃₅ | W ₆₃₆ | W ₆₃₇ | W ₆₃₈ | W ₆₃₉ | W ₆₄₀ | W ₆₄₁ | W ₆₄₂ | W ₆₄₃ | W ₆₄₄ | W ₆₄₅ | W ₆₄₆ | W ₆₄₇ | W ₆₄₈ | W ₆₄₉ | W ₆₅₀ | W ₆₅₁ | W ₆₅₂ | W ₆₅₃ | W ₆₅₄ | W ₆₅₅ | W ₆₅₆ | W ₆₅₇ | W ₆₅₈ | W ₆₅₉ | W ₆₆₀ | W ₆₆₁ | W ₆₆₂ | W ₆₆₃ | W ₆₆₄ | W ₆₆₅ | W ₆₆₆ | W ₆₆₇ | W ₆₆₈ | W ₆₆₉ | W ₆₇₀ | W ₆₇₁ | W ₆₇₂ | W ₆₇₃ | W ₆₇₄ | W ₆₇₅ | W ₆₇₆ | W ₆₇₇ | W ₆₇₈ | W ₆₇₉ | W ₆₈₀ | W ₆₈₁ | W ₆₈₂ | W ₆₈₃ | W ₆₈₄ | W ₆₈₅ | W ₆₈₆ | W ₆₈₇ | W ₆₈₈ | W ₆₈₉ | W ₆₉₀ | W ₆₉₁ | W ₆₉₂ | W ₆₉₃ | W ₆₉₄ | W ₆₉₅ | W ₆₉₆ | W ₆₉₇ | W ₆₉₈ | W ₆₉₉ | W ₇₀₀ | W ₇₀₁ | W ₇₀₂ | W ₇₀₃ | W ₇₀₄ | W ₇₀₅ | W ₇₀₆ | W ₇₀₇ | W ₇₀₈ | W ₇₀₉ | W ₇₁₀ | W ₇₁₁ | W ₇₁₂ | W ₇₁₃ | W ₇₁₄ | W ₇₁₅ | W ₇₁₆ | W ₇₁₇ | W ₇₁₈ | W ₇₁₉ | W ₇₂₀ | W ₇₂₁ | W ₇₂₂ | W ₇₂₃ | W ₇₂₄ | W ₇₂₅ | W ₇₂₆ | W ₇₂₇ | W ₇₂₈ | W ₇₂₉ | W ₇₃₀ | W ₇₃₁ | W ₇₃₂ | W ₇₃₃ | W ₇₃₄ | W ₇₃₅ | W ₇₃₆ | W ₇₃₇ | W ₇₃₈ | W ₇₃₉ | W ₇₄₀ | W ₇₄₁ | W ₇₄₂ | W ₇₄₃ | W ₇₄₄ | W ₇₄₅ | W ₇₄₆ | W ₇₄₇ | W ₇₄₈ | W ₇₄₉ | W ₇₅₀ | W ₇₅₁ | W ₇₅₂ | W ₇₅₃ | W ₇₅₄ | W ₇₅₅ | W ₇₅₆ | W ₇₅₇ | W ₇₅₈ | W ₇₅₉ | W ₇₆₀ | W ₇₆₁ | W ₇₆₂ | W ₇₆₃ | W ₇₆₄ | W ₇₆₅ | W ₇₆₆ | W ₇₆₇ | W ₇₆₈ | W ₇₆₉ | W ₇₇₀ | W ₇₇₁ | W ₇₇₂ | W ₇₇₃ | W ₇₇₄ | W ₇₇₅ | W ₇₇₆ | W ₇₇₇ | W ₇₇₈ | W ₇₇₉ | W ₇₈₀ | W ₇₈₁ | W ₇₈₂ | W ₇₈₃ | W ₇₈₄ | W ₇₈₅ | W ₇₈₆ | W ₇₈₇ | W ₇₈₈ | W ₇₈₉ | W ₇₉₀ | W ₇₉₁ | W ₇₉₂ | W ₇₉₃ | W ₇₉₄ | W ₇₉₅ | W ₇₉₆ | W ₇₉₇ | W ₇₉₈ | W ₇₉₉ | W ₈₀₀ | W ₈₀₁ | W ₈₀₂ |

