

# Adecuación de Gálibo de la Línea 10 del Metro de Madrid

## Una obra diferente

Manuel Herrera Álvarez

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

*Asesor Técnico de la Dirección General de Infraestructuras*

Manuel Arnáiz Ronda

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

*Jefe del Servicio de Ampliación de Metro. Director de las obras del Tramo 2*

### RESUMEN

El presente artículo describe las obras necesarias para adecuar la línea 10 del Metro de Madrid al nuevo material móvil, material 6000, con una mayor capacidad de transporte.

### ABSTRACT

This article describes the work necessary to widen the track gauge on Line 10 of the Madrid Metro to suit the new 6000 category rolling stock which has a greater passenger capacity.

## 1. NECESIDAD DE LA AMPLIACIÓN

La ampliación de gálibo de la línea 10 consiste en la adaptación de la línea para permitir la utilización del material 6000 en lugar de los trenes denominados 2000, actualmente en servicio, para aumentar, con ello, la capacidad de la línea. Es este un proyecto desde antiguo acariciado por la Comunidad de Madrid. La conclusión del intercambiador de Príncipe Pío facilitó, en su día, la transferencia de usuarios entre líneas 6 y 10, potenciando ambas líneas. Las obras de conexión y prolongación de las líneas 8 y 10, trajo como consecuencia un aumento de la demanda de la línea 10. Finalmente, la decisión de que sea la línea 10 la que se prolongue hasta Metrosur y sea la vía de entrada de los usuarios de los municipios de Alcorcón, Móstoles, Fuenlabrada, Getafe y Leganés en la capital hace inevitable este aumento de capacidad.

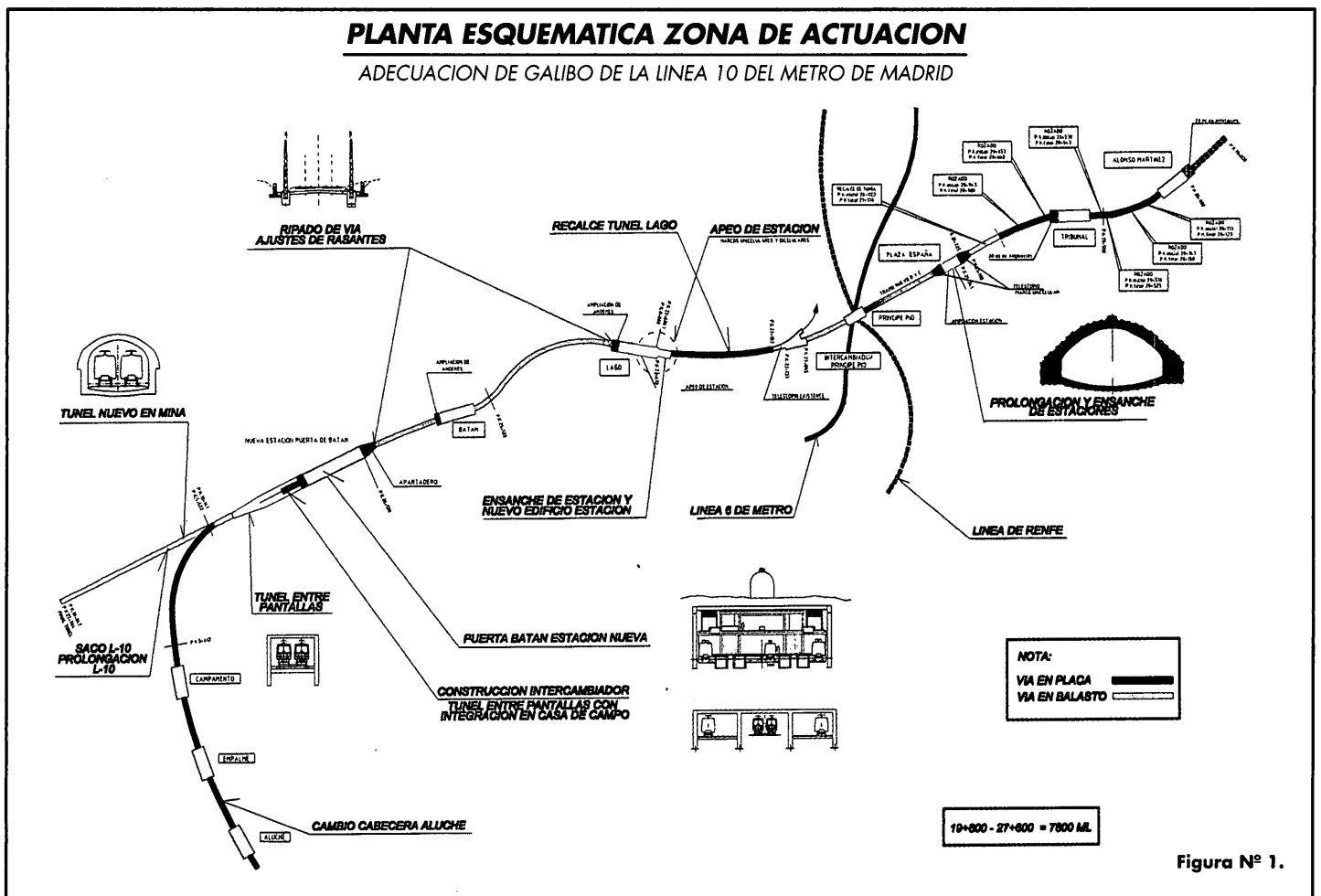
En la línea 10 circulan trenes del material de Metro denominado 2000. Estos trenes se forman con 6 coches con 2.30 metros de anchura y longitud total 88.32, para lo que se necesitaban andenes de 90 metros. Las obras de ampliación de gálibo consisten en la realización de los trabajos necesarios: amplia-

