

ANEJO 13. INSTRUMENTACIÓN Y AUSCULTACIÓN

TÍTULO DEL PROYECTO	
ESTUDIO INFORMATIVO DE AMPLIACIÓN DE LA RED DE METRO DE MADRID AL BARRIO DE VALDEBEBAS	

DOCUMENTO	
TÍTULO	ANEJO 13. INSTRUMENTACIÓN Y AUSCULTACIÓN
FICHERO	A13_AUSCULTACIÓN.docx

CONTROL DE EDICIONES		
ED.	FECHA	OBSERVACIONES / MOTIVO
02	JUN 2024	2ª EDICIÓN (TRAS SUPERVISION)
EDICIONES PREVIAS		
01	JUN 2024	1ª EDICIÓN (TRAS SUPERVISION)
00	ABRIL 2024	1ª EDICIÓN

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. INVENTARIO DE EDIFICACIONES, INFRAESTRUCTURAS Y SERVICIOS.....	1
3. EVALUACIÓN DEL NIVEL DE CONTROL EN EL TÚNEL.....	3
4. INSTRUMENTACIÓN A DISPONER. TRAMOS EN TÚNEL.....	6
4.1. Túnel ejecutado con tuneladora	6
4.2. Ramales ejecutados con Método Madrid	7
4.3. Auscultación de túneles existentes	7
4.4. Auscultación de movimientos y subsidencias en carreteras y ferrocarril	7
5. INSTRUMENTACIÓN A DISPONER EN ESTACIONES	8
6. INSTRUMENTACIÓN A DISPONER EN POZOS	8
7. FRECUENCIA DE LECTURAS	8
7.1. Estaciones	8
7.2. Túnel ejecutado con Método Belga o Madrid	8
7.3. Túnel con tuneladora	8
8. CONTROL DE UMBRALES. PROTOCOLO DE ACTUACIÓN	9

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura nº 1. Sección completa de instrumentación en túnel de línea	6
Figura nº 2. Túnel de línea. Sección parcial de control de subsidencias en superficie	6
Figura nº 3. Túnel de línea. Sección completa de control de subsidencias en superficie	7
Figura nº 4. Diábolo (izquierda) y regleta (derecha) de nivelación.	7
Figura nº 5. Colocación de prismas en sección de túnel en mina para medida de convergencias	7

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla nº 1. Tipos de instrumentos y sistemas de auscultación	1
Tabla nº 2. Edificios de más de 10 alturas en el área de los trazados de las alternativas	1
Tabla nº 3. Servicios afectados por el trazado del túnel. Alternativa 1	2
Tabla nº 4. Servicios afectados por el trazado del túnel. Alternativa 2	2

Tabla nº 5. Servicios afectados por el trazado del túnel. Alternativa 3	2
Tabla nº 6. Servicios afectados por el trazado del túnel. Alternativa 4	3
Tabla nº 7. Movimientos adicionales admisibles. Metro de Madrid.....	3
Tabla nº 8. Categorías de nivel de control	3
Tabla nº 9. Secciones de control en superficie.....	6
Tabla nº 10. Frecuencia de lecturas. Túneles ejecutados con método Belga.....	8
Tabla nº 10. Frecuencia de lecturas. Túnel ejecutado con tuneladora	9

1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se definen los objetivos del Plan de auscultación y control, su alcance y la metodología operativa.

Su finalidad será el controlar los movimientos de las estructuras, así como el comportamiento de los terrenos anejos, durante las distintas fases de construcción y poder asegurar su adecuación a las hipótesis y modelos de cálculo adoptados durante los trabajos de diseño.

Para cumplir tales objetivos se instalarán los instrumentos y sistemas de auscultación que, en cada momento, informen de las reacciones con las que el terreno, estructuras e instalaciones, responden a las distintas fases constructivas que se lleven a cabo.

Tabla nº 1. Tipos de instrumentos y sistemas de auscultación

APARATO DE MEDICIÓN	PARÁMETRO QUE CONTROLA
Células de presión total	Presiones totales sobre la estructura por efecto del empuje y reajuste del terreno en el entorno de la excavación.
Piezómetro de cuerda vibrante	Medir la presión intersticial.
Piezómetro abierto	Medir la profundidad del nivel freático.
Extensómetro de cuerda vibrante	Tensiones sobre las armaduras de elementos portante. Se deduce la deformación unitaria y partiendo de ésta, la tensión de trabajo en el punto de medida.
Extensómetros de varillas	Desplazamientos verticales en profundidad del terreno en el trasdós de la pantalla. Proporcionan desplazamientos relativos entre distintos puntos, en el interior de un sondeo respecto de un punto accesible situado en la superficie. Su objeto es determinar el radio de influencia de las deformaciones en obra. Como la medida es relativa (al tomar como referencia un punto de superficie) se controlarán también los posibles asientos mediante medidas topográficas en arquetas coincidentes con las cabezas de los extensómetros.
Arquetas de subsidencia	Asientos verticales en superficie.
Arquetas de subsidencia combinada	Asientos verticales y movimientos horizontales en superficie.
Bases de nivelación	Referencia.
Pernos de convergencia	Alargamientos y acortamientos de las dimensiones de la cavidad, con el objeto de estudiar las deformaciones internas de la sección como respuesta al equilibrio entre terreno y la estructura.
Inclinómetros	Movimientos horizontales. Midiendo la deformación continua en profundidad de la pantalla o terreno.
Extensómetros incrementales	Movimientos verticales. Midiendo el movimiento continuo en profundidad del terreno.
Escala graduada con mira de nivelación	Asientos verticales en edificios.
Puntos de inserción	Para el control de grietas de los edificios.
Auscultación por ultrasonidos.	Para detectar coqueras en el hormigón de las pantallas.

El diseño de la auscultación se ha realizado en función de la evaluación de los riesgos que sobre las edificaciones y las estructuras existentes pueden producir las obras a realizar, y de la zonificación de los trazados por diferentes niveles de riesgo.