**1. IGLESIA (Después limpieza)
PORTADA - ORIENTACIÓN NORTE
CUERPO CENTRAL (fachada 1D_{ca})**



| Fachada 1D _{ca} - cuerpo central (Norte) | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------|------------------|------------------|-----------------------|-------------------|--------|------------|--------|
| Disposición directa (en paralelo a la retícula urbana) | | | | | | | |
| m ² | L* _{na} | L* _{nd} | ΔL* _{nl} (%) | ΔL* _{nr} | Plano | Exposición | Altura |
| 1 | 53,89 | 66,69 | 23,75 | -6,31 | 4 de S | Esqueleta | 0 |
| 2 | 59,11 | 67,71 | 14,55 | 0,71 | 4 de S | Esqueleta | 0 |
| 3 | 63,53 | 70,45 | 10,99 | 3,46 | 4 de S | Esqueleta | 0 |
| 4 | 60,21 | 68,82 | 37,24 | 1,81 | 4 de S | Esqueleta | 0 |
| 5 | 62,45 | 67,17 | 58,21 | 0,17 | 4 de S | Esqueleta | 0 |
| 6 | 58,52 | 68,17 | 18,45 | 1,17 | 4 de S | Esqueleta | 0 |
| 7 | 66,32 | 67,69 | 46,11 | 0,69 | 5 de S | Esqueleta | 0 |
| 8 | 58,5 | 67,13 | 15,15 | 0,13 | 5 de S | Esqueleta | 0 |
| 9 | 60,91 | 61,69 | -30,49 | -5,32 | 5 de S | Esqueleta | 0 |
| 10 | 66,43 | 70,51 | 6,14 | 3,51 | 5 de S | Esqueleta | 0 |
| 11 | 60,63 | 67,32 | 11,37 | 0,32 | 5 de S | Esqueleta | 0 |
| 12 | 68,24 | 70,01 | 18,18 | 3,01 | 5 de S | Esqueleta | 0 |
| 13 | 66,11 | 69,87 | 50,87 | 2,87 | 2 de S | Esqueleta | 1 |
| 14 | 53,53 | 70,1 | 30,55 | 3,10 | 2 de S | Esqueleta | 1 |
| 15 | 61,36 | 66,15 | 68,08 | 2,15 | 2 de S | Esqueleta | 1 |
| 16 | 37,7 | 69,34 | 20,17 | 2,34 | 2 de S | Esqueleta | 1 |
| 17 | 68,23 | 61,79 | 28,11 | -5,24 | 2 de S | Esqueleta | 1 |
| 18 | 64,25 | 65,99 | 49,11 | -1,02 | 2 de S | Esqueleta | 1 |
| 19 | 65,24 | 66,39 | 46,43 | -0,61 | 2 de S | Esqueleta | 1 |
| 20 | 62,84 | 66,69 | 55,65 | -0,32 | 2 de S | Esqueleta | 1 |
| 21 | 63,55 | 63,66 | 44,89 | -3,94 | 2 de S | Protégida | 1 |
| 22 | 58,68 | 66,1 | 32,01 | 1,30 | 2 de S | Esqueleta | 1 |
| 23 | 41,9 | 63,17 | 50,76 | -3,83 | 2 de S | Protégida | 1 |
| 24 | 66,39 | 65,69 | 38,33 | -2,31 | 2 de S | Protégida | 1 |
| 25 | 62,38 | 70,77 | 13,45 | 3,77 | 2 de S | Esqueleta | 1 |
| 26 | 65,86 | 64,21 | 40,01 | -2,79 | 2 de S | Protégida | 1 |
| 27 | 55 | 66,38 | 28,51 | 2,38 | 1 de S | Esqueleta | 2 |
| 28 | 49,56 | 67,79 | 36,79 | 0,79 | 1 de S | Esqueleta | 2 |
| 29 | 46,15 | 67,72 | 46,74 | 0,72 | 3 de S | Esqueleta | 2 |
| 30 | 54,84 | 67,67 | 23,49 | 0,67 | 3 de S | Esqueleta | 2 |
| 31 | 50,73 | 69,82 | 37,68 | 2,02 | 2 de S | Esqueleta | 2 |
| 32 | 40,4 | 67,61 | 67,25 | 0,61 | 3 de S | Esqueleta | 2 |
| 33 | 43,85 | 66,62 | 51,83 | -0,39 | 3 de S | Esqueleta | 2 |
| 34 | 57,25 | 67 | 17,03 | 0,03 | 2 de S | Esqueleta | 2 |
| 35 | 63,6 | 72,86 | 12,44 | 5,86 | 2 de S | Esqueleta | 2 |
| 36 | 51,63 | 66,44 | 28,73 | -0,29 | 2 de S | Esqueleta | 2 |
| 37 | 41,29 | 63,63 | 54,15 | -3,29 | 2 de S | Protégida | 2 |