ción de túneles, ampliación de estaciones, modificación de la superestructura. etc., para permitir el paso del material 6000, de modo que circulen nuevos trenes constituidos también por 6 coches, con una longitud total de 108,06 m y 2,80 m de anchura. La longitud de los andenes habrá de pasar a 111,60 metros. Se consigue, con esta ampliación, aparte otras mejoras que permitan un aumento de frecuencias de los trenes, un aumento de la capacidad de la línea del 63%.

El objetivo de esta obra, como ya se apuntaba, es también adaptar la línea 10 para su conexión con el Metrosur, para ello, como parte de este proyecto, está en construcción una nueva estación, la de Puerta de Batán, entre las de Campamento y Batán, que pasará a ser la estación de intercambio entre las líneas 5 y 10, sustituyendo así el que hoy se produce en Aluche entre ambas líneas.

## 2. DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA

Los terrenos en que se asienta el municipio de Madrid resultan bien conocidos, aún más después de las intensas cam-



pañías de prospección y de los numerosos ensayos efectuados para la identificación del terreno realizadas para las anteriores ampliaciones del Metro. En esta misma línea, para conocer el subsuelo donde se están llevando a cabo las obras de Adecuación de Gálibo de la Línea 10 del Metropolitano de Madrid, se ha efectuado un extenso programa de investigación que incluye la realización de sondeos con toma de muestras inalteradas. De esta investigación se desprende que el terreno en la zona en estudio, esta formado, como cabría esperar, por una alternancia de capas que cambian desde materiales eminentemente granulares (arena de miga) hasta materiales con un marcado carácter arcilloso (tosco).

Los estratos que aparecen son los siguientes:

▼ Arena de Miga: Estos materiales tienen un contenido en finos inferior al 25% y una plasticidad baja. La clasificación de Casagrande sitúa estos materiales dentro del ámbito de las arenas limosas (SM) y de las arenas arcillosas (SC). Normalmente este tipo de terreno tiene un ángulo de rozamiento interno entorno a los 35° y una cohesión que varía entre 0,5 y 1 T/m<sup>2</sup>.

▼ Arena Tosquiza: Estos terrenos tienen un contenido en finos que oscila entre el 25% y el 40%, su plasticidad es media. La clasificación de Casagrande sitúa estos materiales dentro del ámbito de las arenas arcillosas (SC). Normalmente este tipo de terreno tiene un ángulo de rozamiento interno entorno a los 33° y una cohesión que varía entre 1 y 1,5 T/m<sup>2</sup>.

