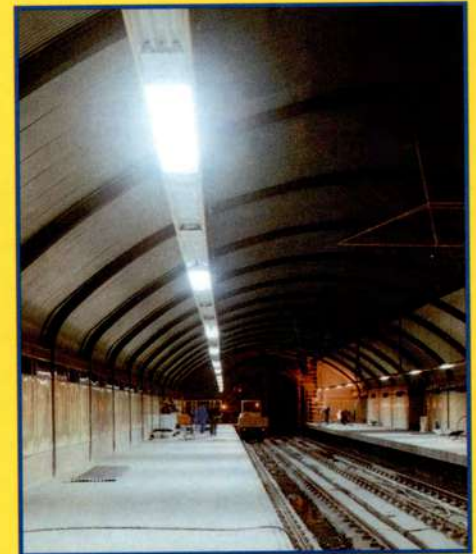
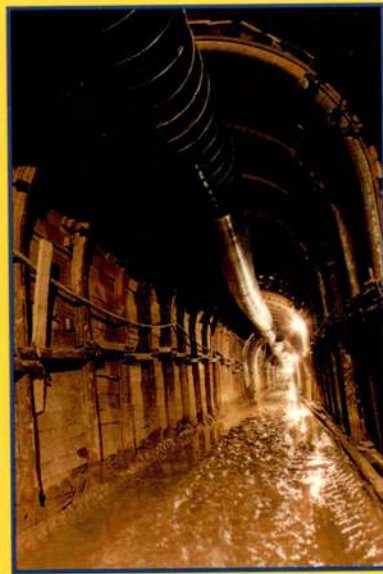




Ampliación de la línea 6 del Metro de Madrid *Tramo Príncipe Pío-Moncloa*



Comunidad de Madrid
Consejería de Transportes
Dirección General de Infraestructuras



AMPLIACION DE LA LINEA 6 DEL METRO DE MADRID

Tramo Príncipe Pío - Moncloa



PRESENTACION



Resulta difícil condensar en unas cuantas páginas el conjunto de una actuación de una complejidad y magnitud como la llevada a cabo en la ejecución de las obras de la Ampliación de la línea 6 del Metro entre Príncipe Pío y Moncloa. El número, variedad y diversificación de actividades y tecnologías involucradas en la tarea y la pluralidad de objetivos y problemas afrontados, configuran un marco singular dentro de la ya de por sí amplia y diversa actividad constructora de AUXINI.

Para abordar con éxito esta tarea el avance tecnológico se ha aplicado como factor imprescindible y estratégico, empleando en el túnel un sistema constructivo como el precorte mecánico, nunca utilizado con anterioridad en el Metro de Madrid y con tan sólo un antecedente en España. Como testimonio del camino recorrido se ha incluido una descripción de las obras de la primera línea de Metro construida en Madrid en 1917.

Otro de los factores clave del proceso ha sido el conseguir la Calidad Total. Es por ello motivo de satisfacción el que esta actuación, dentro de nuestro Sistema de Garantía de Calidad, haya sido una de las incluidas en la auditoría realizada por la Asociación Española de Normalización y tras la cual se concedió el “Registro de Empresa”, con el derecho de uso de la Marca AENOR.

AUXINI está orgullosa de colaborar con la Comunidad Autónoma de Madrid al desarrollo de los sistemas de transporte público de nuestra ciudad y asimismo, mediante esta publicación, al conocimiento de unos procesos tecnológicos de indudable utilidad de cara a la comunidad técnica.

A stylized, handwritten signature in blue ink, consisting of a large, flowing 'E' followed by a series of loops and a long horizontal stroke at the bottom.

EDUARDO MATOS VILLEGAS
Presidente de Auxini

INDICE

1. INTRODUCCION	7
1.1. Los primeros métodos constructivos del Metro de Madrid	7
1.2. El nuevo tramo de la línea-6 Príncipe Pío-Moncloa	8
2. DESCRIPCION GENERAL	10
2.1. Características del trazado	10
2.2. Geología y Geotecnia	12
3. TUNEL DE LINEA	14
3.1. Procesos constructivos	14
3.2. Auscultación y control	18
4. ESTACIONES	18
4.1. Estación y vestíbulo de Argüelles	18
4.2. Intercambiador de Moncloa	21
5. CARACTERISTICAS PRINCIPALES	31

1. INTRODUCCION

1.1. LOS PRIMEROS METODOS CONSTRUCTIVOS DEL METRO DE MADRID

Como introducción a la presente memoria nos permitimos una comparación con los primeros métodos constructivos del Metro de Madrid, en lo que entendemos como un homenaje a los pioneros que lo hicieron posible, desde los promotores de la idea hasta los técnicos y trabajadores, que el 17 de julio de 1917 comenzaron las primeras obras del metro, en su tramo Sol-Cuatro Caminos.

Para la descripción del método constructivo nos hemos servido de la documentación recopilada en "El Metro de Madrid. 1919-1989. Setenta años de historia", de Aurora Moya. Veamos la ejecución de la primera línea, con dos tramos diferenciados:

Tramo Sol-Bilbao. La intensa circulación de las calles Montera y Fuencarral impedía construir a cielo abierto, por lo que hubo que profundizar la traza situándola bajo las tuberías y galerías de servicio. Se disponía de cinco pozos de ataque provistos de grúas o montacargas, ampliados a otros cinco posteriormente. El tú-

nel se construyó utilizando el método tradicional o belga, en anillos de 2.5 m. a 5.0 m. según la naturaleza del terreno, con los siguientes pasos:

1. Galería de avance en calota de 3 m. de alto y 1.6 m. de ancho, perfectamente entibada.
2. Para construir el anillo se ensancha a uno y otro lado la galería, recortando en el terreno la curva del trasdós de la bóveda, sujetando las tierras con una entibación en forma de abanico e intercalando las cimbras, espaciadas entre sí 1.25 m.
3. Se construye la bóveda de ladrillo, subiendo por ambos arranques para cerrar en clave, retirando a la vez la entibación.
4. Descimbrado y construcción de estribos, descalzando un trozo de bóveda de 2 m. de longitud.
5. Vaciado de tierras o destroza y hormigonado de solera.

El material que se pensaba utilizar era el hormigón, pero ante la carencia de cemento y áridos (recordemos que estamos en plena guerra europea), se recurrió a la mampostería y el ladrillo, reservando el hormigón para las soleras.





Tramo Bilbao-Cuatro Caminos. Por la amplitud de las calles Luchana y Santa Engracia, se construyó a cielo abierto. Se abrieron dos filas de pozos que, unidos entre ellos, formaron dos estrechas zanjass de 0.95 m. de anchura, paralelas y separadas 6 metros, formando la sección de los estribos de la futura galería, macizándose posteriormente de hormigón. Se levantó el pavimento de la calle para abrir una zanja entre los estribos, cuyo fondo dibujaba el intradós de la bóveda. Sobre este fondo de tierra, previamente alisado y revestido de yeso, se hormigonó la bóveda por anillos de 4 a 6 m. de longitud. Tras una espera de 2 a 3 meses para esperar el fraguado, que se hizo una vez rellena de tierras la montera, se hizo el túnel, la destroza y la galería. En las estaciones intermedias, dada su escasa profundidad, no había ascensores, sino que una escalera de bajada comunicaba con el vestíbulo.

1.2. EL NUEVO TRAMO DE LA LINEA-6 PRINCIPE PIO-MONCLOA

El Metro constituye hoy en día el principal medio de transporte colectivo en la ciudad de Madrid, el que mayor número de viajeros transporta y el que, por su independencia de la congestión viaria, garantiza en todo momento la movilidad en el centro urbano.

Con la prolongación entre Ciudad Universitaria y Laguna, que acomete la Comunidad de Madrid, la Línea 6 del Metro se transforma en línea circular jugando un papel básico en la estrategia regional de transportes como línea receptora y distribuidora de los viajeros que acceden al centro desde la periferia metropolitana, como línea estructurante de la red de Metro y como elemento integrador de las comunicaciones interiores en Madrid.

Una vez cerrada, la Línea 6 transportará diariamente más de 400.000 viajeros, con un incremento en su utilización del 25% y pasará a ser la línea más utilizada de la red de Metro de Madrid.

Por otra parte, según los resultados de los estudios de simulación realizados por el Consorcio Regional de Transportes de Madrid, el flujo global del futuro Intercambiador de Moncloa se establece en 120.000 viajeros/día, lo que supone un incremento del 35% respecto a la situación actual, considerando que se cuentan una sola vez los trasbordos en el Metro.



Dentro de la actuación global prevista (7 km de longitud, con 6 estaciones intermedias, así como 2 cocheras de servicio a la línea) el tramo que nos ocupa discurre entre Príncipe Pío y Moncloa con una longitud de 2.007 ml. incluyendo el túnel de línea, la Estación de Argüelles, que contempla además la remodelación y ampliación del vestíbulo actual, y el nuevo Intercambiador de Moncloa.

La nueva estación de Argüelles permitirá la conexión entre la línea 6 y las actuales líneas 3 y



ASPECTO FINAL DE TUNEL DE LINEA.



ESTACION DE ARGÜELLES.

4 del Metro. Con la construcción del Intercambiador de Moncloa se habilitará el transbordo entre la líneas 3 y 6 del Metro y de éstas con las líneas de autobuses que acceden a Madrid por la Nacional VI.

Para hacer posible la ejecución de este tramo ha sido necesario construir tres rampas ubicadas en el Paseo del Rey, en la calle Princesa (frente al Palacio de Liria), y en la calle Romero Robledo.