2. INVENTARIO DE EDIFICACIONES, INFRAESTRUCTURAS Y SERVICIOS

El inventario de edificaciones se incluye en el Anejo N.º 12 Inventario

En la zona de Valdebebas norte, bajo la Avda. Secundino Zuazo, que es la la zona más densamente poblada de Valdebebas, existen numerosos bloques de viviendas de hasta 12 plantas. Algunos de ellos están situados parcialmente dentro de la banda de afección +/- 2i. El único edificio situado sobre el eje del túnel es el 192, situado entre los PK 3+800 y 3+900 de la alternativa 1, y 360-3+800 de la alternativa 3:

Tabla nº 2. Edificios de más de 10 alturas en el área de los trazados de las alternativas

Nº_Parcela_Plano	Ubicación	CALLE Y NÚMERO	Nº PLANTAS
23	Margen izquierdo	CL SAMACA 2	13
38	Margen derecho	CL TRIBALDOS 10	12
192	Margen izquierdo	AV JOSE ANTONIO CORRALES 1	11
236	Margen derecho	AV SECUNDINO ZUAZO 105	11
237	Margen izquierdo	CL CESAR CORT BOTI 9	10
238	Margen izquierdo	AV SECUNDINO ZUAZO 100	10
242	Margen izquierdo	AV SECUNDINO ZUAZO 90	11
243	Margen derecho	AV SECUNDINO ZUAZO 89	10
246	Margen izquierdo	CL LUIS MOYA BLANCO 17	10
247	Margen derecho	CL FELIX CANDELA 36	11
248	Margen derecho	AV SECUNDINO ZUAZO 63	12
249	Margen izquierdo	AV SECUNDINO ZUAZO 66	11
250	Margen izquierdo	AV SECUNDINO ZUAZO 62	12
254	Margen izquierdo	CL FINA DE CALDERON 19	10
255	Margen derecho	AV SECUNDINO ZUAZO 44	10
257	Margen derecho	CL JOSE ANTONIO CODERCH 48	11
261	Margen derecho	AV SECUNDINO ZUAZO 14	15
262	Margen derecho	AV SECUNDINO ZUAZO 15	10

Las arterias de transporte bajo las cuales ha de perforarse el túnel de línea son las siguientes:

- - Cruce bajo M40. Todas las alternativas
- - Cruce bajo FC Madrid-Barcelona. Todas las alternativas
- - Cruce bajo M11. Todas las alternativas
- - Cruce bajo M12-Sur. Alternativas 2 y 4
- - Cruce bajo M12-Norte. Todas las alternativas

Asimismo, los trazados cruzan diversas infraestructuras subterráneas:

- Metro L4 en Mar de Cristal. Todas las alternativas han de cruzar bajo la L4. Las alternativas 1 y 2 lo hacen al norte de la estación de Mar de Cristal, las 2 y 3 al sur de ella.
- Ramal de conexión de L4 de metro con L8 de Metro. Las alternativas 1 y 2 cruzan bajo dicho ramal afectando en mayor medida a la cota de la estación “Mar de Cristal - Parque Alfredo Kraus” que el propio túnel de la línea 4 de metro por encontrarse el ramal a mayor profundidad que el túnel de la línea 4 de metro.
- Estación “Mar de Cristal” de la línea 4 y 8 de metro.
- Recinto de pantallas de conexión del ramal de la línea 4 de metro con la línea 8 de metro. La profundidad de los muros pantallas en la zona de conexión del ramal con la línea 8 de metro impiden que las alternativas 1 y 2 puedan cruzar bajo la línea 8 de metro en la cercanía a la estación de “Mar de Cristal”.
- Metro L8 en tramo Mar de Cristal-Campo de las Naciones. Todas las alternativas cruzan bajo la L8. Las alternativas 1 y 2 lo hacen dos veces en el tramo inicial entre Mar de Cristal y M-40, ambas oblicuamente, la primera en dirección noroeste-sureste, a continuación, tras la curva bajo el Parque Villa Rosa, en dirección suroeste-noreste. Las alternativas 3 y 4, lo hacen sólo una vez, en el tramo de trazado compartido con las alternativas 1 y 2.
- Tramo de posible conexión de la L-11 de Metro con la L-8 de Metro. El ramal que conecte ambos túneles solo es posible que lo haga con la L-8 de Metro en torno a un tramo de escasa longitud debido al trazado en planta y alzado de la línea L-8 (existencia de clotoides y curvas en planta y acuerdos verticales en alzado) además de la diferencia de cota entre ambos túneles, siendo el tramo de conexión el localizado antes de la zona de reserva en la L-8 de metro para la futura estación de Aconcagua.
- **Túnel AVE Chamartín-T4.** Esta infraestructura **no existe actualmente**, pero está en fase de estudio previo. Durante la redacción del proyecto se ha solicitado al MITMA planos de trazado previsto de esta infraestructura, habiéndose recibido e incorporado como condicionante de diseño. El presente estudio prevé un cruce sensiblemente ortogonal a unos 150 m al norte de la estación E2 (Cárcavas/Ampliación Ifema). La información recibida de MITMA y las necesidades de implantación de la estación E2 en L11 imponen un cruce del túnel del AVE bajo la L11. Con los datos recibidos, la clave del túnel AVE quedaría a unos 4,5 m de la parte inferior del túnel de L11. Se recomienda deprimir adicionalmente lo más posible el trazado AVE para separarse del túnel de L11,

ya que éste, por los condicionantes anterior (estación E2) y posterior (paso bajo túnel de Cercanías Chamartín-T4), no tiene margen de corrección para aumentar la separación entre ambos.

