

Ampliación de la Línea 8 del Metro de Madrid

Jesús M. Trabada Guijarro
 Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Jefe de Servicio de la Comunidad de Madrid

RESUMEN

El presente artículo explica la necesidad de construir la Ampliación de la Línea 8 del Metro de Madrid, se describe su trazado y se hace una reseña de los métodos constructivos que se están empleando en su ejecución.

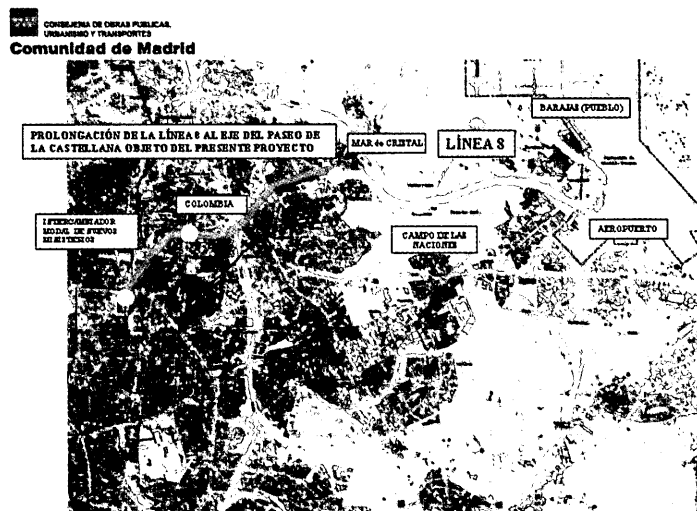
ABSTRACT

This article explains the reasons behind the extension to Line 8 of the Madrid Metro, describing its route and the construction methods that are being employed.

ANTECEDENTES

La Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes de la Comunidad de Madrid, junto con el Área de Estudios y Planificación del Consorcio Regional de Transportes de Madrid, durante los últimos años, han analizado detalladamente la problemática del acceso al Aeropuerto de Madrid-Barajas.

Una vez consideradas todas las diferentes posibilidades y teniendo en cuenta la facilidad de conexión por Metro al Aeropuerto utilizando el actual ramal Mar de Cristal - Recintos Feriales - Aeropuerto, la Comunidad de Madrid decidió que el acceso al Aeropuerto se hiciera a través de la red de Metro de Madrid prolongando la Línea 8 desde la estación de Mar de Cristal al



PROLONGACIÓN LÍNEA 8. MAR de CRISTAL - NUEVOS MINISTERIOS

eje del Paseo de la Castellana.

El proyecto de Prolongación de la Línea 8 del Metro de Madrid, actualmente en fase de ejecución, además de contemplar el trazado de un nuevo tramo que una la citada estación de Mar de Cristal con la zona de Nuevos Ministerios, en donde se realizan conexiones con la red de Metro (líneas 6 y 10) y cercanías de RENFE, incluye un intercambio con la Línea 9 en la actual estación de Colombia.

En la zona de Nuevos Ministerios el proyecto contempla la construcción de un nuevo Intercambiador Modal, que además de permitir la conexión con las líneas existentes en la zona (L-6, L-10 y cercanías de RENFE) mediante la construcción de un vestíbulo común, en el

PRINCIPALES UNIDADES DE OBRA

	Excavación m ³	Hormigones m ³	Acero kg	Pantallas m ²	Pilotes ml
Túneles	365.559	43.071			
Pozos	73.967	8.133	2.628.470	12.474	4.926
Nuevos Ministerios	304.461	23.911	7.495.193	10.549	3.451
Colombia	138.293	18.041	3.367.945	9.098	3.088
Total	882.280	93.156	13.491.608	32.121	11.465

daciones emitidas por la Comunidad de Madrid para el conjunto de las actuaciones incluidas en el actual Plan de Expansión del Metro de Madrid para el periodo 2000-2003. A los criterios de diseño estructural, seguridad, fiabilidad y economía de aplicación habitual en este tipo de proyectos, se han añadido los de disminución de los plazos de ejecución y minimización de las afecciones, en especial las provocadas al tráfico de vehículos y de peatones.

cual se ha prestado especial atención al diseño arquitectónico con soluciones claras y atractivas para el usuario, incluye la creación de un fondo de saco que permite efectuar la inversión de marcha y el estacionamiento de trenes. Además se contempla la construcción de un aparcamiento para taxis (con una capacidad entorno a 130 vehículos), la incorporación de una zona de facturación de maletas y obtención de tarjeta de embarque (se han previsto 26 mostradores) y la mejora de los accesos actualmente existentes, amén de la creación de nuevas accesos.