La obra se completa con la construcción de los pozos de ventilación de: Plaza de Jiménez Milla, Buen Suceso, Marqués de Urquijo y Ejército del Aire.



2. DESCRIPCION GENERAL



VISTA AEREA DE LAS OBRAS DEL INTERCAMBIADOR.

2.1. CARACTERISTICAS DEL TRAZADO

Desde Príncipe Pío en el PK 1+263 se desarrolla la obra en túnel cruzando con un trazado muy oblicuo sobre la Vía II de la variante de la línea 10 futura y pasando bajo el Parque del

Oeste, las plazas del Monumento a los Caídos del 2 de Mayo y Emilio Jiménez Milla, describiendo una amplia curva de radio 300 metros hasta tomar la alineación recta de la calle Princesa para discurrir a lo largo de ella, bajo la actual línea 3 del Metro, hasta conectar con el Intercambiador de Moncloa.

Desde el inicio citado hasta la estación de Argüelles (PK 2+500) el túnel de línea tiene una longitud de 1.238 ml y constituye uno de los tres tramos entre estaciones más largos de la red de Metro de Madrid.

La nueva estación de Argüelles presenta una longitud de 117 metros y se sitúa entre los PK 2+500 y PK 2+617.

Desde el PK 2+617 hasta el inicio del Intercambiador de Moncloa (PK 2+993) el túnel de línea presenta una longitud de 376 metros con un trazado bajo la calle de Princesa y la línea 3 actual según se ha descrito.

El Intercambiador de Moncloa está situado entre el citado PK 2+993 y el PK 3+161 con una longitud de 168 metros.

Desde el final del Intercambiador de Moncloa hasta el final de la obra (PK 3+269) situado en

el inicio del siguiente tramo Moncloa-Ciudad Universitaria, se construyeron 108 metros de túnel de línea.

El túnel de línea se construye en su totalidad en mina y se ha llevado a cabo mediante dos diferentes métodos. El primero de ellos es el tradicionalmente utilizado en las obras del Metro de Madrid y el segundo es el denominado precorte mecánico, más moderno y mecanizado.

Se describen ambos sistemas en apartados siguientes, así como el sistema constructivo de la Estación de Argüelles e Intercambiador de Moncloa.

En el esquema general adjunto de trazado se detallan los diferentes subtramos citados anteriormente que constituyen la obra. El resumen es el siguiente:

SUBTRAMO	P.K. INICIO-FIN	LONGITUD (m.)	TIPOLOGIA
S-1	PK 1+263 – 1+320	58	TL - MT
S-2	PK 1+320 – 1+856	536	TL - MPM
S-3	PK 1+856 – 2+500	644	TL - MT
S-4	PK 2+500 – 2+617	117	NEA
S-5	PK 2+617 – 2+702	85	TL - MPM
S-6	PK 2+702 – 2+993	291	TL - MT
S-7	PK 2+993 – 3+161	168	NIM
S-8	PK 3+161 – 3+269	108	TL - MT

LEYENDA:

TL: Túnel de línea.

MT: Método tradicional.

MPM: Método precorte mecánico.

NEA: Nueva Estación de Argüelles.

NIM: Nuevo Intercambiador de Moncloa.

Longitud total de túnel de línea: 1.722 m.

- Método tradicional: 1.101 m.
- Método Precorte Mecánico: 621 m.

Longitud Estación de Argüelles: 117 m.

Longitud Intercambiador de Moncloa: 168 m.

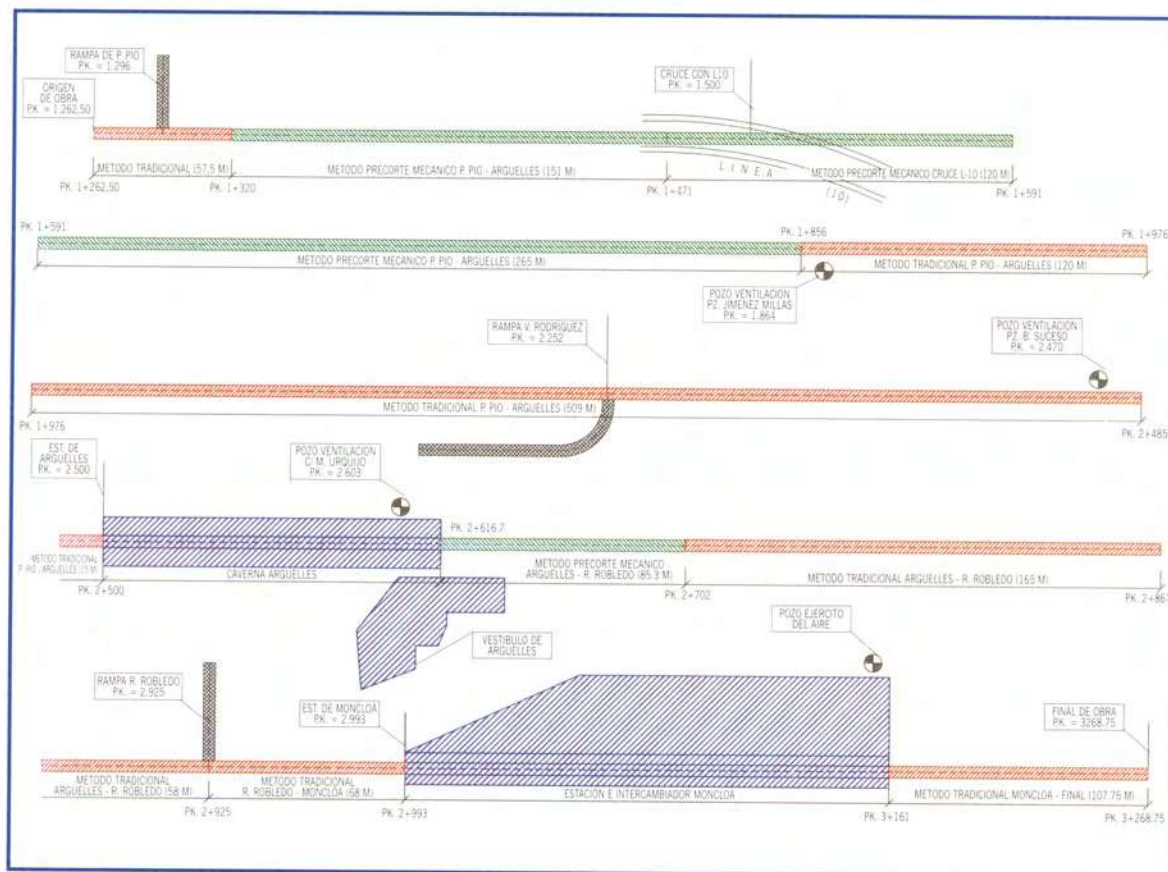
En cuanto a los parámetros de trazado tanto en planta como en alzado, los condicionantes principales que afectan al conjunto del diseño son:

- Radio mínimo: 300 m.
- Pendiente máxima: 4%.
- Tramos rectos de 60 m de longitud en las zonas en las que dispongan diagonales.

– Pasillos laterales para seguridad y evacuación en emergencia de 0.75 m de anchura y situadas junto a ambos hastiales.

– Rampa de peralte máxima: 2 mm/m y preferiblemente de 1.5 mm/m.

– Acuerdo vertical de Kv mínimo: 2.000



ESQUEMA GENERAL DEL TRAMO.