- **Túnel Cercanías Chamartín-T4.** Este túnel existe, se encuentra en servicio y es, por tanto, un importante condicionante de trazado. La L11 cruzará bajo este túnel, construido entre pantallas, en ángulo aproximado de 45°, bajo la Glorieta de Antonio Perpiñá. El trazado propuesto prevé el cruce con la clave de túnel de L11 a 5,36 m bajo el pie de pantallas del túnel de Cercanías.
- **Sótanos de edificaciones.** Pasada la estación” Intercambiador - Ciudad de la Justicia” se encuentran una serie de terrenos no edificadas en la actualidad en los que es necesario tener en cuenta la posibilidad de futuros sótanos. Estos afectan a todas las alternativas ya que se encuentran muy cerca de la estación antes mencionada.

En cuanto a los servicios subterráneos, se enumeran a continuación las principales redes afectadas, y el PK de cruce con cada alternativa:

Tabla nº 3. Servicios afectados por el trazado del túnel. Alternativa 1

ESTRUCTURA SUBTERRÁNEA	PK	PROFUNDIDAD CLAVE TUNEL (m)	PROFUNDIDAD DE SOLERA ESTRUCTURA O TÚNEL (m)
2 Conducción diam. 1600 Red abastecimiento CYII	1+560	19	7,4
Encauzamiento arroyo 1800	6+760	11,2	8,3
Saneamiento 1800	6+920	11,6	7
Encauzamiento Ayo Plata diam 1800	8+980	11,6	4,5

Tabla nº 4. Servicios afectados por el trazado del túnel. Alternativa 2

ESTRUCTURA SUBTERRÁNEA	PK	PROFUNDIDAD CLAVE TUNEL (m)	PROFUNDIDAD DE SOLERA ESTRUCTURA O TÚNEL (m)
2 Conducción diam. 1600 Red abastecimiento CYII	1+560	19	7,4
Saneamiento 2000	4+280	26,2	16
Saneamiento 1800	7+160	11,7	7
Encauzamiento arroyo 1800	7+320	11	8,4

Tabla nº 5. Servicios afectados por el trazado del túnel. Alternativa 3

ESTRUCTURA SUBTERRÁNEA	PK	PROFUNDIDAD CLAVE TUNEL (m)	PROFUNDIDAD DE SOLERA ESTRUCTURA O TÚNEL (m)
2 Conducción diam. 1600 Red abastecimiento CYII	1+420	19	7,4
Encauzamiento arroyo 1800	6+620	11,2	8,3
Saneamiento 1800	6+780	11,6	7
Encauzamiento Ayo Plata diam 1800	8+840	11,6	4,5

Tabla nº 6. Servicios afectados por el trazado del túnel. Alternativa 4

ESTRUCTURA SUBTERRÁNEA O TÚNEL EXISTENTE	PK	PROFUNDIDAD CLAVE TUNEL (m)	PROFUNDIDAD DE SOLERA ESTRUCTURA O TÚNEL (m)
2 Conducción diam. 1600 Red abastecimiento CYII	1+420	19	7,4
Saneamiento 2000	4+120	26,2	16
Saneamiento 1800	7+030	11,7	7
Encauzamiento arroyo 1800	7+170	11	8,4

3. EVALUACIÓN DEL NIVEL DE CONTROL EN EL TÚNEL

La zonificación se establece mediante la evaluación cualitativa y cuantitativa de los siguientes factores:

- Profundidad de la excavación
- Presencia de agua en el frente
- Materiales en el frente de excavación
- Materiales sobre clave
- Presencia y estado de edificaciones próximas

El análisis de la interacción de la excavación del túnel respecto a edificaciones, infraestructuras y servicios se realiza en el Anejo N.º 11 Túneles, de acuerdo con los umbrales establecidos para límites de movimientos admisibles en Metro de Madrid:

Tabla nº 7. Movimientos adicionales admisibles. Metro de Madrid

UMBRAL DE CONTROL	ASIENTO ADMISIBLE (mm).			DISTORSIÓN ANGULAR			DEFORMACIÓN HORIZONTAL UNITARIA (%)		
	VERDE	ÁMBAR	ROJO	VERDE	ÁMBAR	ROJO	VERDE	ÁMBAR	ROJO
*Zonas sin edificaciones	< 50	50 a 100	> 100	<1/100	1/100 a 1/50	> 1/50	< 1,5	1,5 a 2,0	> 2,0
*Edificios cimentados profundos o con losa, en buen estado. *Conducciones no de gas	< 20	20 a 30	> 30	< 1/1000	1/1000 a 1/500	> 1/500	< 0,15	0,15 a 0,20	> 0,20
*Estructura subterránea o túneles existentes	< 15	15 a 25	> 25	<1/2000	1/2000 a 1/1000	> 1/1000	< 0,15	0,15 a 0,20	> 0,20
*Edificios cimentados superficialmente sin daños aparentes	< 10	10 a 15	> 15	< 1/2000	1/2000 a 1/1000	> 1/1000	< 0,15	0,15 a 0,20	> 0,20
*Edificios cimentados superficialmente con daños *Edificios monumentales *Edificios con más de 10 alturas *Tuberías de gas	< 5	5 a 10	> 10	< 1/3000	1/3000 a 1/2000	> 1/2000	< 0,05	0,05 a 0,10	> 0,10

UMBRAL DE CONTROL	ASIENTO ADMISIBLE (mm).			DISTORSIÓN ANGULAR			DEFORMACIÓN HORIZONTAL UNITARIA (%)		
	VERDE	ÁMBAR	ROJO	VERDE	ÁMBAR	ROJO	VERDE	ÁMBAR	ROJO
*Túneles existentes	Asiento o levantamiento: 10 mm/10m								

La distribución de la instrumentación se basa en la zonificación de los trazados efectuada en el Anejo de Túneles, basada a su vez en en el recubrimiento de plioceno existente, en la distancia del edificio o estructura al eje del túnel, en los movimientos generados y en la sensibilidad de las estructuras y edificios a tales movimientos. Estos criterios se basan en las “Recomendaciones generales para el diseño del plan de auscultación y control” de noviembre de 2004 prescritas por MINTRA para el Plan de Ampliación del Metro de Madrid 2003 – 2007.