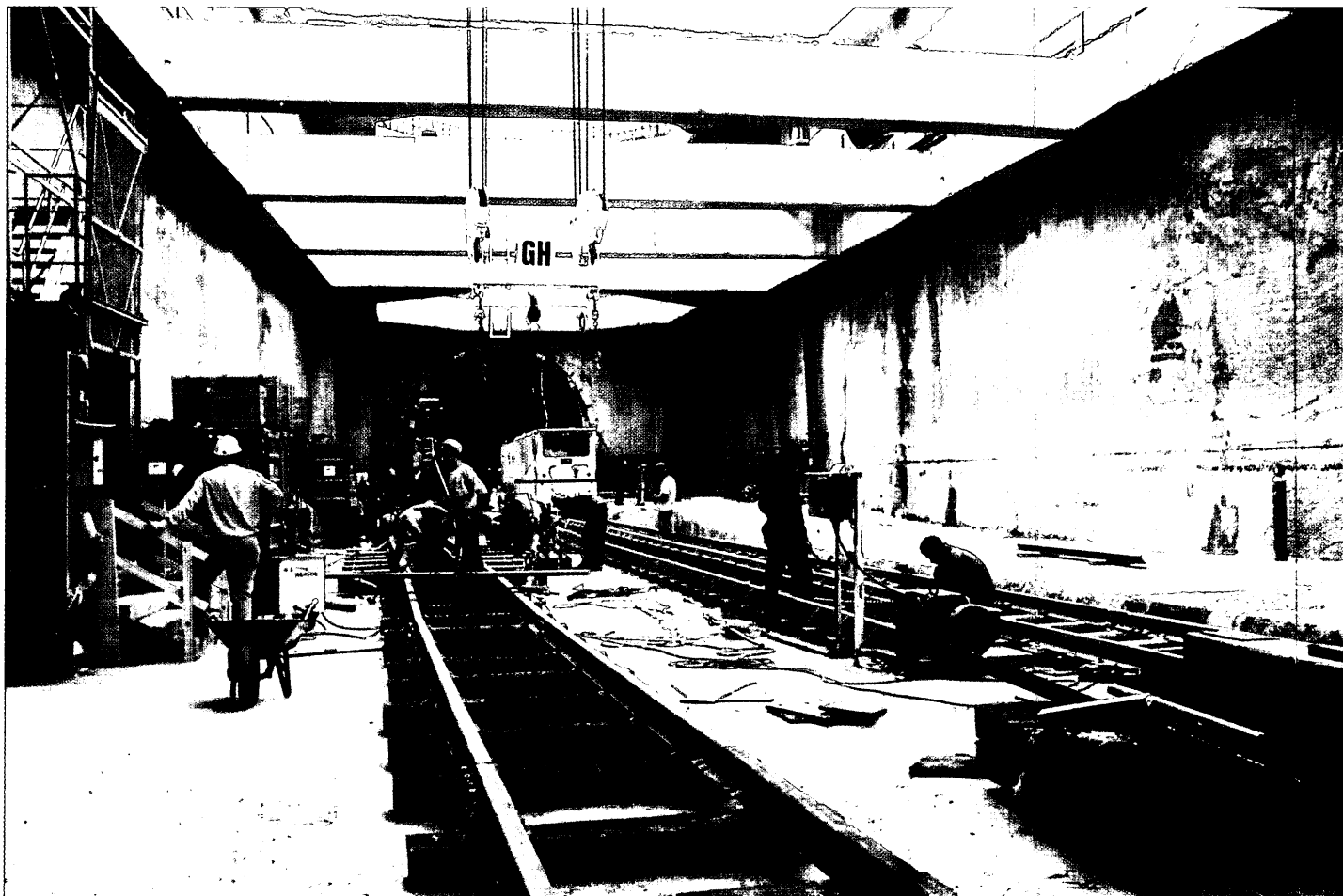
Todas las soluciones constructivas adoptadas han sido desarrolladas de acuerdo al conjunto de directrices y recomen-

ción y minimización de las afecciones, en especial las provocadas al tráfico de vehículos y de peatones.

DESCRIPCIÓN

Túnel de línea

El pozo de introducción de la tuneladora, situado junto a la estación de Mar de Cristal es el origen del túnel de línea y de la conexión con el fondo de saco existente, construido en la anterior ampliación de Metro. Esta conexión, de aproximada-



mente 130 m, se realizará mediante excavación manual por el método tradicional de Madrid.

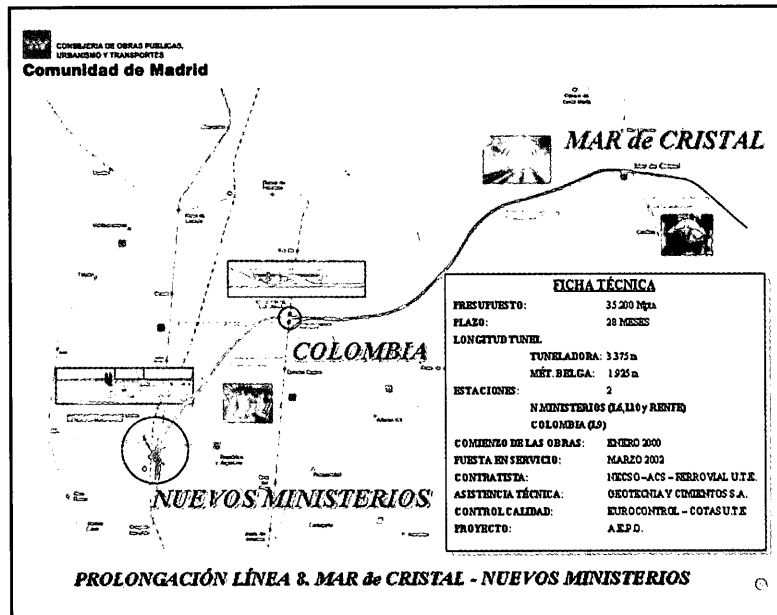
El pozo tiene 75 m de longitud y 18 m de ancho, con una profundidad de excavación de 23 m. Para su ejecución fue necesaria la construcción de pantallas de hasta 30 m de profundidad. El área realmente construida fue mayor, pues se necesitaron otros 80 m lineales de rampa de salida de camiones.

El tramo construido por tuneladora se prolonga desde el p.k. 0+215 hasta el p.k.3+584, punto donde comienzan las pantallas del pozo de extracción del escudo, emplazado en la calle Colombia.

La planta transcurre por las alineaciones de la Gran Vía de Hortaleza, López de Hoyos y Pablo Vidal, atravesando la M-30 y un conjunto residencial en la Avda Aster y Avda Alfonso XII, hasta encajar en la alineación de la calle Colombia.

El perfil longitudinal del trazado se mantiene en este tramo a una profundidad media de 15 metros (1,5 veces el diámetro de excavación) paralelo a la superficie, hasta la llegada a la vaguada de la M-30, donde el recubrimiento desciende sensiblemente hasta espesores menores de un diámetro. La rampa máxima es del 3%, ubicada precisamente en el tramo de arranque de la tuneladora.

En las inmediaciones de la estación de Colombia se construye el pozo de extracción. Las limitaciones de espacio y plazo han obligado a un ligero desplazamiento en la ubicación del pozo respecto de la estación. Siendo necesario, por tanto, la construcción de un tramo de túnel de 55 m, que se ejecutará mediante el método tradicional de Madrid. Asimismo el pozo de extracción se ha diseñado como telescopio de salida del ramal que conectará la nueva línea 8 con la existente línea 9. El ramal es de vía única y



también se ejecutará mediante el método tradicional de Madrid.

El tramo desde la estación de Colombia hasta el final de obra en Nuevos Ministerios, tiene una longitud de 1.778 m y también se realizará con excavación manual. La traza baja por la calle Potosí y el Paseo de la Habana hasta el encuentro con el Intercambiador Modal de Nuevos Ministerios.