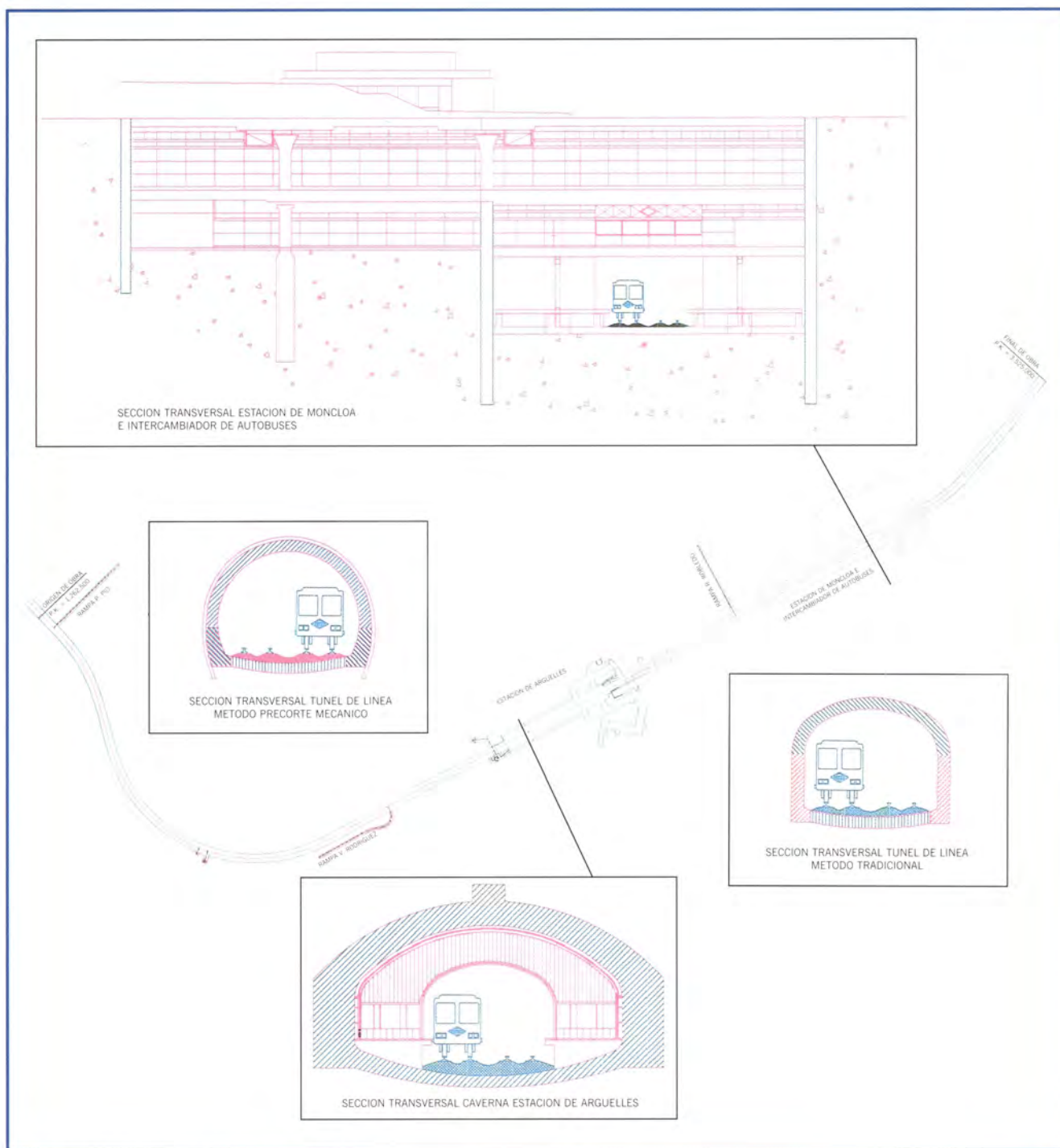
2.2. GEOLOGIA Y GEOTECNIA

En lo referente a la naturaleza y propiedades geotécnicas de los terrenos por los que discurre

la obra, se trata de formaciones detríticas miocenas (toscos y arenas de miga) sobradamente conocidas en el área de Madrid, con recubri-



TUNEL DE LINEA.



PLANTA DE TRAZADO Y SECCIONES CARACTERISTICAS.

miento variable de relleno antrópico. Solamente en la primera parte del trazado (zona de Príncipe Pío a Ferraz) e intercaladas con las unidades anteriores aparecen las formaciones arcillosas de transición a la peñuela miocena.

Con objeto de completar y definir con mayor precisión las características estratigráficas e hidrogeológicas del terreno por el que discurre la obra se ha realizado una campaña de reconocimiento geotécnico complementario a la efec-

tuada para la redacción del proyecto, realizándose pruebas de bombeo e infiltración, inyectabilidad, control de niveles freáticos y ensayos de laboratorio (resistencia a compresión simple, corte directo, hinchamiento, compresión triaxial, edométrico, permeabilidad, análisis químicos del agua), con lo que ha permitido con el conjunto de datos disponible la adopción de medidas más oportunas durante la construcción tanto del túnel de línea, como del resto de la tipología de las obras realizadas.



3. TUNEL DE LINEA

3.1. PROCESOS CONSTRUCTIVOS

Como ya se ha comentado, para la ejecución de los 1.722 metros de túnel de línea se han utilizado dos métodos claramente diferenciados.

El primero de ellos es el tradicionalmente empleado en las obras del Metro de Madrid. La ejecución se realiza en cuatro etapas consecutivas por el siguiente orden:

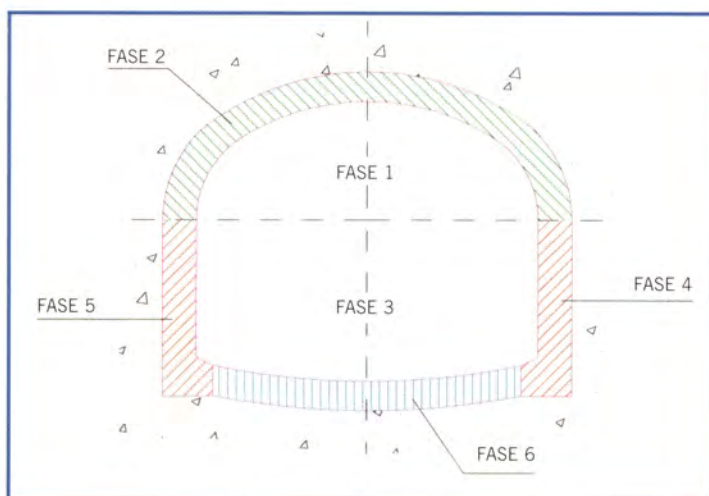
Fase 1: Bóveda.

Fase 2: Destroza.

Fase 3: Hastiales.

Fase 4: Solera.

Según se puede apreciar en el esquema adjunto.



FASES METODO TRADICIONAL.



ENCOFRADO DE BOVEDA.

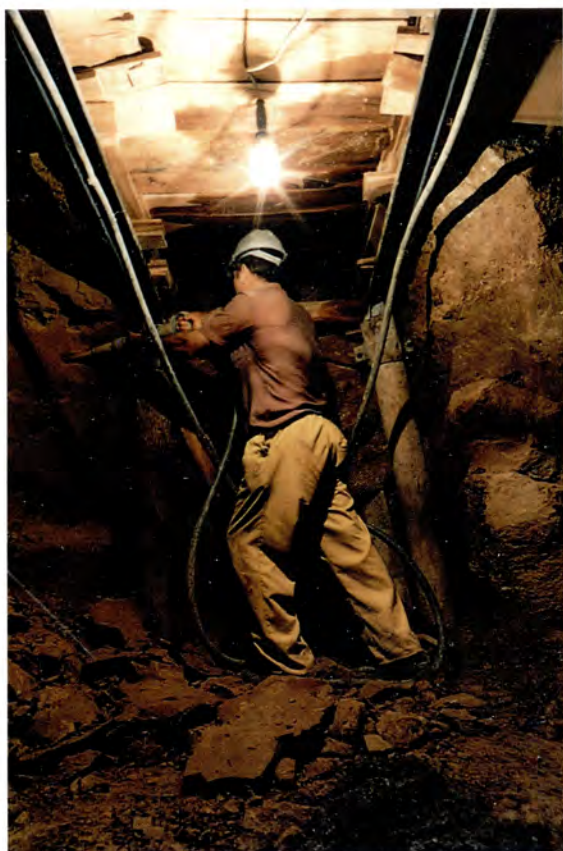
La fase de bóveda es la más importante y donde generalmente surgen la mayor parte de los problemas.

La excavación se ejecuta por medios manuales, con entibación cuajada de madera, en rebanadas o anillos de 1.50 m a 2.50 m de longitud en función del tipo de terreno, partiendo de la mina de arranque central (cuyo eje coincide con el del túnel). Concluida la excavación de la mina central se colocan las longarinas metálicas con sus estampidores correspondientes que servirán de apoyo a las tablas que se van colocando forrando la parte superior de aquella. Entre las tablas y la longarina se coloca una tabla corrida, denominada "falso" que hace de falso apoyo y permite dejar el espacio suficiente a las tablas de las fases siguientes.



TRABAJOS DE EXCAVACION.

Finalizada la mina de avance, se comienza a abrir la excavación a ambos lados de ésta ejecutando lo que se denominan "pases" cuya excavación se realiza de forma análoga, pasando las tablas de entibación a través del "falso" y acunadas contra la longarina ya colocada. En el otro extremo las tablas apoyan en el terreno hasta que se finaliza la excavación del "pase" y se coloca la longarina siguiente con su "falso", que permitirá pasar a su vez las tablas del segundo pase y así sucesivamente.



EXCAVACION DE AVANCE.

El número de pases a cada lado suele ser de 3 ó 4 en función de la calidad del terreno.

Una vez finalizada la excavación de toda la bóveda, se procede a encofrar, generalmente mediante tres cerchas metálicas, que sirven posteriormente de apoyo a las chapas de encofrado, para el relleno posterior de hormigón.

Como puede deducirse fácilmente, estas operaciones son totalmente artesanales, requiriendo del personal que las realiza gran habilidad, pericia y experiencia pues en la mayor parte del proceso se corre el riesgo de desprendimientos imprevistos antes de apoyar las tablas sobre las longarinas.



ENTIBACION.

Una vez hormigonada la bóveda y con un desfase de 5 ó 6 anillos se comienza la destroza excavando mecánicamente una caja central con un resguardo del orden de 1 a 1.5 m en los hastiales con el fin de que los empujes transmitidos por la bóveda no originen en el terreno de apoyo planos de inestabilidad que ocasionen asentamientos y roturas de la misma.

Finalizada la destroza se excavan los hastiales o bataches en módulos de 2.5 m de longitud observando las dos precauciones siguientes:

- a) La junta de los anillos debe situarse aproximadamente en el centro del batache para no descalzar la bóveda totalmente.
- b) Nunca se deben excavar dos bataches enfrentados al mismo tiempo, por razones semejantes.

Los bataches se encofran y hormigonan a continuación mediante las técnicas constructivas habituales.



EXCAVACION DE HASTIALES.

Esta operación puede complicarse en determinadas condiciones adversas: por la naturaleza del terreno y por presencia de agua, ya que al descalzar parte de la bóveda, si se produce un asiento del terreno, puede producirse un agrietamiento y rotura de la misma.

En los casos en que se prevea esta circunstancia y si la luz del túnel es grande se utiliza el método alemán cuya única variante consiste en ejecutar los hastiales antes que la bóveda para evitar los posibles asentamientos de ésta.

La fase final es la ejecución de la solera, la cual se excava con medios mecánicos y se hormigona posteriormente con plantillas para conseguir la forma correcta de la contrabóveda según la sección tipo.