Tabla nº 8. Categorías de nivel de control

NIVEL DE CONTROL	Edificaciones o servicios en el entorno de la excavación	Previsión de movimientos inducidos	Recubrimiento relativo de terciario Hp/D	Presencia de agua
VERDE	Alejados de la zona de influencia de las excavaciones. Exterior de 2i	No supera el nivel ámbar de movimientos adicionales admisibles	Hp/D > 1,0	No es previsible la presencia de niveles arenosos con agua en el frente de excavación
ÁMBAR	Se encuentran en la zona de influencia de las excavaciones, entre (-2i, -i) y (i, 2i)	Se sitúan entre el umbral ámbar y rojo de movimientos adicionales admisibles	0,5 < Hp/D < 1,0	Se interceptan algunos niveles arenosos con probable presencia de agua.
ROJO	Se encuentran en la zona de influencia de las excavaciones (sobre las mismas, entre -i, i)	Superan el nivel rojo de movimientos adicionales admisibles	Hp/D < 0,5	Se interceptan numerosos niveles arenosos con agua.

La tramificación del túnel a ejecutar con tuneladora se efectúa atendiendo a la tipología de la obra y a la presencia de edificios y de infraestructuras próximas, tanto en superficie como enterradas, valorando el riesgo en función fundamentalmente de la previsión de movimientos inducidos, del recubrimiento relativo de terciario, y de la presencia de agua.

Se estima que a lo largo de todos los trazados existe el riesgo de interceptar niveles de agua colgados en el frente de excavación.

En cada tramo homogéneo en que podrían dividirse los trazados, el nivel de control será el más restrictivo de los 4 parámetros analizados.

ALTERNATIVA 1						ALTERNATIVA 2						ALTERNATIVA 3						ALTERNATIVA 4						
	PK	NIVEL DE CONTROL POR EDIFIC/SERV EN EL ENTORNO	NIVEL DE CONTROL POR PREVISIÓN DE MOVIMIENTOS ADICIONALES (EDIFICIOS)	NIVEL DE CONTROL POR RECUBRIMIENTO RELATIVO Hp/D	NIVEL DE CONTROL POR PRESENCIA DE AGUA		PK	NIVEL DE CONTROL POR EDIFIC/SERV EN EL ENTORNO	NIVEL DE CONTROL POR PREVISIÓN DE MOVIMIENTOS INDUCIDOS	NIVEL DE CONTROL POR RECUBRIMIENTO RELATIVO Hp/D	NIVEL DE CONTROL POR PRESENCIA DE AGUA		PK	NIVEL DE CONTROL POR EDIFIC/SERV EN EL ENTORNO	NIVEL DE CONTROL POR PREVISIÓN DE MOVIMIENTOS INDUCIDOS	NIVEL DE CONTROL POR RECUBRIMIENTO RELATIVO Hp/D	NIVEL DE CONTROL POR PRESENCIA DE AGUA		PK	NIVEL DE CONTROL POR EDIFIC/SERV EN EL ENTORNO	NIVEL DE CONTROL POR PREVISIÓN DE MOVIMIENTOS INDUCIDOS	NIVEL DE CONTROL POR RECUBRIMIENTO RELATIVO Hp/D	NIVEL DE CONTROL POR PRESENCIA DE AGUA	
	0						0						0							0				
	100						100						100							100				
	200						200						200							200				
	300						300						300							300				
E1,1	400					E1,1	400						400						E 1.2	400				
	460						460						420							420				
	500						500						500							500				
	600						600						580							580				
	700						700						600							600				
	800						800						700							700				
	900						900						800							800				
	1000						1000						900							900				
	1100						1100						1000							1000				
	1200						1200						1100							1100				
	1300						1300						1200							1200				
	1400						1400						1300							1300				
	1500						1500						1400							1400				
	1600						1600						1500							1500				
	1700						1700						1600							1600				
	1800						1800						1700							1700				
	1900						1900						1800							1800				
	2000						2000						1900							1900				
	2100						2100						2000							2000				
	2200						2200						2100							2100				
E2	2250						2250					E2	2200						E2	2200				
	2300					E 2	2300						2240							2240				
	2400						2400						2300							2300				
	2500						2500						2400							2400				
	2600						2600						2500							2500				
	2700						2700						2600							2600				
	2800						2800						2700							2700				
	2900						2900						2800							2800				
	3000						3000						2900							2900				
	3100						3100						3000							3000				
	3200						3200						3100							3100				
	3300						3300						3200							3200				
	3400						3400						3260							3260				
E3	3500					E 3	3500					E3	3300						E3	3300				
	3540						3540						3400							3400				
	3600						3600						3500							3500				
	3700						3700						3600							3600				
	3800						3800						3700							3700				
	3900						3900						3800							3800				
	4000						4000						3900							3900				
	4100						4100						4000							4000				
	4200						4200						4100							4100				
	4300						4290						4200							4130				
	4400						4300						4300							4200				
	4500						4400						4400						E4	4300				
	4600						4500						4500							4400				
	4700						4520						4600							4500				
	4800						4600						4700							4600				
	4900						4700						4800							4700				
	5000						4800						4900							4800				