▼ Tosco Arenoso: Estos materiales tienen un contenido en finos comprendido entre un 40% y un 60%. Su plasticidad es baja a media. La clasificación de Casagrande sitúa estos materiales dentro del ámbito de las arcillas inorgánicas de baja plasticidad y mezclas de arcillas, gravas, arenas y limos (CL). Habitualmente, estos terrenos tienen un ángulo de rozamiento interno entorno a los 32,5° y una cohesión que varía entre 2 y 2,5 T/m<sup>2</sup>.

▼ Tosco: El contenido en finos en este tipo de terrenos es superior al 60% y tienen una plasticidad media-alta. La clasificación de Casagrande sitúa estos materiales dentro del ámbito de las arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad (CL) y de las arcillas inorgánicas de alta plasticidad (CH). Habitualmente estos materiales tienen un ángulo de rozamiento interno entorno a los 30° y una cohesión que varía entre 2 y 2,5 T/m<sup>2</sup>.

miento interno entorno a los 30° y una cohesión que oscila entre 3 y 4 T/m<sup>2</sup>.

### **3. ACTUACIONES PRINCIPALES**

#### **3.1. INTRODUCCIÓN**

En primer lugar debe destacarse que gran parte de los trabajos que seguidamente se relacionan se están llevando a cabo gracias a la suspensión temporal de la línea entre las estaciones de Alonso Martínez y Campamento entre los meses de Junio de 2000 y Marzo de 2001 en que se restituirá completamente la explotación. Dado lo "traumático" que siempre resulta el cierre de una línea de alto nivel de ocupación como es la línea 10 se han optimizado al máximo los procesos constructivos para reducir los plazos de obra y, de este modo, se producirá una reapertura parcial de la línea incorporándose al servicio las estaciones de Alonso Martínez y Tribunal en Diciembre de 2000. Cabe resaltar que durante el periodo de corte de la línea se ha establecido un servicio especial de autobuses de la EMT que funciona en horario de Metro y que intenta paliar los inconvenientes que produce la suspensión de la línea.

En la fig. 1 se esquematizan las principales actuaciones realizadas en la línea que a continuación, se enumeran:

#### **3.2. ACTUACIONES EN LA LÍNEA**

##### **a) Túnel de fondo de saco.**

Consiste en un túnel en mina, de unos 640 m de longitud, que servirán de fondo de saco hasta la inauguración de la prolongación de la línea 10 hacia Metrosur. Se ejecutarán por el Método Tradicional de Madrid, mediante excavación multifase.

##### **b) Ripado de vía entre las estaciones de El Lago y Puerta de Batán**

Como consecuencia del incremento de anchura del material móvil que habrá de circular por esta línea, 0,50 metros, es necesario aumentar la entavía entre las citadas estaciones. Se ripan ambas vías para minimizar así la actuación sobre la plataforma. Se amplían las obras de fábrica, se actúa sobre la explanada y se ejecutan muros de contención y un nuevo drenaje.

##### **c) Recalce del túnel y rozado**

La ampliación del gálibo obliga asimismo a aumentar la sección del túnel en varios tramos. En otro apartado se expone con más detalle esta fase de la obra que consiste, brevemente, en la demolición, en algunos tramos, de la contrabóveda del túnel y su rebaje y en otros simplemente en su rozado.

#### **3.3. ACTUACIONES EN ESTACIONES**

##### **a) Prolongación y ensanche de las estaciones de Batán y El Lago**

Se demuelen los andenes centrales en ambas estaciones y se ensanchan y amplían los andenes laterales. Se disponen ascensores para uso de personas de movilidad reducida. Se remodelan los vestíbulos y accesos.

##### **b) Prolongación y ensanche de las estaciones de Plaza de España, Alonso Martínez y Tribunal**

Se prolongan las tres estaciones hasta una longitud de 111,6 metros para admitir los nuevos trenes 6000. Estas ampliaciones se realizan subterráneas por el denominado método alemán que es el método utilizado habitualmente para construir estaciones enterradas en el Metro de Madrid.

##### **c) Intercambiador de Puerta de Batán**

Se construye una nueva estación en los terrenos del Metro en la Casa de Campo que servirá de intercambio entre líneas 5 y 10 y conectará con la ampliación de la línea 10 a Metrosur. Esta estación se construye a cielo abierto con pilotes y losas de hormigón prefabricado e "in situ".