La longitud de túnel de línea ejecutada con este método ha sido de 1.101 metros, lo que representa el 64% del total.

El otro método utilizado en la ejecución del túnel ha sido el denominado de precorte mecánico "Premill". Se trata de un sistema totalmente mecanizado a sección completa que en la presente obra se ha ejecutado según las siguientes fases:

Fase 1: Ejecución de la prebóveda de revestimiento.

Fase 2: Excavación en avance a sección completa.

Fase 3: Colocación de sostenimiento adicional y ejecución de presolera (caso de ser necesaria).

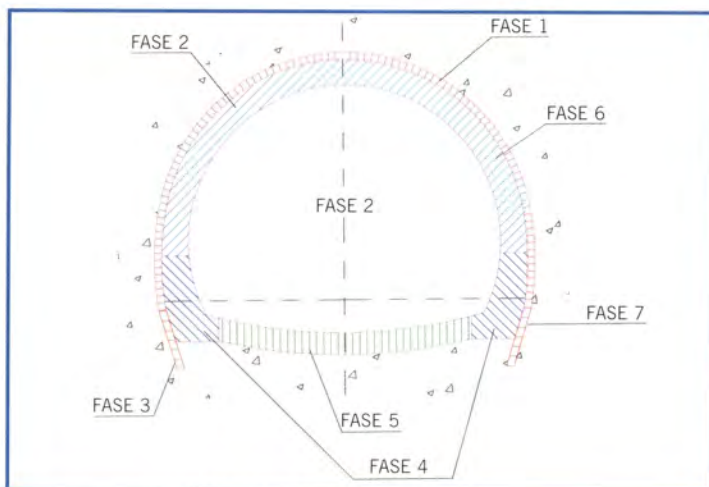
Fase 4: Ejecución de arranque de hastiales y tacón de solera.

Fase 5: Hormigonado de solera.

Fase 6: Encofrado de bóveda y hormigonado.

Fase 7: Sondeos al avance.

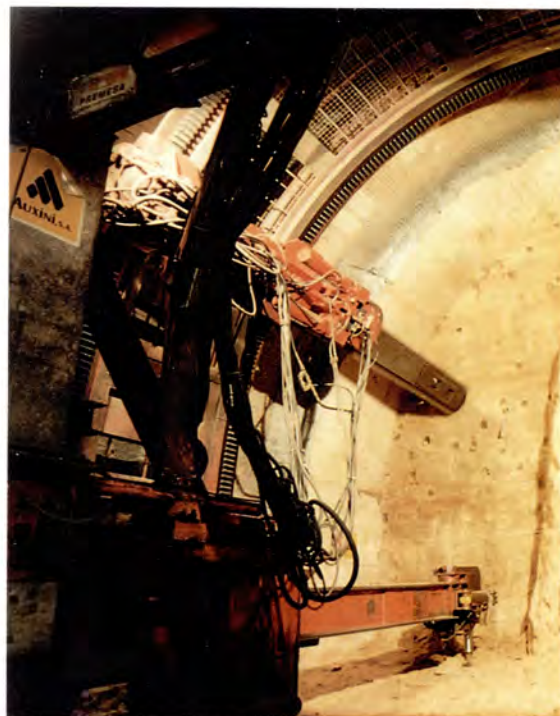
Según se puede apreciar en el esquema adjunto.



FASES METODO PRECORTE MECANICO.

Para la ejecución de la prebóveda se emplea una máquina fabricada al efecto con una sierra de corte que se desplaza transversalmente a lo largo de una cremallera cuya directriz es concéntrica y exterior a la del perímetro del túnel.

Con el corte de ranuras sucesivas al avance hasta completar todo el contorno exterior, y el relleno igualmente sucesivo e inmediato al corte de cada sector antes de realizar el adyacente mediante un hormigón proyectado de alta resistencia, se configura una prebóveda de lon-



EMPLAZAMIENTO DE MAQUINA.

gitud de avance y espesor variables que constituye un revestimiento previo a la excavación de la sección.

Cada prebóveda tiene una forma ligeramente troncocónica que permite la ejecución de los avances sucesivos y dejar el gálibo necesario en toda la longitud del túnel.

Entre cada dos prebóvedas se deja una longitud de solape variable en función de las características geomecánicas del terreno y de la sección del túnel.

Las longitudes de avance pueden llegar hasta 4.50 m de longitud con solapes entre prebóvedas entre 0.50 y 1 m y espesores de las mismas entre 18 - 30 cm. En el caso que nos ocupa a los avances eran de 3.50 m con solape de 0.50 m y espesor de 20 cm en las prebóvedas.



EXCAVACION DE SECCION COMPLETA.



EJECUCION DE PREBOVEDA.

El relleno de las ranuras se llevó a cabo mediante la proyección de un hormigón a través de un robot de gunitado que se desplaza por la misma cremallera que la sierra de corte. Las características resistentes de este hormigón permiten alcanzar 80 kp/cm^2 a 4 horas, resistencia ésta fijada como mínima en el proyecto antes de comenzar la excavación.

Dada la elevada velocidad del corte en el terreno, el relleno de la ranura con hormigón se realiza antes de que aquél sufra prácticamente ninguna alteración en su estado tensional, con



VISTA GENERAL DE PREBOVEDAS.

la consiguiente ventaja frente a las posibles deformaciones que podrían presentarse en el caso de un sistema con excavación previa al sostenimiento.

Una vez que la resistencia de las prebóveda alcance el mínimo fijado, se procede a la ejecución de la excavación por medios mecánicos, a sección completa, en las debidas condiciones de seguridad ya que se realiza al abrigo de una sección autorresistente. Como factor adicional de seguridad, se deja un machón central en el frente o se refuerza éste con bulones cuando existe algún riesgo de inestabilidad del mismo.



MAQUINA DE CORTE Y GUNITADO.

Dependiendo del terreno y de los resultados que se van observando con la auscultación, puede ser necesario un refuerzo adicional con cerchas metálicas y el cierre inferior de la sección con una presolera o riostra de hormigón que se incorporarán a la contrabóveda definitiva.

A la menor distancia del frente compatible con las operaciones constructivas de prebóveda y excavación se han ejecutado los trabajos de encofrado y hormigonado de hastiales y contrabóveda. Esta distancia mínima en nuestro caso ha sido de 40 metros aproximadamente, si bien algunas reciente teorías al respecto no lo estiman tan condicionante frente a la estabilidad del conjunto.

Mediante un carro de encofrado a plena sección se completa la ejecución del revestimiento definitivo del túnel.

Como operación adicional suelen realizarse sondeos al avance con el doble fin de reconocer



ASPECTO FINAL SECCION METODO PRECORTE.

el terreno por delante del frente en ejecución y, mediante la colocación de tubería adecuada, llevar a cabo un drenaje por delante del mismo, caso de ser necesario, mejorando así con suficiente antelación las condiciones de ejecución.

Con esta serie de operaciones los asentos quedan reducidos a un valor mínimo con las consiguientes ventajas que esto representa en zonas urbanas frente a edificaciones y servicios existentes, tal y como se ha podido constatar en la obra que nos ocupa.

Es de destacar que esta ejecución del sistema constituye la segunda experiencia realizada en España con un primer antecedente en la construcción del túnel del Goloso aunque en el extranjero (fundamentalmente en Francia e Italia) existe una experiencia bastante amplia en este tipo de sistema de ejecución.

La longitud de túnel de línea ejecutado con este método ha sido de 621 ml lo que representa un 36% del total del mismo.

3.2. AUSCULTACION Y CONTROL

Esta obra, con su complejidad y varios sistemas constructivos, ejecutada en un área llena de edificaciones e instalaciones, necesita unos sistemas de auscultación que en cada momento detecten las reacciones en el terreno producidas en cualquier fase de construcción y los posibles desplazamientos, por la propia seguridad de los trabajos en el túnel y de las construcciones colindantes que puedan verse afectadas.

Para ello se han estudiado secciones de control en las que se miden movimientos (exteriores e interiores), presiones sobre el revestimiento y presiones de agua. Asimismo se han instalado estaciones de convergencia (de control horizontal, diagonal y asiento en clave), así como inclinómetros, extensómetros de varilla, regletas de medición de asentos en edificios e instalaciones cercanas y piezómetros para control del nivel freático desde el interior y exterior.



POZO DE VENTILACION.