ALTERNATIVA 1						ALTERNATIVA 2						ALTERNATIVA 3						ALTERNATIVA 4						
	PK	NIVEL DE CONTROL POR EDIFIC/SERV EN EL ENTORNO	NIVEL DE CONTROL POR PREVISIÓN DE MOVIMIENTOS ADICIONALES ADMISIBLES (EDIFICIOS)	NIVEL DE CONTROL POR RECUBRIMIENTO O RELATIVO Hp/D	NIVEL DE CONTROL POR PRESENCIA DE AGUA		PK	NIVEL DE CONTROL POR EDIFIC/SERV EN EL ENTORNO	NIVEL DE CONTROL POR PREVISIÓN DE MOVIMIENTOS INDUCIDOS	NIVEL DE CONTROL POR RECUBRIMIENTO O RELATIVO Hp/D	NIVEL DE CONTROL POR PRESENCIA DE AGUA		PK	NIVEL DE CONTROL POR EDIFIC/SERV EN EL ENTORNO	NIVEL DE CONTROL POR PREVISIÓN DE MOVIMIENTOS INDUCIDOS	NIVEL DE CONTROL POR RECUBRIMIENTO O RELATIVO Hp/D	NIVEL DE CONTROL POR PRESENCIA DE AGUA		PK	NIVEL DE CONTROL POR EDIFIC/SERV EN EL ENTORNO	NIVEL DE CONTROL POR PREVISIÓN DE MOVIMIENTOS INDUCIDOS	NIVEL DE CONTROL POR RECUBRIMIENTO O RELATIVO Hp/D	NIVEL DE CONTROL POR PRESENCIA DE AGUA	
	5100						4900						5000							4900				
	5200						5000						5100							5000				
	5300						5100						5200							5100				
	5400						5200						5300							5200				
	5500						5300						5400							5300				
	5600						5400						5500							5400				
	5700						5500						5600							5500				
	5800						5600						5700							5580				
	5900						5700						5800							5600				
	6000						5720						5900							5700				
	6100						E5	5800					6000							5705				
	6200							5880					6080							5800				
	6220						5900						6100							5900				
E4	6300						6000					E4	6200							6000				
	6360						6100						6220							6100				
	6400						6200						6300							6200				
	6500						6300						6400							6300				
	6600						6400						6500							6400				
	6700						6500						6600							6500				
	6800						6600						6700							6600				
	6900						6700						6800							6700				
	7000						6800						6900							6800				
	7100						6900						7000							6900				
	7200						7000						7100							7000				
	7300						7100						7200							7100				
	7400						7200						7300							7200				
	7500						7300						7400							7300				
	7600						7400						7500							7400				
	7700						7500						7600							7500				
	7800						7600						7700							7580				
	7900						7700						7800							7600				
	8000						7720						7900							7700				
	8100						E6	7800					8000							7710				
	8200							7860					8080							7800				
	8230							7900					8100							7900				
E5	8300							8000				E5	8200							8000				
	8360							8100					8220							8100				
	8400							8200					8300							8200				
	8500							8300					8400							poz o 8300				
	8600							8400					8500											
	8700						poz o 8450						8600											
	8800												8700											
	8900												8800											
	9000												8900											
	9100											poz o 9000												
poz o	9140																							

4. INSTRUMENTACIÓN A DISPONER. TRAMOS EN TÚNEL

4.1. Túnel ejecutado con tuneladora

• Instrumentación del anillo

En el interior del túnel, tanto ejecutado con tuneladora como con método tradicional Madrid, se dispondrán miniprismas de convergencia (5) en clave y hastiales, cada 50 m en toda la longitud del túnel, para toma de lecturas mediante estación total.

De forma sistemática, se instalarán secciones de auscultación completa cada 150 m, compuestas por 6 células de presión total (una por dovela) y 6 parejas de extensímetros de cuerda vibrante (2 por dovela) en armadura.

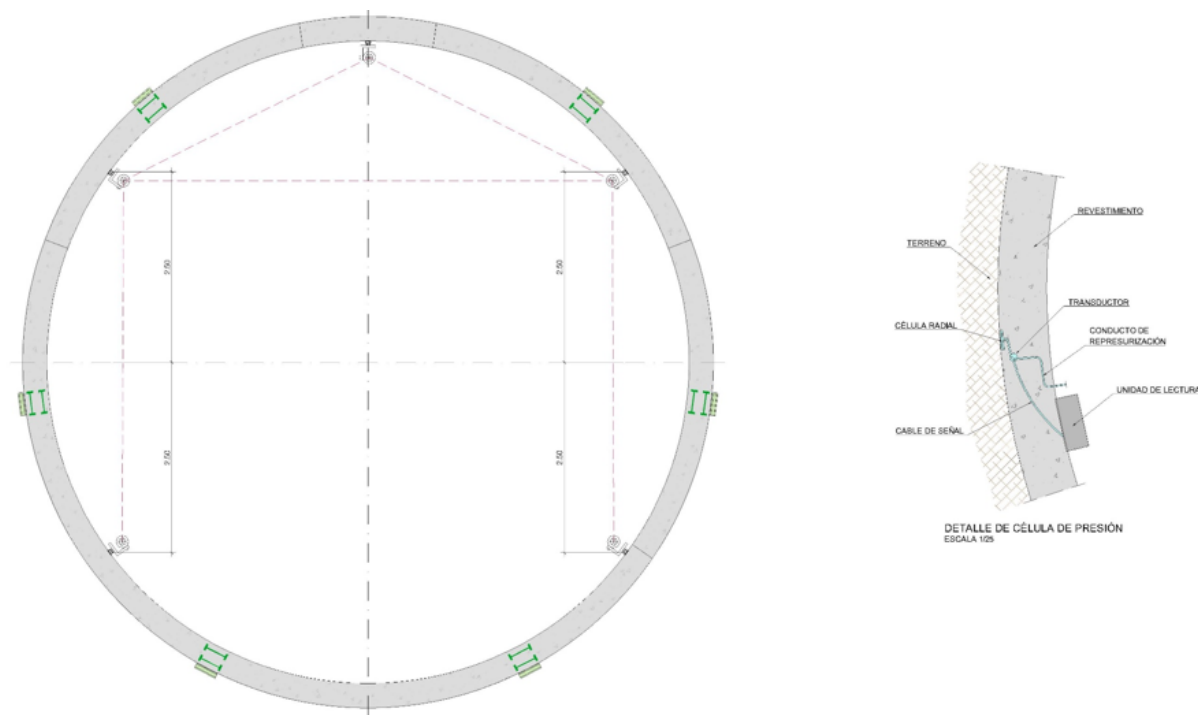


Figura nº 1. Sección completa de instrumentación en túnel de línea

• Instrumentación en superficie

En toda la longitud de los túneles, se colocarán hitos de nivelación sobre el eje del túnel cada 50 m, tanto en zonas urbanas como no urbanas