| 38 | 52,42 | 61,99 | 16,54 | -5,91 | 2 de S | Protégida | 2 |
| 39 | 68,64 | 70,21 | 2,15 | 3,25 | 3 de S | Esqueleta | 2 |
| 40 | 42,57 | 64,91 | 52,48 | -3,09 | 2 de S | Protégida | 2 |
| 41 | 43,6 | 65,15 | 49,43 | -1,85 | 2 de S | Protégida | 2 |
| 42 | 37,90 | 66,84 | 19,88 | 1,84 | 3 de S | Esqueleta | 2 |
| 43 | 68,58 | 73,85 | 7,83 | 6,95 | 2 de S | Esqueleta | 2 |
| 44 | 47,37 | 66,39 | 50,13 | -0,61 | 3 de S | Esqueleta | 2 |
| 45 | 66,76 | 73,68 | 12,84 | 6,69 | 3 de S | Esqueleta | 2 |
| 46 | 52,82 | 71,82 | 22,82 | 4,02 | 2 de S | Esqueleta | 2 |
| 47 | 76,56 | 72,11 | 0,72 | 10,13 | 2 de S | Esqueleta | 2 |
| 48 | 50,47 | 69,84 | 36,79 | 2,04 | 3 de S | Esqueleta | 2 |
| 49 | 47,89 | 64,89 | 35,53 | -2,11 | 2 de S | Protégida | 2 |
| 50 | 40,6 | 64,79 | 59,58 | -2,21 | 2 de S | Protégida | 2 |
| 51 | 40,39 | 63,98 | 58,41 | -3,02 | 1 de S | Protégida | 2 |
| 52 | 43,64 | 65,46 | 50,09 | -1,54 | 2 de S | Protégida | 2 |
| 53 | 40,55 | 61,42 | 51,47 | -5,89 | 2 de S | Protégida | 2 |
| 54 | 68,43 | 68,57 | 16,89 | 2,57 | 3 de S | Esqueleta | 3a |
| 55 | 58,49 | 63,58 | 8,70 | -3,42 | 3 de S | Esqueleta | 3a |
| 56 | 66,84 | 70,97 | 7,79 | 3,07 | 2 de S | Esqueleta | 3a |
| 57 | 62,79 | 73,93 | 9,03 | 6,91 | 3 de S | Esqueleta | 3a |
| 58 | 49,69 | 66,3 | 32,43 | -0,70 | 3 de S | Esqueleta | 3a |
| 59 | 69,17 | 74,33 | 6,84 | 7,33 | 2 de S | Esqueleta | 3a |
| 60 | 69,44 | 74,83 | 7,76 | 7,83 | 2 de S | Esqueleta | 3a |
| 61 | 73,67 | 72,6 | -0,37 | 5,60 | 2 de S | Esqueleta | 3a |
| 62 | 76,28 | 76,41 | 0,04 | 9,41 | 2 de S | Esqueleta | 3a |
| 63 | 72,19 | 73,31 | 1,55 | 6,31 | 2 de S | Esqueleta | 3a |
| 64 | 50,32 | 70,21 | 38,97 | -3,21 | 1 de S | Esqueleta | 3b |
| 65 | 69,6 | 71,94 | 3,07 | 4,94 | 1 de S | Esqueleta | 3b |
| 66 | 69,62 | 75,28 | 9,07 | 8,28 | 1 de S | Esqueleta | 3b |
| 67 | 65,64 | 74,70 | 12,98 | 7,78 | 1 de S | Esqueleta | 3b |
| 68 | 71,27 | 72,64 | 1,52 | 5,64 | 2 de S | Esqueleta | 3b |
| 69 | 57,52 | 63,1 | 10,95 | -3,70 | 2 de S | Esqueleta | 3b |
| 70 | 60,85 | 70,24 | 38,13 | 3,24 | 2 de S | Esqueleta | 3b |
| 71 | 79,78 | 78,84 | -0,46 | 11,88 | 2 de S | Esqueleta | 3b |
| 72 | 54,84 | 63,30 | 17,25 | -3,64 | 1 de S | Protégida | 3c |
| 73 | 70,7 | 75,29 | 6,46 | 8,29 | 1 de S | Esqueleta | 3c |
| 74 | 75,45 | 72,63 | 2,89 | 10,63 | 1 de S | Esqueleta | 3c |
| 75 | 72,66 | 74,1 | 1,42 | 7,12 | 1 de S | Esqueleta | 3c |
| 76 | 60,88 | 65,73 | 55,25 | -1,27 | 1 de S | Protégida | 3i |
| 77 | 60,69 | 71,31 | 18,73 | 4,31 | 2 de S | Esqueleta | 3c |
| 78 | 48,3 | 61,7 | 27,74 | -5,30 | 2 de S | Esqueleta | 3c |
| 79 | 67,29 | 61,6 | -8,54 | -5,40 | 2 de S | Esqueleta | 3c |
| 80 | 54,3 | 70,28 | 29,43 | 3,28 | 2 de S | Esqueleta | 3c |
| 81 | 64,58 | 74,75 | 16,75 | 7,75 | 2 de S | Esqueleta | 3c |