4. ESTACIONES

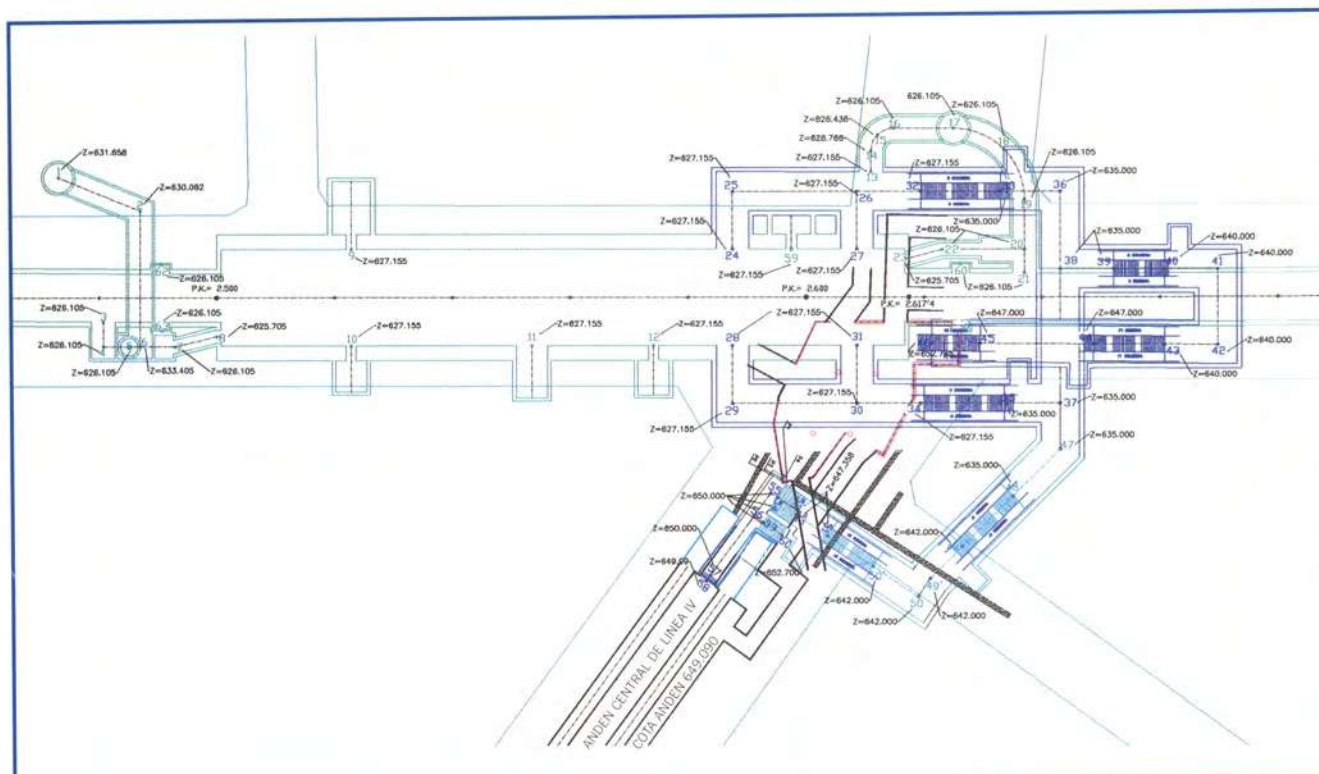
4.1. ESTACION Y VESTIBULO DE ARGÜELLES

4.1.1. DESCRIPCION GENERAL

La estación existente de Argüelles ya comparte las líneas 3 y 4, por lo que la nueva estación de la línea 6 debía permitir reducir al máximo los recorridos de trasbordo a realizar por los usuarios, utilizando los accesos existentes y ampliando el vestíbulo, claramente insuficiente,

ya que se convertiría en el distribuidor de viajeros para las 3 estaciones: la nueva de la línea 6 y las dos existentes de las líneas 3 y 4.

La nueva estación de Argüelles se encuentra bajo la actual de la línea 3, tomando las precauciones necesarias durante su construcción para no plantear problemas. Los terrenos atravesados en su excavación son tosco en su mayor parte y arena de miga sobre la clave (con un espesor de 10 a 20 m). Ello hizo aconsejable su



PLANTA GENERAL ESTACION DE ARGÜELLES, VESTIBULO Y CONEXIONES.

construcción por fases mediante tres galerías (hastiales y clave) y una mejora del terreno a base de inyección de gel de sílice.

La sección final de la estación es abovedada con revestimiento de hormigón en masa y espesores de 2.50 m. en hastiales, 1.40-1.80 m. en bóveda y 0.70 m. en la clave de contrabóveda. Las dimensiones finales libres son 117 m. de longitud, 16.26 m. de anchura y 8.05 m. de altura en clave sobre carriles. En las intersecciones con las galerías de acceso, la fuerte reducción de la sección resistente de hastiales aconsejó su armado en el arco que se forma sobre la bóveda de estas intersecciones.

En cuanto al vestíbulo, el gran número de servicios existentes en la zona condicionó de una



CAÑON DE CONEXIÓN.



ENTRONQUE DE GALERIAS.

manera determinante el proyecto y ejecución del nuevo vestíbulo, que engloba el antiguo multiplicando por 3 su superficie útil. Su contorno es bastante irregular por este motivo, resolviéndose con una pantalla de pilotes, consiguiéndose además una afección mínima al congestionado tráfico de la zona. La cubierta es una estructura mixta, constituida por una retícula de vigas metálicas que se adaptan al polígono irregular que constituye su apoyo. Sobre estas vigas y conectada con ellas se hormigonó la losa de compresión que constituye el soporte



ACABADOS ESTACION DE ARGÜELLES.



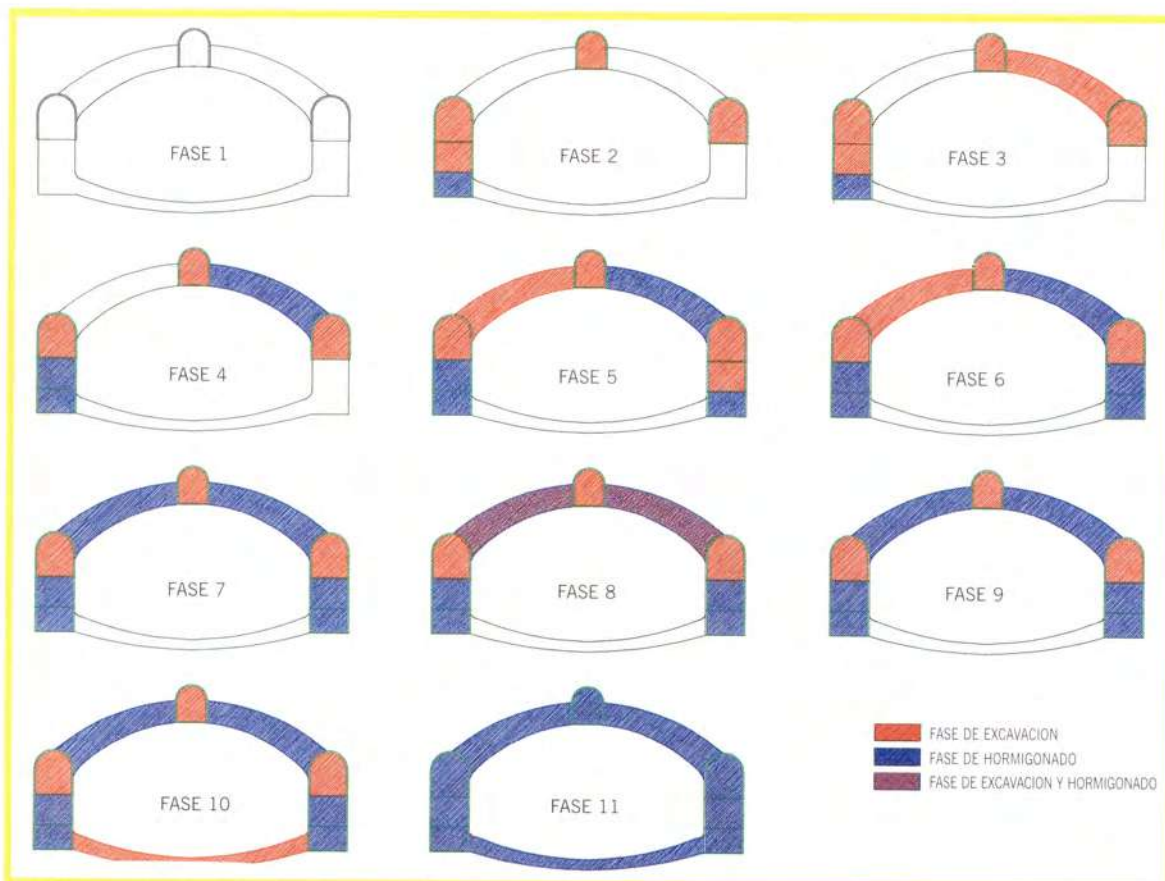
ACABADOS CAÑON DE CONEXION.

del tráfico rodado. Una vez cubierto, se realizó por fases la tarea de demoler los antiguos cañones y excavar el resto para conseguir el espacio final del vestíbulo y afectar de una manera mínima al servicio de viajeros, ya que Argüelles está entre las 5 estaciones con más entradas de viajeros de toda la red de Metro. Este mismo dato fue un factor muy importante a tener en cuenta cuando se vio necesario el añadir una comunicación directa entre la estación nueva de la línea 6 y la existente de la línea 4 sin pasar por el vestíbulo.

4.1.2. PROCESO CONSTRUCTIVO

Dado el gran número de estructuras suprayacentes, incluyendo la más cercana, la estación existente de la línea 3, el método constructivo no debía introducir riesgos ni asientos importantes. Se optó por una ejecución por fases mediante 3 galerías principales, con los siguientes pasos:

1. Perforación de galerías de hastial y clave.
- 1.1. Reconocimiento del terreno desde el frente de las galerías mediante taladros frontales.



FASES CONSTRUCTIVAS ESTACION DE ARGÜELLES.



GALERIA DE AVANCE EN HASTIAL.

1.2. Inyección con gel de sílice desde taladros situados según una malla de 2 x 2 m.

2. Hormigonado en retroceso de galerías de hastial.

3. Perforación y hormigonado en retroceso de minas de anillo (transversales) de la bóveda, de 1.20 m. de ancho.

4. Excavación en destroza bajo bóveda y hormigonado de la contrabóveda.



CAVERNA ESTACION DE ARGUELLES.