Por otra parte, en zona urbana (con presencia de edificios en el entorno de la excavación), se deberá disponer, al menos, una sección de control como se indica a continuación:

Tabla nº 9. Secciones de control en superficie

SECCIONES DE CONTROL
SECCIÓN DE CONTROL DE SUBSIDENCIAS EN SUPERFICIE PARCIAL SSSP A colocar cada 50 m en zona urbana (con edificios dentro de la zona de afección por las excavaciones) y cada 150 m en zona no urbana (preferiblemente coincidiendo con carreteras y vías de ferrocarril) <ul style="list-style-type: none"> - 7 Hitos de nivelación por sección en superficie situados transversalmente al eje de la traza cubriendo la anchura previsible de la cubeta de asientos. Se colocarán perpendicularmente al eje de la traza y dispuestos al menos. - Bases profundas de nivelación (cada 200-300 m referenciadas entre sí) - Si existen edificios dentro de la banda de afección por las excavaciones, se colocarán además inclinómetros entre éstos y el túnel.
SECCIÓN DE CONTROL DE SUBSIDENCIAS EN SUPERFICIE COMPLETA SSSC A colocar cada 150 m en zona urbana <ul style="list-style-type: none"> - Misma instrumentación que las secciones catalogadas como Verde. - Además: <ul style="list-style-type: none"> • Extensómetro de varilla sobre el eje de la traza a una profundidad de H y 0,5H, siendo el espesor de la cobertera • Inclinómetros entre los edificios y el túnel a una distancia de 2 m del hastial o pantalla ejecutada. La profundidad del inclinómetro será de $H+D+D/2$, siendo D el diámetro del túnel o la longitud de pantalla más un empotramiento mínimo de 2 m. • Piezómetros de cuerda vibrante o tubo ranurado (abiertos).

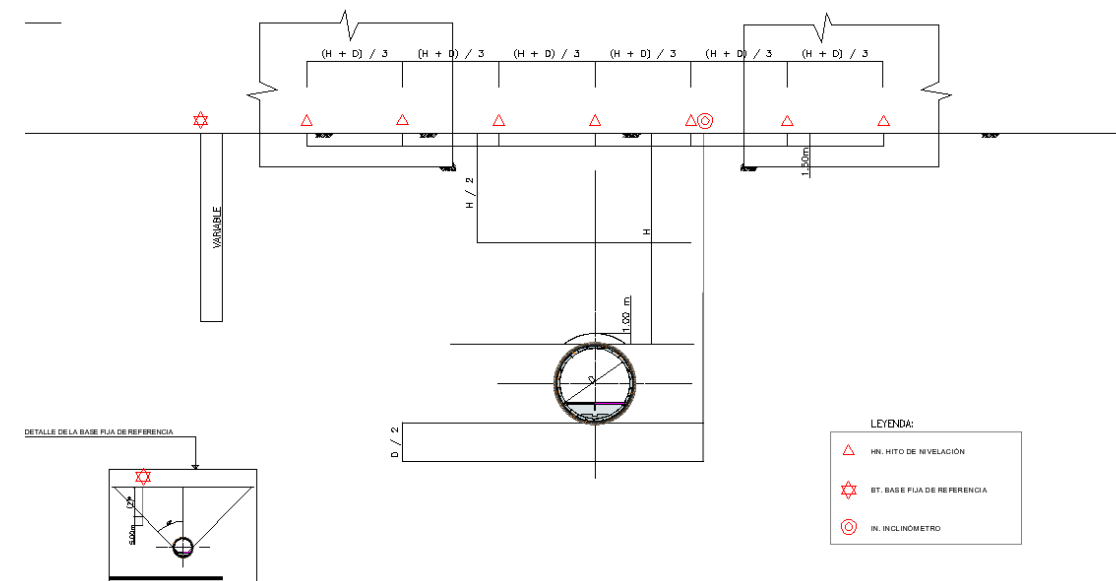


Figura nº 2. Túnel de línea. Sección parcial de control de subsidencias en superficie