Fig. 1. Medición de la luminosidad en el cuerpo central de la portada principal de la iglesia tras la limpieza (año 2008).

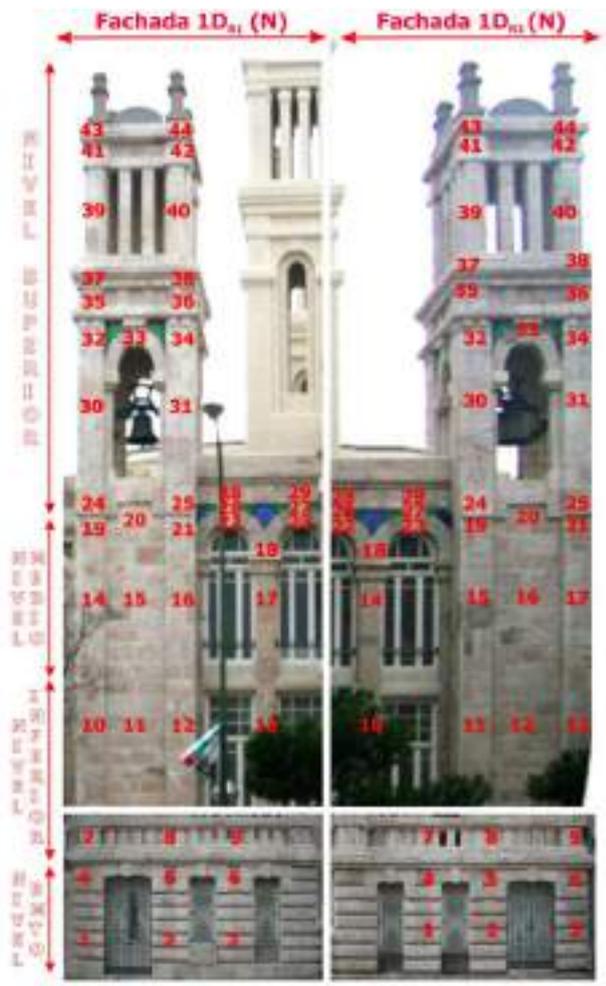
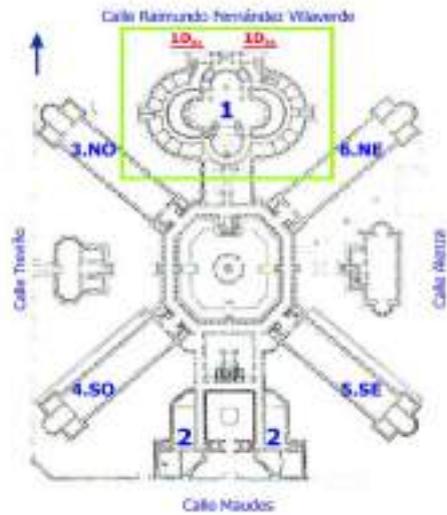
L*_{na}: Valor de luminosidad antes de la limpieza en cada uno de los puntos de medida (tomado de la figura 1 del Anexo A).