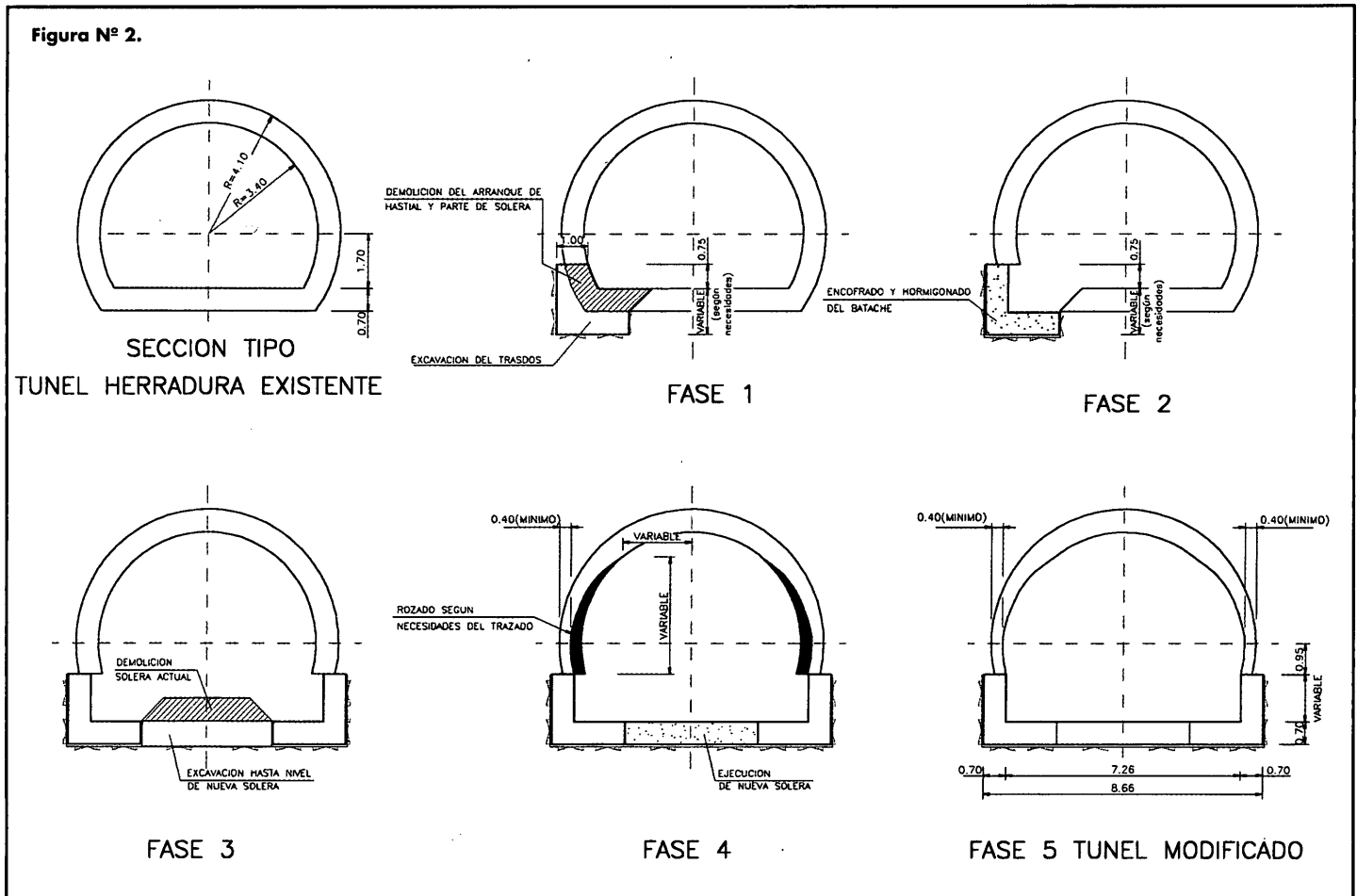
### **4. ACTUACIONES EN EL TÚNEL DE LÍNEA**

Es importante resaltar que el trazado está fuertemente condicionado por la geometría del túnel y de las estaciones existentes y que el objeto de la actuación, hacer pasar el material 6000, se debe hacer compatible con minimizar la actuación en el túnel. Partiendo de este principio básico se establecen, en primer lugar, las ampliaciones de las estaciones, que se realizarán en dirección Gregorio Marañón, en el caso de Alonso Martínez, y en dirección Plaza de España, en la estación de Tribunal. La estación Plaza de España se amplía por los dos pilones y, a su vez, se elimina el andén central y se actúa sobre el túnel existente.