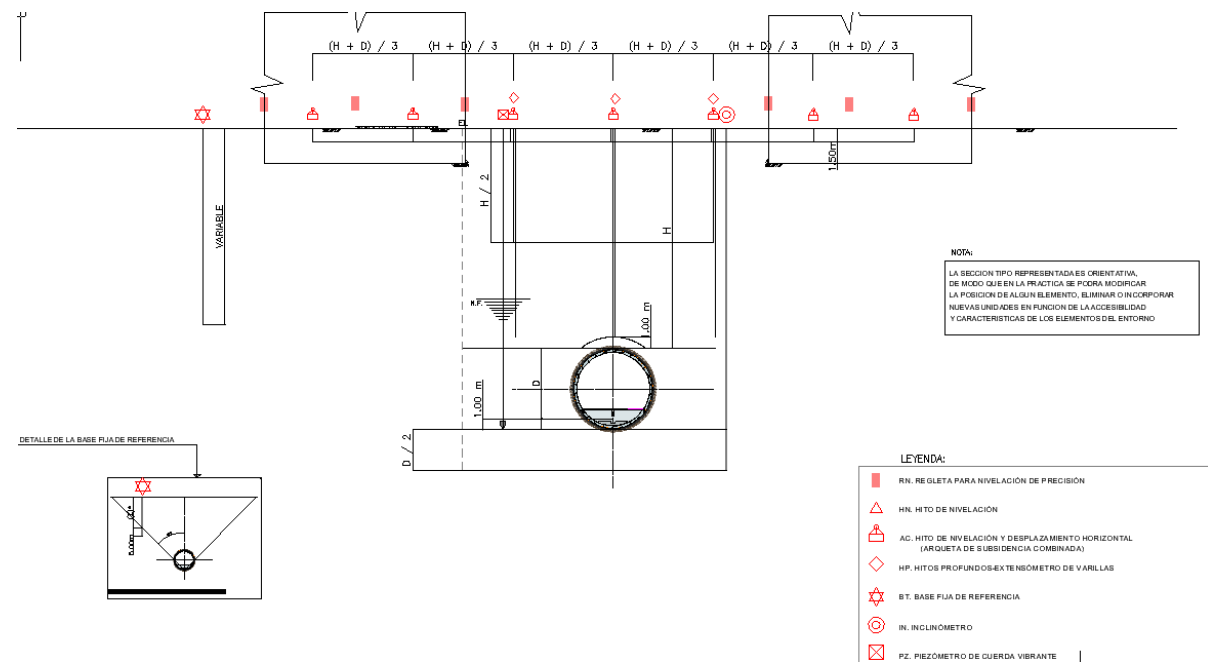


Figura nº 3. Túnel de línea. Sección completa de control de subsidencias en superficie

• Auscultación de edificios

Se auscultarán los edificios situados dentro de la banda de afección 2 i, mediante:

- Puntos de control X, Y, Z mediante miniprismas y dianas
- Regletas de nivelación en las esquinas de los edificios, con la finalidad de controlar los asentamientos inducidos, compuestos por un elemento fijo (diábolo) anclado a la pared de la estructura, del que colgará la regleta graduada con escala creciente en sentido ascendente.

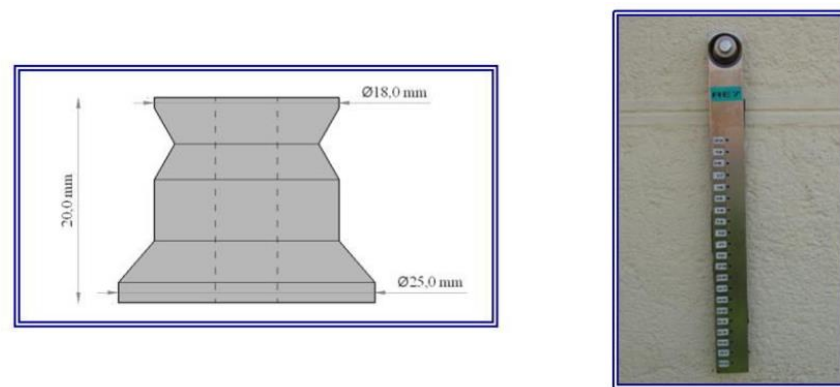


Figura nº 4. Diábolo (izquierda) y regleta (derecha) de nivelación.

• Fisurómetros

Desde antes del inicio de las obras, se creará un archivo general donde se actualice permanentemente el historial de cada grieta o fisura desde el comienzo de la obra hasta la recepción final de la misma. En el historial de cada grieta debe figurar: la fecha que se

observó por vez primera, una clasificación individual de la grieta, la representación de la grieta en la fotocopia sacada de la fotografía que debe hacerse, la separación de los labios de la grieta, la variación con el tiempo del aumento de longitud, etc.

4.2. Ramales ejecutados con Método Madrid

En el interior del túnel, solo se dispondrán de secciones de convergencia.

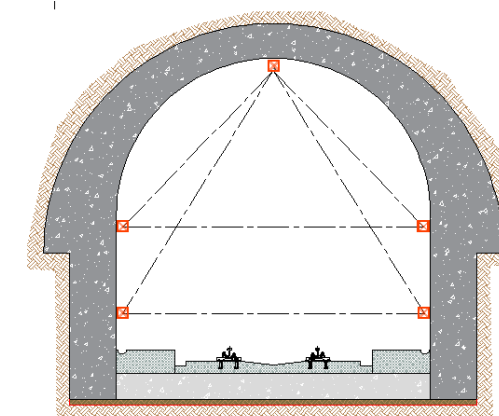


Figura nº 5. Colocación de prismas en sección de túnel en mina para medida de convergencias

En principio, únicamente se colocarán en superficie hitos de nivelación sobre la clave del ramal de conexión L11-L8.

4.3. Auscultación de túneles existentes

En todos los túneles de metro existentes, en la zona situada sobre el túnel de línea, y al menos en 10 m a cada lado del mismo, se colocarán los siguientes elementos:

- Electroniveles, situados en uno de los hastiales y montados en tramos rígidos de 3 m, en una longitud total de 120 m, 60 a cada lado del punto de cruce con el eje.
- Miniprismas para medición de convergencias (6 secciones centradas con el eje de cruce del túnel proyectado separadas entre sí 20 metros para control de convergencias). Cada sección se compondrá de 5 prismas: 4 en hastiales y 1 en clave.
- Nivelación de vía en túneles ferroviarios cada 20 m en cada hilo, referidas a un punto alejado de la traza.

4.4. Auscultación de movimientos y subsidencias en carreteras y ferrocarril

Se dispondrán secciones de control específicas (bien completas o bien de control de subsidencias) en el cruce del trazado con las carreteras y autovías, así como en el cruce con la

línea de ferrocarril, para el control de asientos y movimientos horizontales que puedan afectar a estas infraestructuras.

5. INSTRUMENTACIÓN A DISPONER EN ESTACIONES

Se instrumentará 1 sección en cada estación. Además se instalarán secciones de convergencia o medida de desplazamientos horizontales, (unos 5 clavos de referencia en cada pantalla) separadas un máximo de 30 m, debiendo una de ellas coincidir con la sección tipo de cada estación.