Este tramo se acomete desde tres pozos, con 6 frentes de trabajo. Estos pozos se han hecho coincidir con dos salidas de

emergencia (p.k 4+280 y 5+111) y un pozo de ventilación (p.k. 4+781) previstos en proyecto.

El tramo tiene una pendiente máxima del 3% a la salida de la estación de Colombia, obligado por el terreno natural que desciende hasta la vaguada de la Castellana. Los recubrimientos oscilan entre los 10 m y los 20 m. Sólo en la parte final se obtienen recubrimientos menores al diámetro de excavación (precisamente en la zona de aluvial de la Castellana, ver Geotecnia).

Es de destacar que el diseño de radios y pendientes se ha realizado para permitir desarrollar velocidades de 120 km/h, (de manera excepcional se ha permitido un R=250 m en la curva de entrada a la estación de Nuevos Ministerios).

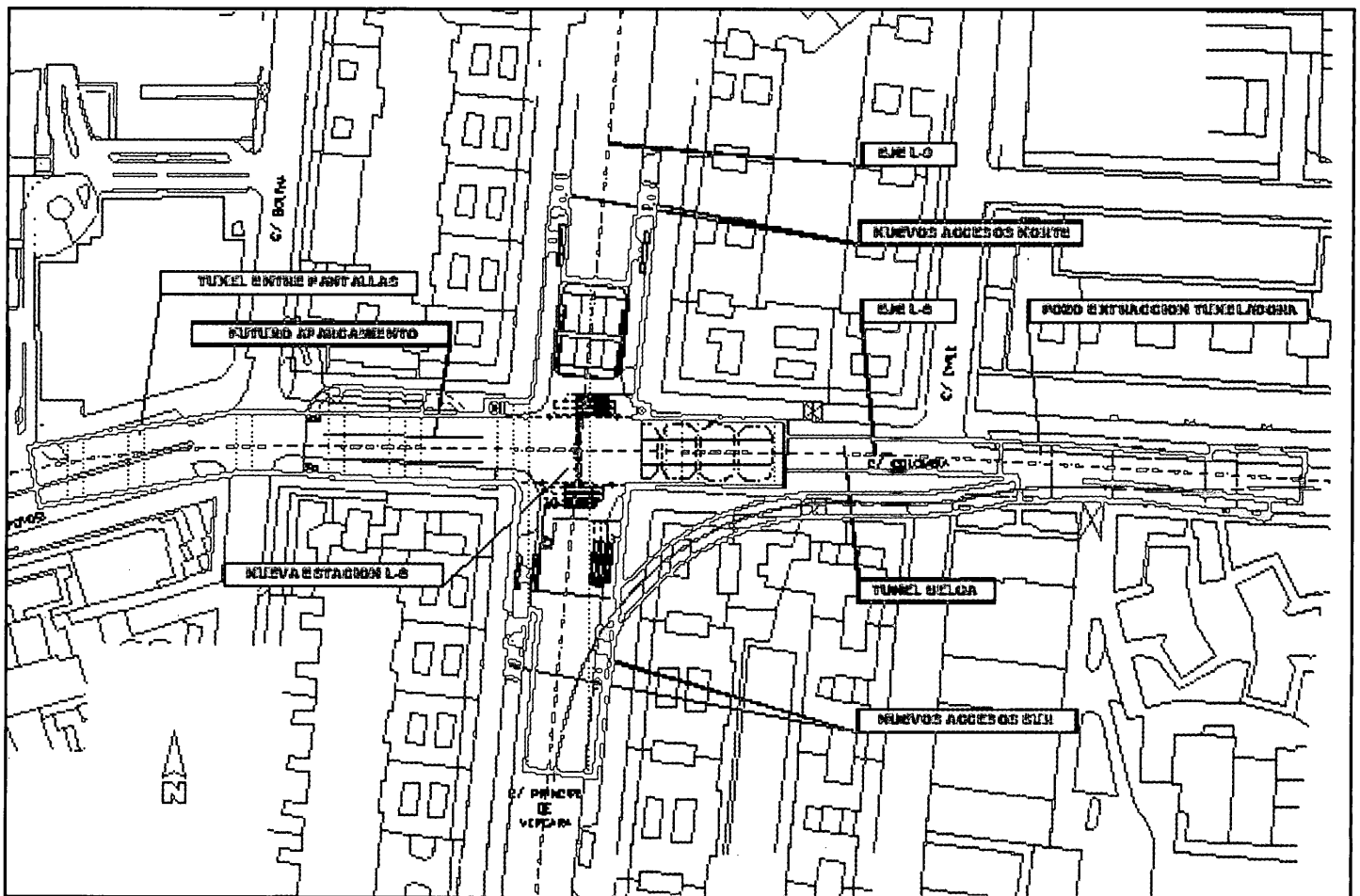
Con los criterios de diseño adoptados se podrá realizar el desplazamiento entre el Intercambiador de Nuevos Ministerios y el Aeropuerto en un tiempo ligeramente inferior a los 15 minutos.

Además de los pozos mencionados anteriormente, a lo largo de la traza se han dispuesto los siguientes:

- ▼ Salidas de emergencia (p.k. 1+041, 1+738, 2+590)
- ▼ Pozo de ventilación (p.k. 1+644)
- ▼ Pozo de bombeo (p.k 2+784)

PRINCIPALES DATOS DE OBRA

	MEDICIÓN	PRESUPUESTO
LONGITUD TUNEL		
m en mina		
Línea 8	1.961	3.764.333.568
Conex. L-9	224	263.617.607
Conex. L-6	208	274.927.907
m entre pantallas	76	216.555.399
m tuneladora	3.378	6.899.668.369
ESTACIONES		
Intercambiador Modal Nuevos Ministerios	1	9.951.607.145
Estación de Colombia		3.207.034.537
POZOS		
Ventilación	2	261.420.417
Salidas emergencia	5	464.722.088
Introduc. Tuneladora	1	958.324.163
Extracción Tuneladora	1	493.551.173
VARIOS		8.482.353.062
PRESUPUESTO TOTAL		36.238.115.434



Estación de Colombia.

ESTACIONES

Estación de Colombia

La nueva estación de Colombia se localiza en la confluencia de la calle Príncipe de Vergara con la calle Colombia. En este punto la nueva línea L8 se cruza con la actual línea L9, creándose una nueva estación con un gran vestíbulo común, amplio y homogéneo que albergará todos los accesos, de gran visibilidad entre recorridos y comodidad para el usuario.