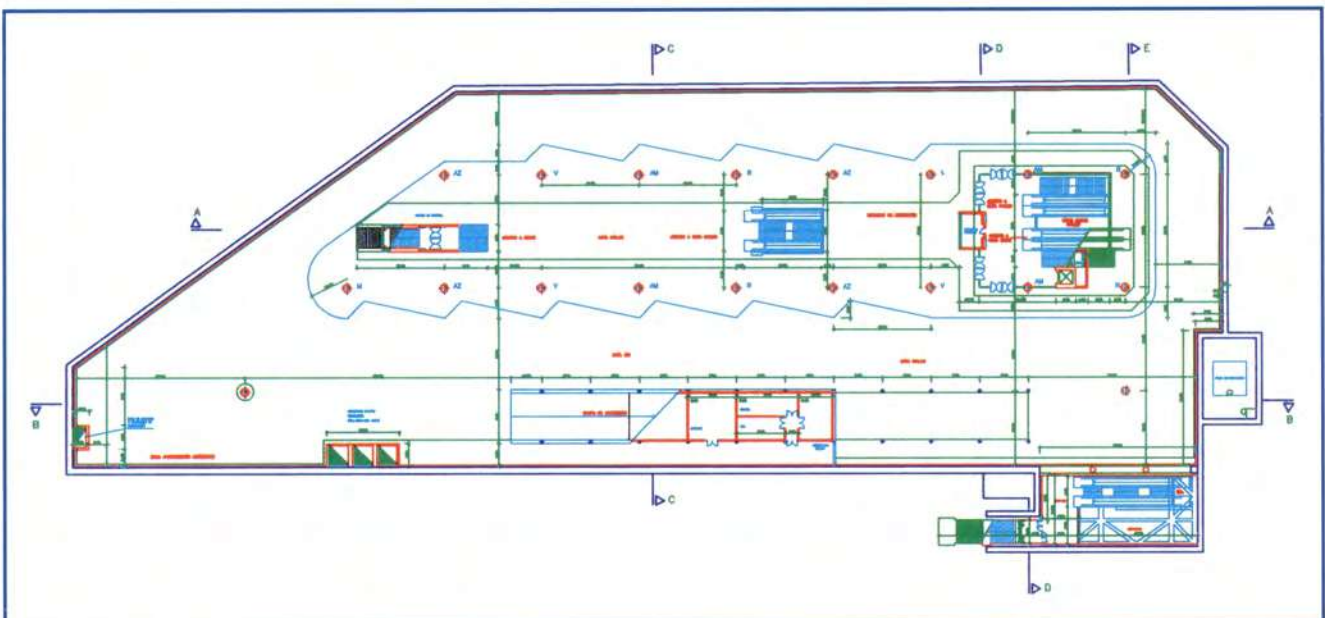


ANDENES Y CERCHAS ESTACION DE ARGUELLES.

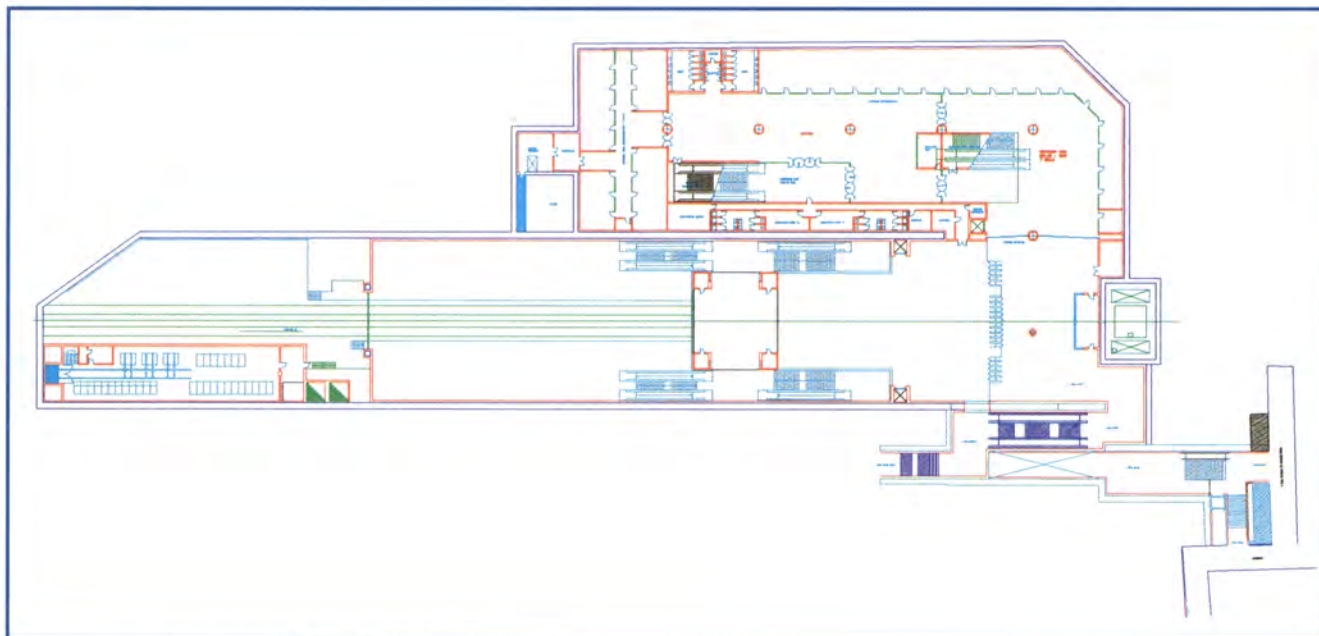
4.2. INTERCAMBIADOR DE MONCLOA

4.2.1. DESCRIPCION GENERAL

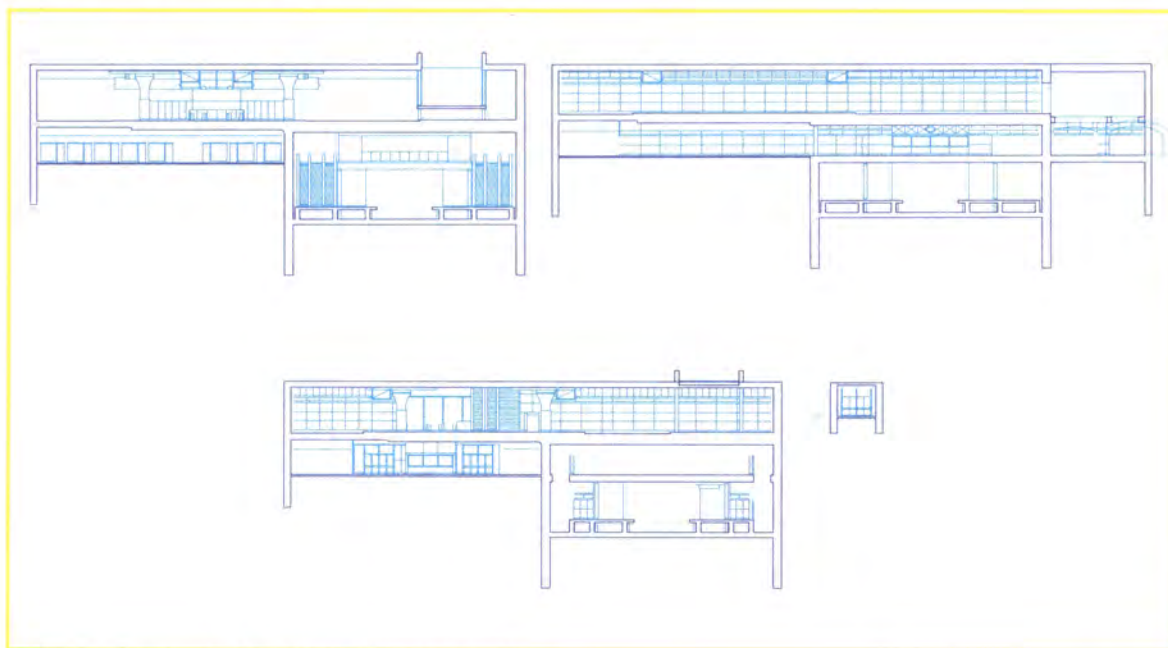
El Intercambiador de Moncloa está ubicado bajo la gran plaza frente al Cuartel General del



PLANTA DE AUTOBUSES COTA 651.



PLANTA DE INTERCAMBIO COTA 646.20.



ESTACION E INTERCAMBIADOR. SECCIONES TRANSVERSALES.

Aire. En un primer nivel bajo la calle se encuentra la planta para autobuses, que alberga las terminales de las líneas que llegan a Madrid por la N-VI, con una superficie de casi 10.000 m². En un segundo nivel está la planta de intercambio, con dos grandes áreas diferenciadas: una para las oficinas de las compañías concesionarias y servicios, y otra para vestíbulo del Metro, situada directamente sobre los andenes. La planta inferior está íntegramente destinada a la estación de Metro de la Línea 6. Tiene una parte bajo la planta anterior, desde donde se accede a ella, y otra completamente diáfana bajo la planta de autobuses.

4.2.2. PANTALLAS DE HORMIGON

Existen diferentes tipos de pantallas debido a que la forma de las plantas es diferente en cada nivel.

Las pantallas exteriores son de tres tipos, según la excavación llegue hasta el nivel de vía (cota 639), hasta la entreplanta (646) o hasta la planta de autobuses (651), siendo su único apoyo en todos los casos la losa de la planta de autobuses. Todas están libres en cabeza y se empotran en el terreno bajo el nivel al que llegan, debido al proceso constructivo. Existe un muro adicional situado en el borde de la esta-



EXCAVACION DE PANTALLAS.

ción de Metro, longitudinal a ella y apoyado en cabeza, ya que no continúa en la de autobuses.