#### **4.1. RECALCE DE TÚNELES**

Es necesario deprimir unos 120 m de túnel, entre los Pks 21+080 y 21+200, de este modo se consigue, encajar el nuevo gálibo con el nuevo trazado. Para esto es preciso rebajar la contrabóveda desde 90 cm en el punto más desfavorable hasta 40 cm en la zona de la estación de Plaza de España. Las fases a seguir son las siguientes (fig. 2):

▼ Demolición por bataches y parcialmente de los hastiales existentes y excavación hasta nueva cota de contrabóveda



da. Se realiza sin descalzar nunca la bóveda del túnel, por bataches de 2,5 m que se sitúen contrapeados bajo estas. A su vez, nunca se hace coincidir la excavación de un hastial con el opuesto y, incluso, tampoco se ejecutan nunca bataches continuos.

- ▼ Hormigonado y encofrado del nuevo hastial.
- ▼ Excavación de la contrabóveda. Una vez rebajados y hormigonados todos los hastiales se procede, por avances de 10 ms, a la demolición de la contrabóveda y su excavación hasta la nueva cota.
- ▼ Hormigonado de la contrabóveda.
- ▼ Inyección de relleno de la junta entre hormigones de diferentes edades.
- ▼ Rozado, si fuera necesario del túnel según necesidades de trazado.

En el caso del túnel de El Lago tiene, igualmente, forma de herradura, aunque, a diferencia del anterior, se desarrolla todo él en un tramo recto. Es posible, por lo tanto, hacer el recalce con una sección tipo única lo que facilita su ejecución. La contrabóveda debe deprimirse 70 cm.

Las fases de la obra son similares a las que se indican para Tribunal - Plaza de España.

#### 4.2. ROZADO DEL TÚNEL.

Para adecuar la sección del túnel actual al nuevo gálibo en algunos casos resulta suficiente el rozado del túnel sin necesidad de deprimir la contrabóveda. En concreto, es necesario en 6 tramos diferentes, de longitud total aproximada 225 m, rozar los hombros y los hastiales en espesores variables.

Debe resaltarse que para analizar la seguridad del túnel se realizó un cálculo mediante el programa FLAC, basado en un método explícito de diferencias finitas bidimensional, modelizando el túnel actual y el terreno circundante. Del cálculo se pudo comprobar que manteniendo espesores mínimos de túnel de 40 cm -Criterio empírico adoptado inicialmente- se podía garantizar la seguridad del mismo.

Posteriormente a estas actuaciones y en la totalidad de los tramos donde no se había actuado con anterioridad es necesario desmontar la vía actual, por lo general en balasto,

y ejecutar la nueva vía en placa con las entrevías que conlleva el nuevo gálibo.