La estación se realizará mediante pantallas y/o pilotes, construyéndose una vez finalizadas éstas la losa de cubierta con el fin de perturbar el tráfico de vehículos y peatones el menor tiempo posible.

Constará de accesos desde los cuatro lados de la estación, resueltos con escaleras mecánicas de subida y fijas de bajada, de manera que el viajero tenga el menor recorrido posible sin escaleras mecánicas. Para personas de movilidad reducida se crearán accesos mediante ascensores, tanto hacia el vestíbulo común como a los cuatro andenes. Todos estos accesos permitirán que toda circulación y combinación posi-

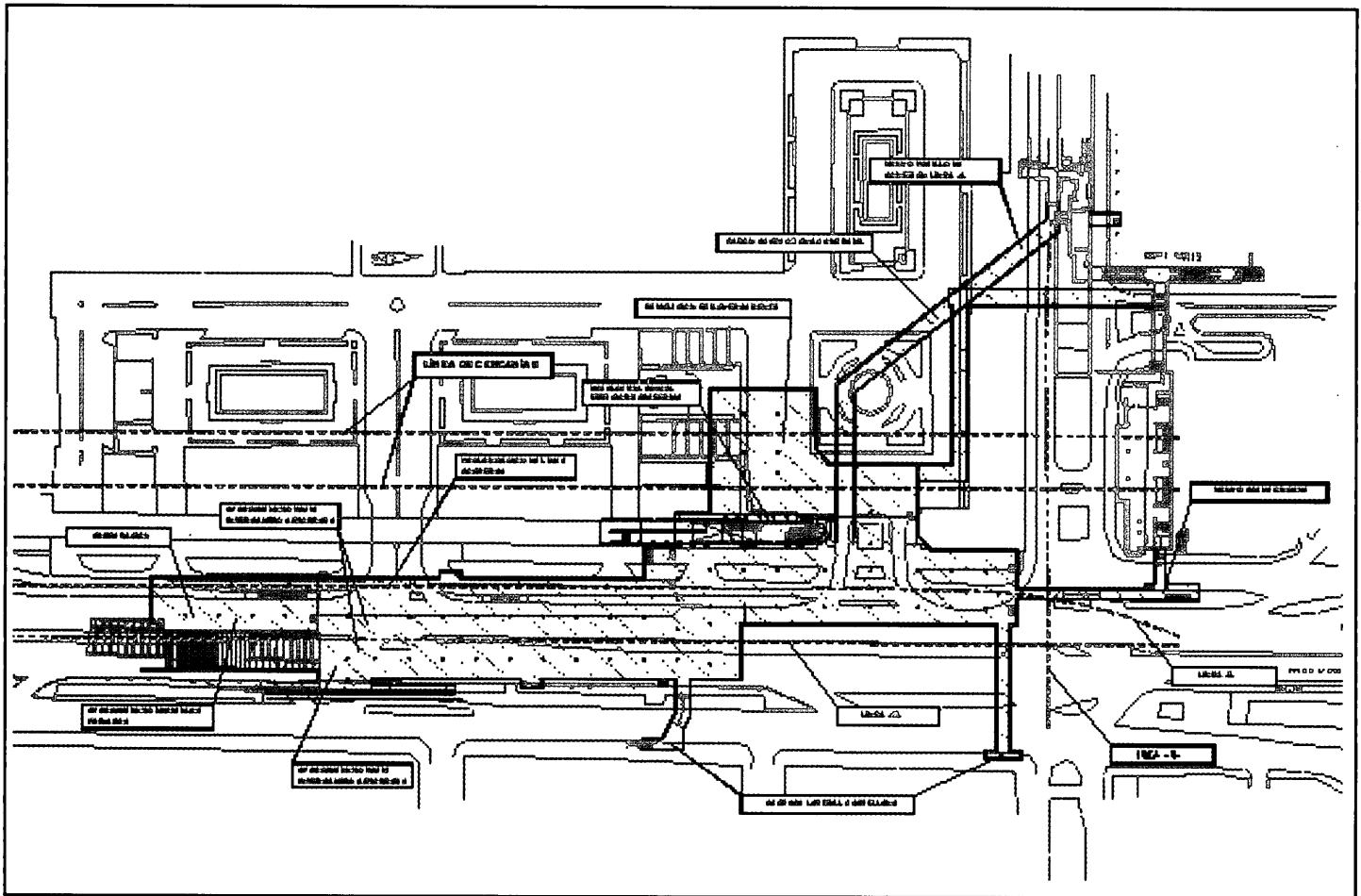
ble dentro de la estación se realice sin grandes recorridos que impidan o dificulten la búsqueda del andén o elemento requerido.

La incorporación de la actual línea L9 a la nueva estación hace preciso el corte temporal de dicha línea, momento en el que se procederá al rebaje de antigua bóveda de la estación con el desmantelamiento de la misma. Así mismo será repondrán una serie de instalaciones de la línea L9 afectadas, como son un nuevo centro de transformación, incluyendo sus instalaciones y un nuevo cuarto de enclavamientos.

La nueva estación incluirá un ramal de conexión entre la L8 y la L9, ejecutado por el método tradicional de Madrid, y un tramo de túnel de la L8 entre pantallas con dos losas que constituirán los ándenes de dicha L8.

Intercambiador Modal de Nuevos Ministerios

El nuevo Intercambiador Modal de Nuevos Ministerios se sitúa bajo el Paseo de la Castellana, en el tramo comprendido entre el cruce de ésta con la calle Raimundo Fernández Villaverde y la plaza de San Juan de la Cruz.



Intercambiador modal de Nuevos ministerios.

En el diseño del intercambiador se han aplicado los criterios habituales de funcionalidad (minimización de recorridos y estación lo más somera posible), claridad de recorridos (estaciones diáfanos con espacios despejados con la máxima luz natural posible), buscando la comodidad del usuario. Estos criterios adquieren una especial consideración en el Intercambiador Modal de Nuevos Ministerios, llamada a convertirse en una obra emblemática dentro del conjunto de la ampliación de Metro por lo que supone de puerta de entrada con su conexión al aeropuerto. Las dificultades técnicas que se han planteado al encajar la nueva construcción con la estación

existente, sin provocar cortes de servicio ni de tráfico rodado en superficie, y la complejidad de algunas de las actuaciones hacen de esta obra uno de los retos más atractivos a los que se ha enfrentado la Comunidad de Madrid.