Todos los muros exteriores son muros pantalla continuos de hormigón armado con espesores y armadura variables en función de los esfuerzos que soporten, con cantos de 0.80 y 1.00 metros.

Existen dos recintos adicionales construidos con pantallas de pilotes tangentes de 80 cm. de diámetro, uno para el acceso desde la calle Princesa y otro para conectar con la estación existente de Moncloa (línea 3).

4.2.3. PILARES

Las diferentes losas se apoyan en pilares intermedios, de tamaños y situación condicionados según la magnitud de la carga que les llega.

Los pilares principales son los de la estación de autobuses, que forman una cuadrícula de 14.50 por 17 metros. Son circulares de 1 m. de diámetro, con un capitel superior en forma de flor de papiro para permitir que los aparatos de apoyo tengan más sección que el fuste, y delimitan en dos alineaciones la dársena central de la estación de autobuses. Existen dos pilares más de este tipo, fuera de las alineaciones y en los extremos de la estación, que sirven de apoyo a la losa superior y a su vez se apoyan en la losa de la planta de autobuses sin prolongación inferior en la estación de Metro.

Existen otros pilares como los de la rampa de entrada de autobuses (0.60 m. de diámetro), los de la zona de oficinas de la entreplanta (1 m. de diámetro) y los que sirven de apoyo a la entreplanta sobre los andenes (prefabricados de 40 por 40 cm.).



PILAR DEL INTERCAMBIADOR.

4.2.4. LOSAS

4.2.4.1. LOSA AL NIVEL DE CALLE

Cubre todo el espacio de la estación de autobuses, con unas dimensiones de 170 x 58 metros sin juntas de dilatación, apoyada en las dos líneas principales de pilares y en los dos pilares extremos, además del perímetro de pantallas. Esta losa tiene un canto de 0.70 m. excepto en el extremo sur, donde es de 1 metro al tener mayores luces por no existir los pilares de la rampa de acceso (y no tener problemas de gálibo).

A pesar de ello, las luces en los extremos aumentan a causa de la separación del último pi-



LOSA SUPERIOR DURANTE EL HORMIGONADO.

lar de la fila a la pantalla, siendo necesarios por ello los pilares de los extremos. La losa tiene ábacos sobre todas las pilas donde apoya, con un sobreespesor de 30 cm. y un diámetro de 8 m., y está aligerada transversalmente con alveolos circulares, en la dirección del pretensado principal. Existe un pretensado longitudinal concentrado en las líneas de pilares.

4.2.4.2. LOSA DE LA PLANTA DE AUTOBUSES

Estructuralmente es la losa principal, ya que sirve de apoyo a la rampa de acceso de autobuses y a los dos pilares extremos de apoyo de la losa de calle. Además, sirve de puntal horizontal de las pantallas, ya que los 18 m. de excavación total sostenidos por las pantallas son claramente excesivos. Como no existen problemas de gálibo, esta losa tiene un canto máximo de 1.20 m.



PLANTA DE AUTOBUSES Y PILARES.

Al pasar a la zona de oficinas y servicios, el canto se reduce de 1.20 m. a 0.90 m. debido a la existencia de los pilares de esa zona, con ábacos circulares sobre los pilares de 0.30 m. de canto y 4 metros de diámetro.

Después de la línea de pilares el canto vuelve a reducirse hasta 0.60 m. La losa está aligerada en sentido transversal a la estación con alveolos circulares; el pretensado principal abarca la luz principal sobre la estación de metro y parte del vano siguiente, existiendo un pretensado en sentido longitudinal en las zonas donde arrancan los pilares que soportan la losa superior y no continúan hacia abajo.

4.2.4.3. LOSA DEL VESTIBULO A LA COTA 646.20

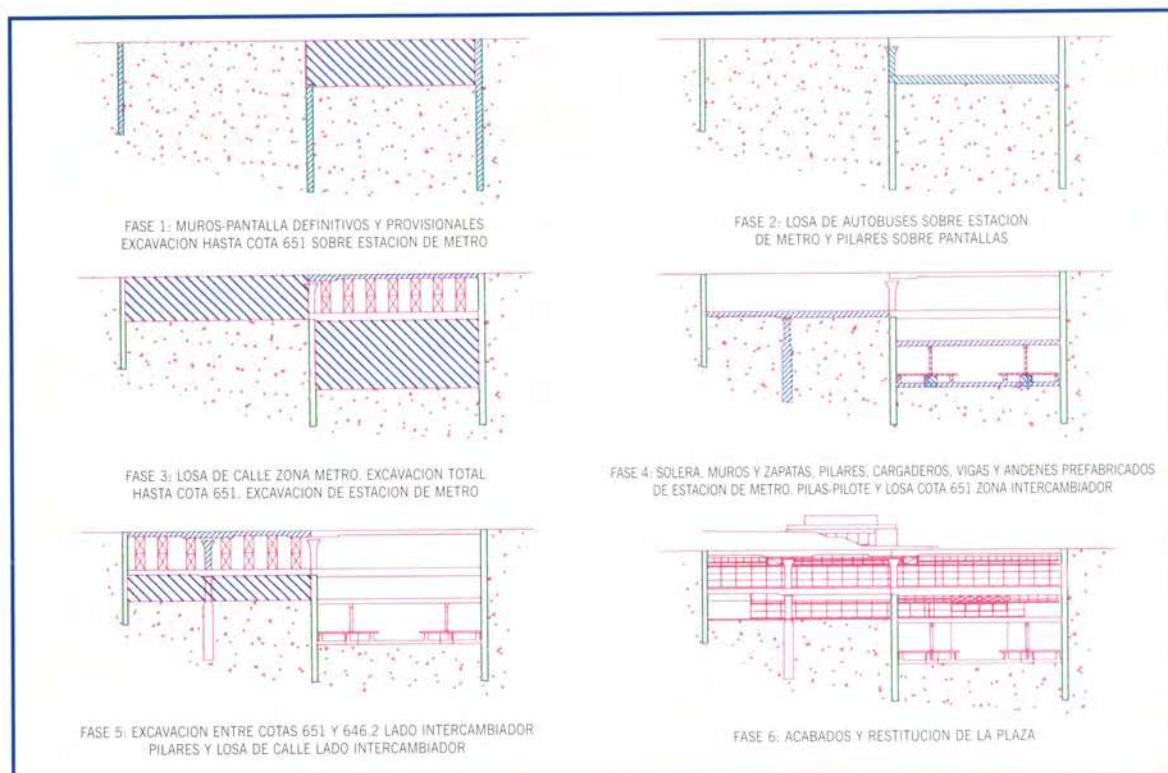
Se trata de un forjado de luces 5.40+15+15.40 metros formado por vigas prefabricadas pretensadas de 0.50 m. de canto más una losa de compresión de 0.20 m., con un intereje de 2.25 m. Estas vigas apoyan en cargaderos de 0.50 x 0.60 m. (ancho x canto) que a su vez descansan en pilares prefabricados espaciados 4.50 metros y con una sección de 40 x 40 cm.



VISTA DE LA LOSA 646.20 DESDE ANDENES.

4.2.5. PROCESO CONSTRUCTIVO

La ejecución de las estructuras del Intercambiador descritas en los puntos anteriores en un plazo muy limitado hizo que el proceso de construcción fuera estudiado cuidadosamente para poder avanzar en el mayor número de frentes posible evitando interferencias entre las distintas actividades. Aparte de las fases que se des-



PROCESO CONSTRUCTIVO.



VISTA AEREA DE LA OBRA EN UNA FASE DE GRAN ACTIVIDAD.

criben a continuación, se ejecutaron en paralelo los recintos de pilotes que constituyen la salida a la calle Princesa y la conexión con la estación existente de Moncloa (línea-3), además de dos

galerías en mina para conectar un recinto con otro y para unirlos con el vestíbulo del intercambiador. El proceso general seguido fue el siguiente:



EXCAVACIÓN ENTRE PANTALLAS PROVISIONAL Y DEFINITIVA.

FASE 1. Muros-pantalla y excavación sobre estación de metro.

1.1. Pantallas. Se ejecuta el recinto perimetral de muros-pantalla más la pantalla intermedia longitudinal a la estación con un último tramo provisional a partir de la cota de la estación de autobuses, que debía quedar al final completamente diáfana. En superficie se prepararon los desvíos provisionales que permitieron la propia ejecución de las pantallas y la excavación inmediatamente posterior. Cabe comentar la dificultad que supuso la excavación de las pantallas, debido a la existencia de un estrato superficial de 5 a 6 metros de potencia compuesto por rellenos antrópicos (en muchas ocasiones de escombros) que obligaron a amorterar la excavación varias veces ante la nula efectividad de los lodos tixotrópicos.

1.2. Excavación. Hasta la cota 651 del recinto entre la pantalla provisional y la definitiva justo por encima de la estación de metro. Como es lógico en un subsuelo urbano, en muchas ocasiones hubo que demoler antiguos muros y galerías de servicio previamente desviadas, además de otros elementos debidos a lo heterogéneo del relleno.

FASE 2. Losa cota 651 sobre metro y pilares.



ENCOFRADO, FERRALLA Y ACERO ACTIVO DE LOSA 651.

2.1. Encofrado inferior. Conforme iba quedando superficie libre en el fondo de la excavación anterior, se fue preparando el encofrado construido con madera machihembrada sobre mortero vertido en el terreno.