L*_{nd}: Valor de luminosidad antes de la limpieza en cada uno de los puntos de medida.

ΔL*_{nl} (%): Porcentaje del incremento de la luminosidad debido a la limpieza en cada uno de los puntos de medida.

ΔL*_{nr}: Diferencia del valor de luminosidad en cada uno de los puntos de medida tras la limpieza y el valor de referencia establecido (L*₀ = 67).

1. IGLESIA (Después limpieza)
PORTADA - ORIENTACIÓN NORTE
CUERPOS LATERALES
(fachadas 1D_{nl} y 1D_{nr})



| Fachada 1D _{nl} - cuerpo lateral (Norte) | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------|------------------|------------------|-----------------------|-------------------|--------|------------|-------|
| Exposición directa (con respecto a la orientación original) | | | | | | | |
| #P | L* _{na} | L* _{nd} | ΔL^*_{nl} (%) | ΔL^*_{nr} | Plano | Exposición | #Ruta |
| 1 | 47,1 | 51,95 | 10,63 | 8,66 | 5,66 S | Fachada | 0 |
| 2 | 46,28 | 49,51 | 8,59 | 8,29 | 5,66 S | Fachada | 0 |
| 3 | 47,27 | 49,49 | 8,84 | 1,14 | 9,66 S | Fachada | 0 |
| 4 | 47,27 | 49,59 | 9,47 | -1,41 | 3,66 S | Fachada | 0 |
| 5 | 49,77 | 49,59 | -0,35 | -1,14 | 3,66 S | Fachada | 0 |
| 6 | 49,77 | 49,59 | -0,35 | -1,14 | 3,66 S | Fachada | 0 |
| 7 | 49,77 | 49,59 | -0,35 | -1,14 | 3,66 S | Fachada | 0 |
| 8 | 49,77 | 49,59 | -0,35 | -1,14 | 3,66 S | Fachada | 0 |
| 9 | 58,18 | 58,39 | 0,24 | -2,04 | 4,66 S | Fachada | 1 |
| 10 | 58,18 | 58,37 | 0,22 | -2,12 | 4,66 S | Fachada | 1 |
| 11 | 58,18 | 58,37 | 0,22 | -2,12 | 4,66 S | Fachada | 1 |
| 12 | 46,19 | 51,77 | 12,48 | -1,12 | 2,66 S | Fachada | 1 |
| 13 | 46,19 | 51,77 | 12,48 | -1,12 | 2,66 S | Fachada | 1 |
| 14 | 46,19 | 51,77 | 12,48 | -1,12 | 2,66 S | Fachada | 1 |
| 15 | 32,89 | 40,38 | 22,45 | -1,17 | 2,66 S | Fachada | 2 |
| 16 | 32,89 | 40,38 | 22,45 | -1,17 | 2,66 S | Fachada | 2 |
| 17 | 32,89 | 40,38 | 22,45 | -1,17 | 2,66 S | Fachada | 2 |
| 18 | 32,89 | 40,38 | 22,45 | -1,17 | 2,66 S | Fachada | 2 |
| 19 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 20 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 21 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 22 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 23 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 24 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 25 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 26 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 27 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 28 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 29 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 30 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 31 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 32 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 33 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 34 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 35 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 36 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 37 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 38 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 39 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 40 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 41 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 42 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 43 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 44 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |

| Fachada 1D _{nr} - cuerpo lateral (Norte) | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------|------------------|------------------|-----------------------|-------------------|--------|------------|-------|
| Exposición directa (con respecto a la orientación original) | | | | | | | |
| #P | L* _{na} | L* _{nd} | ΔL^*_{nl} (%) | ΔL^*_{nr} | Plano | Exposición | #Ruta |
| 1 | 54,47 | 47,92 | -14,02 | 8,08 | 5,66 S | Fachada | 0 |
| 2 | 46,24 | 46,51 | 0,58 | 8,21 | 5,66 S | Fachada | 0 |
| 3 | 44,76 | 47,49 | 10,24 | 8,49 | 9,66 S | Fachada | 0 |
| 4 | 48,28 | 46,59 | -3,51 | -2,24 | 3,66 S | Fachada | 0 |
| 5 | 48,28 | 46,59 | -3,51 | -2,24 | 3,66 S | Fachada | 0 |
| 6 | 48,28 | 46,59 | -3,51 | -2,24 | 3,66 S | Fachada | 0 |
| 7 | 48,28 | 46,59 | -3,51 | -2,24 | 3,66 S | Fachada | 0 |
| 8 | 48,28 | 46,59 | -3,51 | -2,24 | 3,66 S | Fachada | 0 |
| 9 | 57,77 | 49,89 | -13,46 | -2,99 | 4,66 S | Fachada | 1 |
| 10 | 57,77 | 49,89 | -13,46 | -2,99 | 4,66 S | Fachada | 1 |
| 11 | 57,77 | 49,89 | -13,46 | -2,99 | 4,66 S | Fachada | 1 |
| 12 | 46,19 | 51,77 | 12,48 | -1,12 | 2,66 S | Fachada | 1 |
| 13 | 46,19 | 51,77 | 12,48 | -1,12 | 2,66 S | Fachada | 1 |
| 14 | 46,19 | 51,77 | 12,48 | -1,12 | 2,66 S | Fachada | 1 |
| 15 | 32,89 | 40,38 | 22,45 | -1,17 | 2,66 S | Fachada | 2 |
| 16 | 32,89 | 40,38 | 22,45 | -1,17 | 2,66 S | Fachada | 2 |
| 17 | 32,89 | 40,38 | 22,45 | -1,17 | 2,66 S | Fachada | 2 |
| 18 | 32,89 | 40,38 | 22,45 | -1,17 | 2,66 S | Fachada | 2 |
| 19 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 20 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 21 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 22 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 23 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 24 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 25 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 26 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 27 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 28 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 29 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 30 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 31 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 32 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 33 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 34 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 35 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 36 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 37 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 38 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 39 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 40 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 41 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 42 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 43 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |
| 44 | 46,18 | 46,47 | 0,63 | 2,67 | 3,66 S | Fachada | 2 |

Fig. 2. Luminosidad en los cuerpos laterales de la portada principal de la iglesia tras la limpieza (año 2008).

L*_{na}: Valor de luminosidad antes de la limpieza en cada uno de los puntos (tomado de la figura 2 del Anexo A).
 L*_{nd}: Valor de luminosidad antes de la limpieza en cada uno de los puntos de medida.
 ΔL^*_{nl} (%): Porcentaje del incremento de la luminosidad debido a la limpieza en cada uno de los puntos de medida.
 ΔL^*_{nr} : Diferencia del valor de luminosidad en cada uno de los puntos de medida tras la limpieza y el valor de referencia establecido (L*₀ = 67).

Esta Tesis pretende sensibilizarnos sobre la necesidad de conocer y conservar los materiales de construcción empleados en el legado que supone la obra de Antonio Palacios, concretando en la piedra caliza que configura los paramentos del Antiguo Hospital de Maudes. De alguna manera, también pretende recuperar la memoria de los que aquí vivieron, sanaron y murieron, y de todos aquellos que dedicaron su tiempo y esfuerzo a la conservación del hospital. En este inmueble queda recogida parte de la historia de Madrid, de nuestra gente, de nosotros en definitiva. La piedra ahí estuvo desde el principio y ahora nos cuenta, y seguirá hablando cuando nosotros ya no estemos.