En el intercambiador se delimitarán las siguientes áreas funcionales:

- ▼ En la parte sur se ha previsto un aparcamiento subterráneo de taxis (con capacidad para 130 taxis) y un parking público (con capacidad para 160 plazas).
- ▼ A continuación se ubicará la zona de facturación (26 mostradores)
- ▼ El vestíbulo principal y la zona de accesos y distribución.

COMUNIDAD DE MADRID
 GOBIERNO DE LAS ILIAS
 PREVISIÓN Y TRANSPORTES
Comunidad de Madrid



PROLONGACIÓN LÍNEA 8. MAR de CRYSTAL - NUEVOS MINISTERIOS

▼ Una galería de conexión entre las líneas existentes L6 y L10, y otra de acceso al centro comercial próximo, dotadas ambas de pasillos rodantes.

▼ Creación de nuevos accesos desde el paseo de la Castellana.

Se ha empleado el sistema de pantallas para la construcción del nuevo recinto perimetral. Los accesos se han construido con pozos de pilotes y excavación manual para las galerías. En la zona de facturación y vestíbulo la estructura se soporta con pilas-pilote de 2 m de diámetro separadas alrededor de 11 m.

Como hecho significativo está la necesidad de cortar parte de las bóvedas de la actual estación de RENFE, para poder obtener el gálibo necesario en el vestíbulo principal, todo ello manteniendo el tráfico ferroviario. Para realizar esta operación se ha previsto el empleo de una estructura metálica que pueda soportar el peso de las bóvedas actuales, que permita el corte de las mismas y al mismo tiempo sirva de soporte a la losa de cubierta y a la losa de vestíbulo. Para la realización de todas estas operaciones solamente se disponen de tres horas de trabajo diarias por las noches, dado que así lo exige la circulación de trenes por las vías actuales.

CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO

Los terrenos por los que atraviesa la línea pertenecen a las formaciones típicas de Madrid. El trazado transcurre, desde la salida del Pozo de Mar de Cristal, durante sus primeros 200 metros, sobre un estrato de tosco arenoso con alguna intercalación muy puntual de tosco, que abarca la mitad inferior de la sección. En la mitad superior de la sección del túnel, se presenta arena de miga con dos pequeños niveles freáticos colgados, uno de los cuales aporta una pequeña carga artesiana en torno al medio metro.

A medida que la rasante del túnel sube, la traza se adentra en la arena de miga, encontrándose un nivel freático a media altura que satura por completo la misma en la parte inicial del ascenso. Se mantiene este frente hasta el P.K. 0+800, momento en que la rasante pasa a ser horizontal, y se continúa con una litología más o menos constante de arena de miga con intercalaciones de arena tosquiza, que aparecen principalmente en la zona de clave y en la mitad de la sección, hasta el P.K. 1+340. La excavación se realizará en seco.

A partir de este punto, el túnel entra en materiales fundamentalmente de arena tosquiza con presencia de un estrato intercalado de tosco que se desarrolla a lo largo de 400 metros y se pierde por descenso ligero de la pendiente, que así mismo facilita también la presencia, en algún punto de solera de la sección, de la arena de miga existente en el estrato subyacente. Dentro de este tramo el agua subterránea aparecerá en forma de niveles freáticos colgados de ligera afluencia de agua al túnel.

Estas litologías se mantienen hasta el P.K. 2+500, inicio del cruce bajo la M-30, momento en que la pendiente se pronuncia provocando una mayor presencia de arena de miga. Esta arena de miga tiene intercalaciones de arena tosquiza cuya presencia es más importante principalmente bajo el cruce de la M-30 y, a partir del P.K. 3+100, a lo largo de 250 metros. La presencia de agua subterránea afecta directamente bajo el cruce de la M-30, dado que se intercepta un acuífero confinado con carga artesiana algo superior a un metro.

Desde este punto hasta el P.K. 4+100, tramo que comprende de la estación de Colombia, se generaliza la presencia de arena de miga a lo largo de la traza, con alguna capa puntual con cierta continuidad lateral de arena tosquiza. Este tramo comprende la cota máxima de la traza. La presencia de agua no se supone excesivamente importante dada la naturaleza de los pocos niveles encontrados.

A lo largo del siguiente tramo, hasta casi la entrada del Intercambiador Modal de Nuevos Ministerios, el túnel va descendiendo ligeramente, encajándose en los materiales de naturaleza tosquizo-arenosos subyacentes. A partir del P.K. 4+450, la pendiente se suaviza, siguiendo la capa de esta naturaleza hasta la entrada del Intercambiador, momento en que vuelve a aparecer, en zona de clave, la arena de miga. A lo largo de este tramo, la presencia de agua en el túnel, dada la baja permeabilidad de los materiales, se realizará en forma de rezumes y filtraciones moderadas, excepto en zona de arenas donde los aportes podrían ser mayores.

PROCESO CONSTRUCTIVO

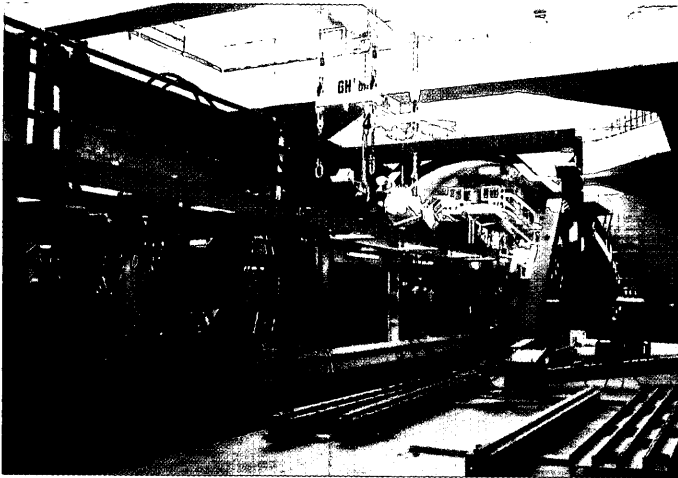
Túnel de línea

El presente proyecto contempla la construcción del túnel de línea por dos procedimientos, ejecutados simultáneamente para garantizar el plazo de ejecución:

▼ Un primer tramo de 3,4 km mediante el empleo de Escudo de Presión de Tierras (EPB) de 9.44 m de diámetro, de la casa Herrennekt, entre Mar de Cristal, donde se ubica el pozo de introducción del EPB y las proximidades de la estación de Colombia, donde se sitúa el pozo de extracción del mismo.