2.2. Ferralla, acero activo y hormigonado. Por encima del encofrado se prepararon la ferralla y los aligeramientos y se posicionaron las vainas para enfilear los cables de pretensado y colocar los anclajes correspondientes. Dado que esta losa se apoya en las pantallas (por medio de ménsulas metálicas) y constituye además un apoyo intermedio para ellas, no había posibilidad de pretensar desde los extremos, por lo que se preparó un cajetín de encofrado por cada extremo de cada cable para que el gato pudiera acceder al anclaje en el momento del tesado. Una vez comprobado el posicionamiento de todos estos elementos se procedió a su hormigonado según las fases previstas.



LOSA 651 LISTA PARA HORMIGONAR.

2.3. Tesado. Una vez hormigonada la losa se esperó a que alcanzase la resistencia requerida: $0.80 f_{ck} = 320 \text{ kp/cm}^2$. Este plazo se alcanzaba sin problemas al cabo de los 7 días, pasados los cuales se procedió al tesado según el plan establecido, controlando los alargamientos del cable. En alguna situación, cuando existe transmisión de carga desde la losa de calle a través de pilares entre una y otra, existe una segunda fase de tesado a aplicar después de hormigonada y pretensada la losa superior.

2.4. Pilares. Simultáneamente a las operaciones anteriores, se hormigonaron los pilares intermedios, arrancando de la pantalla intermedia en la que se habían dejado previamente las esperas necesarias.

FASE 3. Losa de calle sobre metro. Excavación de la caverna de estación bajo losa 651 y resto de excavación hasta cota 651.

3.1. Cimbra y encofrado. Una vez pretensada la losa 651 se montó una cimbra sobre ella y se colocó el encofrado inferior de la losa superior. La necesidad de imprimir un fuerte ritmo al hormigonado de ésta para restituir el tráfico obligó a que la colocación de la cimbra no se ajustase a un proceso normal de desmontaje, traslado y montaje, sino que prácticamente estuvieron cimbradas las 4 fases en que se dividió esta zona de losa superior.



CIMBRA Y ENCOFRADO DE LOSA DE CALLE.

3.2. Ferralla, acero activo, hormigonado y tesado. A continuación se repite el proceso de la losa inferior: ferralla, aligeramientos, vainas, enfilado de cables y hormigonado. Análogamente, pretensado por fases una vez alcanzada la resistencia requerida.



POSICIONAMIENTO DEL GATO DE PRETENSADO.



EXCAVACION DE LA CAVERNA.

3.3. Excavación de la caverna. Simultáneamente a los procesos anteriores se procedió a la excavación de la caverna de la estación de metro bajo la losa 651 (una vez pretensada) hasta llegar a la cota 638.40, atacando desde el túnel de línea y extrayendo los materiales a través de él y saliendo por la rampa de la c/ Romero Robledo.

3.4. Resto de excavación de la estación de autobuses. De una manera también simultánea se comenzó la excavación hasta la cota 651 de la otra mitad de la estación de autobuses que quedaba, demoliendo la pantalla provisional.



EXCAVACION DE LA ULTIMA MITAD DE LA ESTACION DE AUTOBUSES.



FASE 4. Solera, muros y zapatas de pilares de estación de metro. Pilares, cargaderos, vigas y forjados de andenes prefabricados. Pilas-pilote y losa cota 651 lado intercambiador.

4.1. Solera, muros de andenes y zapatas de pilares. Según avanzó la excavación de la caverna y sin interferir con ella se fueron hormigonando la solera de la estación y los muros bajo andenes, dejando también las zapatas de los pilares de la entreplanta a cota 646.20 (el vestíbulo de la estación). Existe un espacio sobrante de la estación en dirección a Argüelles donde se construyó en esta fase una Subestación Eléctrica y un Centro de Transformación.

4.2. Prefabricados. Ante la limitación de plazo existente la única solución viable y con garantías fue la de prefabricar y montar en obra los pilares, cargaderos y vigas que componen la entreplanta a cota 646.20 sobre la estación de metro, más las placas aligeradas pretensadas que constituyen las plataformas de los andenes. Las tareas de acabados de la estación comenzaron inmediatamente ya que las superficies a tratar son relativamente grandes, además de las dificultades de un gran número de cuartos de estación, escaleras mecánicas y sensores, pavimentos, etc.



MONTAJE DE ELEMENTOS PREFABRICADOS.

4.3. Pilas-pilote. En paralelo con las fases anteriores se construyeron las 5 pilas-pilote que constituyen los apoyos intermedios de la losa 651 en la zona del intercambiador, desde el fondo de excavación a esa cota. Estaban compuestas por pilotes de 1.50 m. de diámetro y 9.50 m. de profundidad en el tosco, con un último tramo enterrado en el que se montaba una

camisa de 1.00 m. de diámetro, centrada en el pilote, para constituir los pilares vistos entre las plantas 646.20 y 651. El hormigonado se hizo de una sola vez, con hormigón H-400 y poniendo especial cuidado en la posición y verticalidad de todos los elementos, incluida la ferralla.

4.4. Losa a cota 651 en zona de intercambiador. Una vez que se fueron ejecutando las pilas-pilote se inicia el proceso anteriormente descrito de ejecución de la losa 651 sobre terreno: encofrado machihembrado, ferralla, aligeramientos, vainas, anclajes y tesado. En este caso el proceso se simplificaba en cierto modo ya que el pretensado no alcanzaba a toda la losa, sino que se trataba de un cosido con la losa adyacente ya hormigonada.



LOSA COTA 651 LADO INTERCAMBIADOR ANTES DEL HORMIGONADO.

FASE 5. Excavación entre cotas 651 y 646.20 lado intercambiador. Pilares y losa de calle, lado intercambiador.

5.1. Excavación entre cotas 651 y 646.20. Una vez hormigonada la losa 651 se excavó bajo ella hasta llegar al nivel de la planta 646.20. El material se extrajo en su mayor parte aprovechando un hueco para escaleras mecánicas existente en la propia losa 651, saliendo del recinto por la rampa ya terminada de acceso de autobuses.

5.2. Pilares. Sobre la losa de la fase 4.4 se preparan los encofrados y ferralla de los pilares, arrancando de unas esperas preparadas sobre la proyección en planta de las pilas-pilote, ya que la losa apoya mediante neoprenos en ellas.



EXCAVACION ENTRE COTAS 651 Y 646.20 LADO INTERCAMBIADOR.

5.3. Losa de calle. Análogamente a lo descrito en la Fase-3, sobre la losa 651 se levanta la cimbra y se prepara el encofrado inferior para preparar ferralla, aligeramientos, vainas, anclajes y hormigonar. En esta zona sí existe un pretensado como en la otra mitad de la losa.



LOSA DE CALLE. ULTIMA FASE.

FASE 6. Acabados y restitución de la plaza.

6.1. Acabados. Como se ha indicado ya en la descripción de una fase, las tareas de acabados comenzaban inmediatamente después de terminar la fase de obra civil correspondiente, siempre que no interfirieran con alguna actividad posterior. Dada la gran extensión de superficies a tratar, cabe destacar el tratamiento proyectado a base de perfiles laminados que marcan una modulación horizontal y vertical y a la vez sirven de soporte a paneles vitrificados que constituyen el acabado final. En la estación de metro se combinan con unos grandes paños de ladrillo visto en la parte en que no hay entreplanta y donde tenemos cerca de 8 metros de altura total sobre andenes.



TEMPLETE DE ENTRADA.

6.2. Restitución de la plaza. El final de todas las operaciones es la restitución de la Plaza de la Moncloa frente al Cuartel General del Aire, con la única inserción en ella del templete de entrada al intercambiador situado en la confluencia de la calle Princesa con el Pº Moret. Bajo los jardines de la plaza se construyó un attillo sobre la losa de calle destinado a alojar las instalaciones de climatización de la estación de autobuses, comunicado con ésta mediante unos huecos que enlazan con una red de conductos alojados en un falso techo.



5. CARACTERISTICAS PRINCIPALES

1. TUNEL DE LINEA

LONGITUD DE TUNEL METODO TRADICIONAL	1.101	M
LONGITUD DE TUNEL METODO PRECORTE	621	M

2. ARGÜELLES (ESTACION, VESTIBULO Y ACCESOS)

LONGITUD DE CAÑONES DE ACCESOS	352	M
PILOTES EN VESTIBULO	875	M
ACERO A-42B EN CUBIERTA	101.949	KG
SUPERFICIE UTIL DEL NUEVO VESTIBULO	350	M ²
EXCAVACIONES Y DEMOLICIONES	23.195	M ³
HORMIGON EN ESTACION	9.888	M ³
VOLUMEN DE EXCAVACION EN ESTACION	23.089	M ³
SUPERFICIE DE SOLADOS	2.950	M ²
SUPERFICIE DE REVESTIMIENTO VERTICAL	2.122	M ²

3. MONCLOA (ESTACION E INTERCAMBIADOR)

MUROS PANTALLA	12.287	M ²
EXCAVACIONES Y DEMOLICIONES	144.884	M ³
HORMIGON H-400	15.826	M ³
ACERO PASIVO AEH-500	3.500.000	KG
ACERO DE PRETENSADO	554.400	KG
VOLUMEN DE CIMBRA	60.000	M ³
SUPERFICIE DE ESTACION DE AUTOBUSES	10.000	M ²
SUPERFICIE DE SOLADOS	11.400	M ²
SUPERFICIE DE REVESTIMIENTO VERTICAL	3.400	M ²
FABRICA DE LADRILLO VISTO	1.000	M ²

INVERSION APROXIMADA	9.000	Millones
----------------------	-------	----------



AUXINI
CONSTRUCCION