Instrumentos en sección:

- Hitos de nivelación (6, 3 a cada lado de la estación)
- Piezómetros de cuerda vibrante (2 por estación).

Instrumentos en estructura de estación:

- Inclínometro (2) con instalación directa de la tubería inclinométrica en la armadura de la pantalla)
- Miniprismas de convergencia (9)
- Punto de centralización en armario estanco con centralización por sensor

Auscultación en edificios situados en la banda de afección por las excavaciones (ZOI):

- Puntos de control X, Y, Z
- Regletas de nivelación

6. INSTRUMENTACIÓN A DISPONER EN POZOS

Los pozos Interestación se instrumentarán con los siguientes elementos:

- Base de referencia topográfica de nivelación (1)
- Hitos de nivelación (12)
- Inclínometro (2) con instalación directa de la tubería inclinométrica en la armadura de la pantalla.
- Miniprismas de convergencia (número según profundidad del pozo)
- Extensímetro de cuerda vibrante (18) instalados en la losa de fondo
- Punto de centralización en armario estanco

7. FRECUENCIA DE LECTURAS

7.1. Estaciones

La toma de lecturas comenzará cuando se inicie la ejecución de las pantallas y finalizará dos semanas después de que se realice el último vaciado.

7.2. Túnel ejecutado con Método Belga o Madrid

Comenzarán a realizarse medidas de los sensores instalados cuando el frente de excavación se encuentre a una distancia de -50 metros, tomándose una primera lectura distinta de cero, y se finalizará la toma de lecturas cuando el frente se aleje +25 metros. A medida que el frente se acerque, se incrementará la frecuencia, alcanzándose la mayor intensidad cuando la sección de control esté situada justo en el frente de excavación.

Tabla nº 10. Frecuencia de lecturas. Túneles ejecutados con método Belga

DISTANCIA DESDE EL FRENTE DEL TÚNEL (m)	NIVEL DE RIESGO		
	VERDE	ÁMBAR	ROJO
Entre (- 50, -25) y (+10. +25)	lectura semanal, excepto piezómetros quincenal	2 lecturas semanales, excepto piezómetros semanal	3 lecturas semanales, excepto piezómetros 2 lecturas semanales.
Entre (- 25,- 10)	2 lecturas semanales, excepto piezómetros quincenal	2 lecturas semanales, excepto piezómetros semanal	Diaria
Entre (- 10) y (0,10)	2 lecturas semanales, excepto piezómetros semanal	3 lecturas semanales, excepto piezómetros 2 semanal.	Diaria

Una vez completada la zona se realizará una lectura quincenal durante el primer mes y una lectura mensual de vigilancia hasta su completa estabilización (esto es, cuatro medidas consecutivas con una variación inferior a 2 mm o una velocidad inferior a 0.13 mm/día)

7.3. Túnel con tuneladora

Inicialmente, y sin perjuicio de que puedan introducirse modificaciones a la vista de la evolución de las magnitudes registrada o los parámetros que de ellas puedan deducirse, o para zonas singulares, se establecen de modo general los siguientes criterios de lectura de los dispositivos de auscultación según la distancia al frente y el nivel de riesgo en el túnel excavado con tuneladora:

Tabla nº 11. Frecuencia de lecturas. Túnel ejecutado con tuneladora

ZONA	DISTANCIA DESDE EL FRENTE DEL TÚNEL (m)	NIVEL DE RIESGO		
		VERDE	AMBAR	ROJO
1	Entre (- 300, -200) y (+100, +200)	lectura semanal, excepto piezómetros quincenal	2 lecturas semanales, excepto piezómetros semanal	3 lecturas semanales, excepto piezómetros 2 lecturas semanales.
2	Entre (- 200,- 100) y (+50, +100)	2 lecturas semanales, excepto piezómetros quincenal	3 lecturas semanales, excepto Piezómetros semanal	Diaria
3	Entre (- 100 , +50)	3 lecturas semanales, excepto piezómetros semanal	Diaria, excepto piezómetros 2 lecturas semanales.	Diaria

En la instrumentación general, 1 lectura "cero" que se tomará como referencia para las siguientes tan pronto como se complete la instalación necesaria para la realización de la lectura.

Para los dispositivos situados en una zona terminada, se realizará una lectura quincenal durante el primer mes una vez completada la sección situada a más de 50 m de distancia y una lectura mensual en los 2 meses siguientes si se comprueba la estabilidad de los registros..

Se procurará, en la medida de lo posible, ajustar el momento de realización de las lecturas, de acuerdo con las frecuencias establecidas, con el momento en que se alcanzan puntos singulares del proceso constructivo (p.e. cuando el frente se sitúe en la vertical de la sección de control, en excavación al amparo de muros pantalla cada 2 m de rebaje, en de tratamientos de terreno en función de las zonas de influencia de las sesiones de inyección).

En cualquier caso, la frecuencia de lecturas podrá ser modificada en función de los resultados obtenidos, de la evolución de los registros o de la superación de los umbrales de control que se establecen en el siguiente apartado.

8. CONTROL DE UMBRALES. PROTOCOLO DE ACTUACIÓN

Los procedimientos a poner en marcha en correspondencia con los niveles de alerta o niveles de control establecidos serán los siguientes:

- Nivel VERDE:
 - Continuar con la frecuencia establecida en el Plan de Auscultación.
- Nivel ÁMBAR:
 - Incremento de la frecuencia de lecturas y evaluación de la situación a partir de la magnitud o velocidad de evolución del parámetro registrado

- Inspección visual somera
- Revisión del proceso constructivo
- Introducción de medidas correctoras o de refuerzo
 - Nivel de ROJO:
- Análisis de la situación
- Colocación de Instrumentación complementaria si es preciso
- Revisión del proceso constructivo
- Introducción de medidas correctoras o de refuerzo

Estas acciones deben ser desarrolladas e incluidas en el Proyecto de Instrumentación y Auscultación del Contratista.