▼ Un segundo tramo de 1.9 km que va desde la salida de dicha estación de Colombia hasta el Intercambiador Modal de Nuevos Ministerios, ejecutado por el método tradicional de Madrid, con tres pozos de ataque localizados en la Plaza de Quito, la Plaza de Sagrados Corazones y en el Paseo de la Habana en su confluencia con la calle Herreros de Tejada.

Las causas que motivan la utilización de ambos procedimientos se pueden resumir en:



▼ El empleo del escudo para la realización de todo el túnel hubiera supuesto un amplio espacio de tiempo de corte de tráfico viario en Príncipe Vergara, para realizar, por una parte, el corte de la bóveda de la estación actual que permitiera el paso de la tuneladora, y por otra, el recinto apantallado propio de la estación de la Línea 8. Asimismo hubiera supuesto la construcción del pozo de extracción del escudo en la intersección del Paseo de la Castellana con el Paseo de la Habana, zona de fuerte incidencia de tráfico viario.

▼ Como se ha comentado anteriormente esta obra se incluye dentro del Plan de Expansión del Metro de Madrid para el periodo 2000-2003. Por necesidades de operación de las tuneladoras existentes implica la pronta salida de la empleada en esta obra para acometer un nuevo tramo dentro del Plan Metrosur, de acuerdo con la optimización de recursos planeada por la Dirección General de Infraestructuras del Transporte de la Comunidad de Madrid.

ESTACIONES

Estación de Colombia

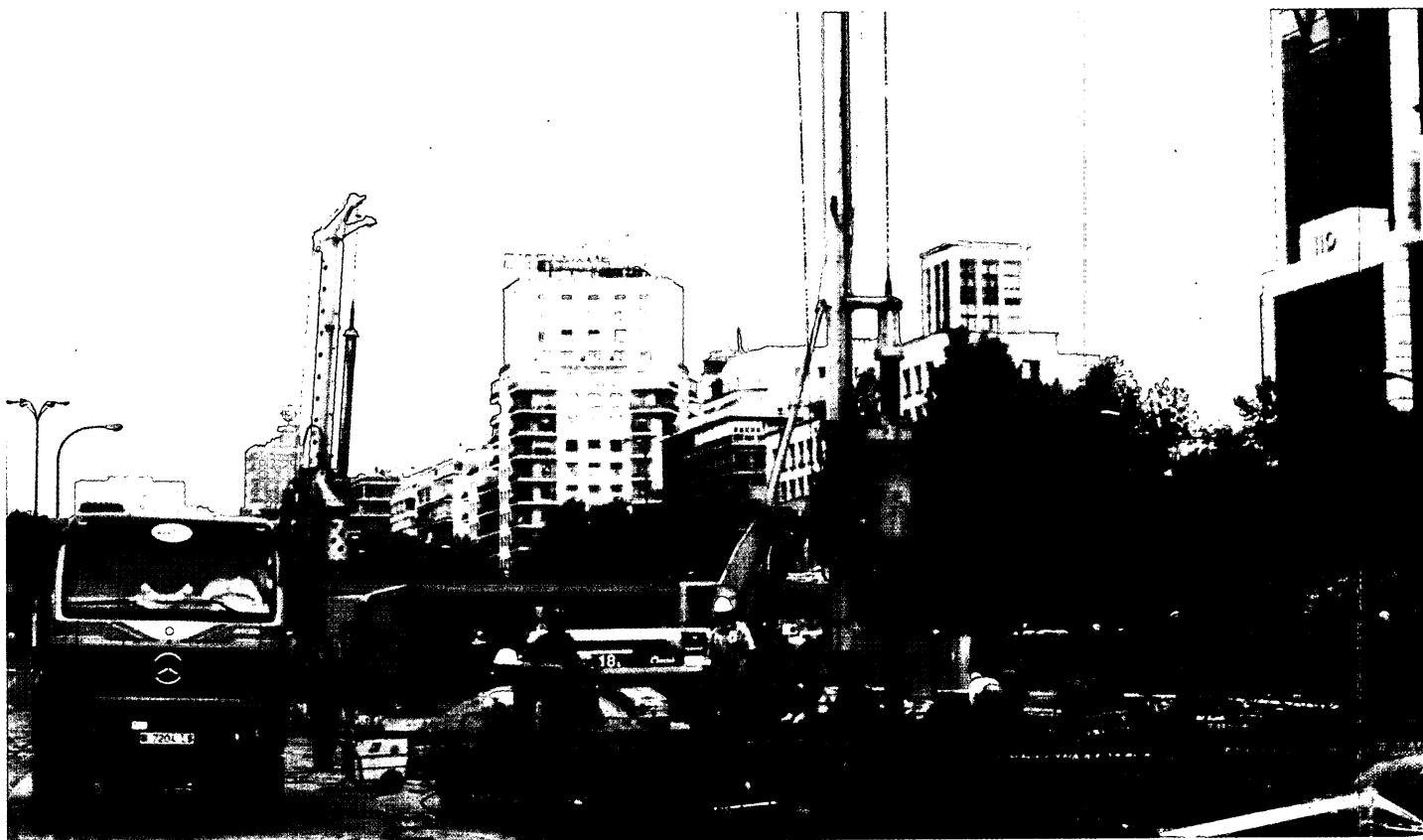
El proceso de ejecución planeado para la construcción de la estación de Colombia se puede resumir en las siguientes actividades:

FASE 1

- ▼ Desvío de servicios afectados (Electricidad, Gas, Agua, Saneamiento, Telefónica, Árboles, etc) y del tráfico en calles Príncipe de Vergara y Colombia (Zona Este).
- ▼ Ejecución de muros guía y realización de pantallas y/o pilotes, amorterado cañones y retirada vigas prefabricadas de la actual estación.
- ▼ Descabezado de pantallas y/o pilotes y excavación hasta cota inferior de losa
- ▼ Construcción de losas (hormigonado, impermeabilización y aglomerado) en calles Príncipe de Vergara y Colombia (Zona Este). Preparación del desvío de tráfico fase 2

FASE 2

- ▼ Desvío de servicios afectados y del tráfico en calles Príncipe de Vergara y Colombia-Potosí (Zona Oeste).
- ▼ Ejecución de muros guía y realización de pantallas y/o pilotes.
- ▼ Descabezado de pantallas y/o pilotes y excavación hasta cota inferior de losa
- ▼ Construcción de losas (hormigonado, impermeabilización y aglomerado) en calles Príncipe de Vergara y Colombia-Potosí (Zona Oeste).



- ▼ Ejecución por el método tradicional de Madrid del túnel en línea y del túnel de conexión L8-L9
- ▼ Excavación hasta cota inferior de la losa de vestíbulo
- ▼ Construcción de la losa del vestíbulo.
- ▼ Excavación hasta cota inferior de contrabóveda de la L8.
- ▼ Corte de servicio de L9, demolición túnel, bóveda, andenes y hastial de la L9
- ▼ Construcción de forjados, contrabóvedas, andenes y escaleras de las L8 y L9. Fin del corte L9
- ▼ Arquitectura y acabados finales.

Intercambiador Modal de Nuevos Ministerios

El proceso de ejecución planeado para la construcción del Intercambiador Modal de Nuevos Ministerios se puede resumir en las siguientes actividades:

ZONA CASTELLANA

- ▼ Desvío de servicios afectados y del tráfico en el Paseo de la Castellana(Fase 1 en dirección Norte y Fase 2 en dirección Sur)
- ▼ Ejecución de muros guía, realización de pantallas y/o pilotes y pilas-pilote.
- ▼ Descabezado de pantallas y/o pilotes y excavación hasta cota inferior de losa y de rampa de taxis.

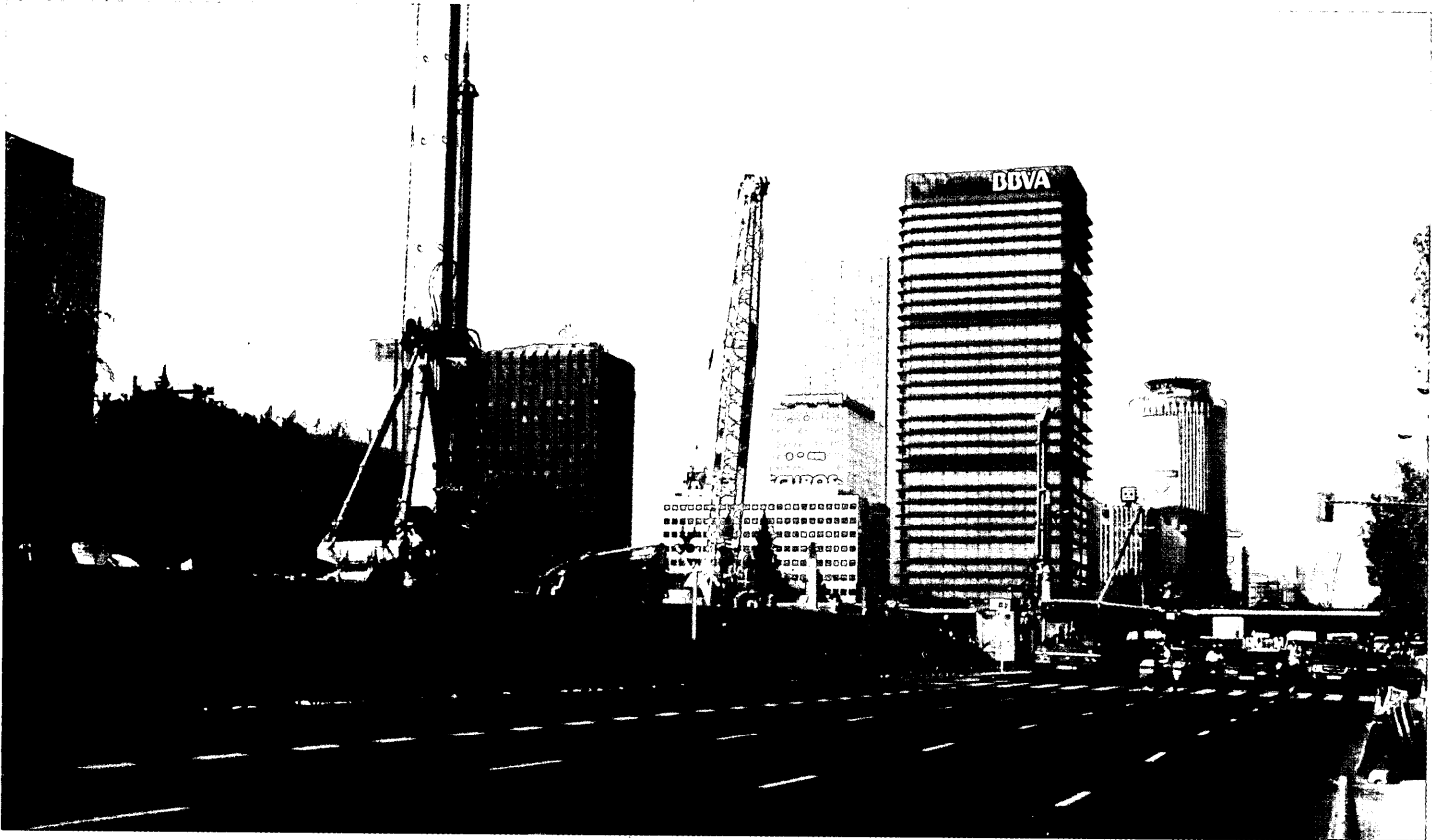
- ▼ Construcción de losa superior (hormigonado, impermeabilización y aglomerado) en Paseo de la Castellana (Fase 1 en dirección Norte y Fase 2 en dirección Sur).
- ▼ Excavación aparcamiento de taxis y cocheras L8
- ▼ Construcción losa de aparcamiento de taxis y cocheras L8.

RECINTO NUEVOS MINISTERIOS

- ▼ Excavación de tierras sobre las bóvedas de la estación de RENFE.
- ▼ Ejecución de muros sobre estación de RENFE
- ▼ Ejecución del acceso Castellana Norte.
- ▼ Cimentación y montaje de la cimbra metálica soporte de las bóvedas de la estación de RENFE.
- ▼ Corte de las bóvedas y demolición de hastiales de la estación de RENFE.
- ▼ Ejecución de pilotes y pilas de la zona del vestíbulo
- ▼ Construcción de la losa del vestíbulo y de cubierta.
- ▼ Desmontaje cimbra metálica soporte de las bóvedas de la estación de RENFE.

RECINTO RENFE

- ▼ Desmontaje de interiores de la estación de RENFE y de la L10.



- ▼ Ejecución por método tradicional de Madrid del pasillo de conexión de la L6 con la L10 y del pasillo de conexión con el Centro comercial.
- ▼ Ejecución de los accesos laterales de la Castellana
- ▼ Corte de la bóveda de la estación L10 y ejecución planta de la estación de la L8.
- ▼ Arquitectura y acabados finales

- ▼ deformaciones transversales en las pantallas
- ▼ presiones y empujes soportados por la estructura construida (dovelas en túnel, pantallas en estaciones)
- ▼ tensiones en elementos estructurales
- ▼ control sónico del hormigón de las pantallas
- ▼ variaciones del nivel freático inducido por las obras

AUSCULTACIÓN

El desarrollo de obras subterráneas en medio urbano supone un importante esfuerzo adicional para minimizar los efectos producidos por la excavación y evitar las afecciones a las estructuras y servicios próximos a la traza del túnel. En ese sentido, en ésta y en el resto de obras pertenecientes a la ampliación de Metro que está acometiendo la Comunidad de Madrid, el seguimiento y control de dichas afecciones se realiza de manera exhaustiva con la elaboración de planes de auscultación que controlan los siguientes aspectos:

- ▼ medida de subsidencias (en superficie y en profundidad)
- ▼ movimientos horizontales del terreno producidos en el entorno del túnel
- ▼ control de movimientos en estructuras colindantes
- ▼ convergencias en túnel de línea

En concreto, la ampliación de la línea 8 tramo Mar de Cristal-Nuevos Ministerios transcurre en medio urbano en el 100% de su recorrido, atravesando una zona de edificación densa de cierta antigüedad, que en algunos casos supera las 10 plantas de altura. Es, por tanto, uno de los tramos más delicados a los que se enfrenta la actual ampliación de la red de Metro de Madrid.

La complejidad de los trabajos a realizar en la estación de Nuevos Ministerios obliga a un incremento de la instrumentación tanto en la bóveda de la estación existente como de las pilas-pilote construidas, mediante control sónico del hormigón y pares de extensómetros de cuerda vibrante, que se acompañan con la recuperación de testigo bajo las pilas.

Además, en el túnel de línea ejecutado con el escudo se disponen seis secciones de control con instrumentación completa de dovela.

A continuación se resume las cifras contempladas en el Plan de Auscultación:



- ▼ 470 hitos de nivelación
- ▼ 70 extensómetros de varilla
- ▼ 625 regletas
- ▼ 72 células de presión
- ▼ 104 extensómetros de cuerda vibrante
- ▼ 32 Inclinómetros
- ▼ 11 piezómetros
- ▼ 3 extensómetros incrementales

TRATAMIENTOS DEL TERRENO

Previamente a la ejecución del túnel, y tras el análisis de las subsidencias previstas en el tramo, se ha contemplado actuar en los puntos en los que se detectó mayor riesgo de subsidencia para los edificios próximos. Los tratamientos que realizados son de dos tipos:

- ▼ inyecciones de jet-grouting
- ▼ inyecciones de compensación

Se consigue de esta forma la consolidación del terreno circundante y detener la cubeta de asentamientos a unos límites admisibles.

Inyecciones de jet-grouting

Se han establecido nueve puntos de actuación, ocho de los cuales se localizan en el tramo de túnel ejecutado mediante método tradicional de Madrid (bajo el Paseo de la Habana). En concreto se podrían destacar estas tres grandes áreas

- ▼ Conexión de la calle Potosí con el Paseo de la Habana
- ▼ Entre la salida de emergencia nº1 (P.K. 5+111) y el pozo de ventilación nº1 (P.K. 4+781)
- ▼ Conexión del Paseo de la Habana con el Paseo de la Castellana.

En el tramo de tuneladora ha sido necesario actuar en el inicio de túnel, en la glorieta de Sandro Pertini, debido a lo somero de la rasante en este punto.

En total se protegieron por este sistema más de 600 m de fachada de edificios, empleándose para tal fin 700 taladros, cuya profundidad de perforación osciló entre los 15 m y los 28 m según los tajos, inyectándose columnas de entre 12 m y 21 m respectivamente.

Durante la ejecución del tratamiento se intensificó el control de los posibles movimientos inducidos por los trabajos, ajustando en su caso los parámetros de inyección. La presión de trabajo se mantuvo en torno a los 400 Kg/cm².

Inyecciones de compensación

Las estructuras afectadas se encuentran sobre la cubeta de subsidencia de la tuneladora en las calles Acebo, Aster, Alfonso XII y Fernán Núñez (entre el P.K.2+720 y el P.K. 3+100, una vez la traza pasa la M-30). En este tramo la profundidad del túnel está alrededor de 15 m, pero la separación entre las cimentaciones y la clave de túnel se reduce en ocasiones a 8 m. El frente de túnel se encuentra dentro de niveles terciarios (arena tosquita y tosco arenoso) pero con cobertera de terciario menor al diámetro de túnel lo que influye decisivamente en la magnitud de los asentamientos previstos.

Las inyecciones de compensación consiguen inducir movimientos controlados en el terreno que compensen los producidos por otras causas. Consiste en efectuar unas taladros horizontales en abanico en los que, por medio de maniguillos se aplicarán las inyecciones. Los trabajos se dividen en un pretratamiento (consolidación y puesta en carga previas) y la inyección selectiva de pequeños volúmenes en cada fase, según las lecturas que se van obteniendo de los sensores de auscultación dispuestos para el control de la inyección.

Para abordar las inyecciones es necesaria la construcción de dos pozos, uno de los cuales coincide con el pozo de bombeo previsto en proyecto (p.k 2+784). ■