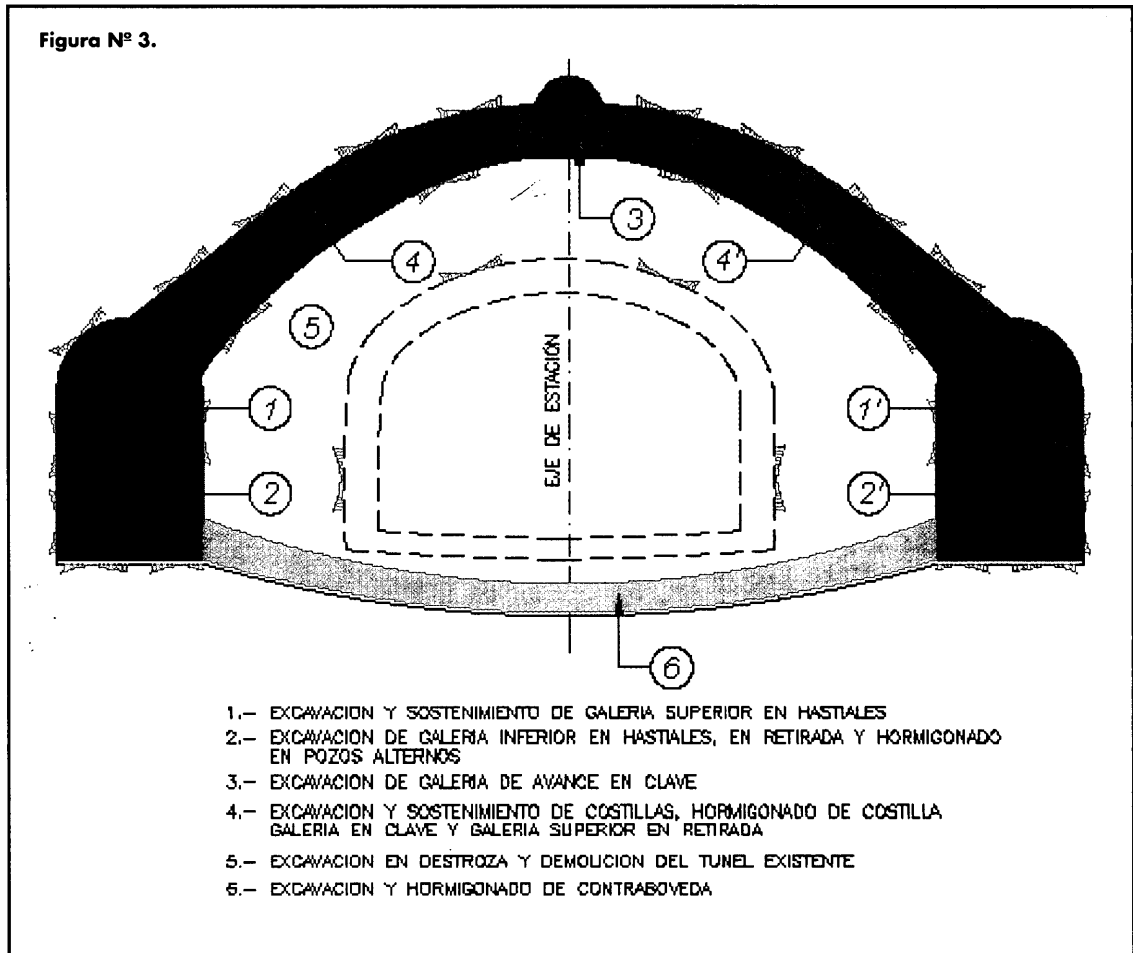
### 5. AMPLIACIÓN DE LAS ESTACIONES SUBTERRÁNEAS

Como se ha venido diciendo, es necesaria también la ampliación de las estaciones Alonso Martínez, Tribunal y Plaza de España para dar cabida al material 6000. La longitud de los andenes nuevos es de 111,6 metros lo que obliga a la ampliación de 20 metros de las estaciones de Tribunal y Alonso Martínez por uno de los piñones y Plaza de España 10 metros en cada sentido. Las actuaciones en Alonso Martínez y Tribunal se realizan de forma similar, excavando, mediante el método alemán una caverna envolvente a la sección del túnel y procediéndose posteriormente a su demolición y hormigonado de la contrabóveda, las fases de ejecución son las siguientes (fig.3):

- ▼ Excavación de la parte superior de la galería de hastiales y entibación mediante cerchas TH y tabla de madera.
- ▼ Excavación de rebaje y hormigonado inmediato de la galería de hastiales.
- ▼ Excavación de la galería de avance en clave con entibación mediante tablas y cerchas.
- ▼ Excavación de costillas de 2 m de ancho desde la galería de hastiales, entibación con tabla de madera, puntales y tresillones y longarinas metálicas. Hormigonado de costilla, galería de clave y galería superior en retirada.
- ▼ Excavación en destroza por fases bajo bóveda al amparo del anillo ejecutado. Demolición del túnel existente.
- ▼ Excavación y hormigonado por fases de la contrabóveda.
- ▼ Inyección de relleno del trasdós.

El proceso seguido en las dos estaciones ha sido muy similar, variando únicamente las dimensiones de las costillas,

Figura Nº 3.



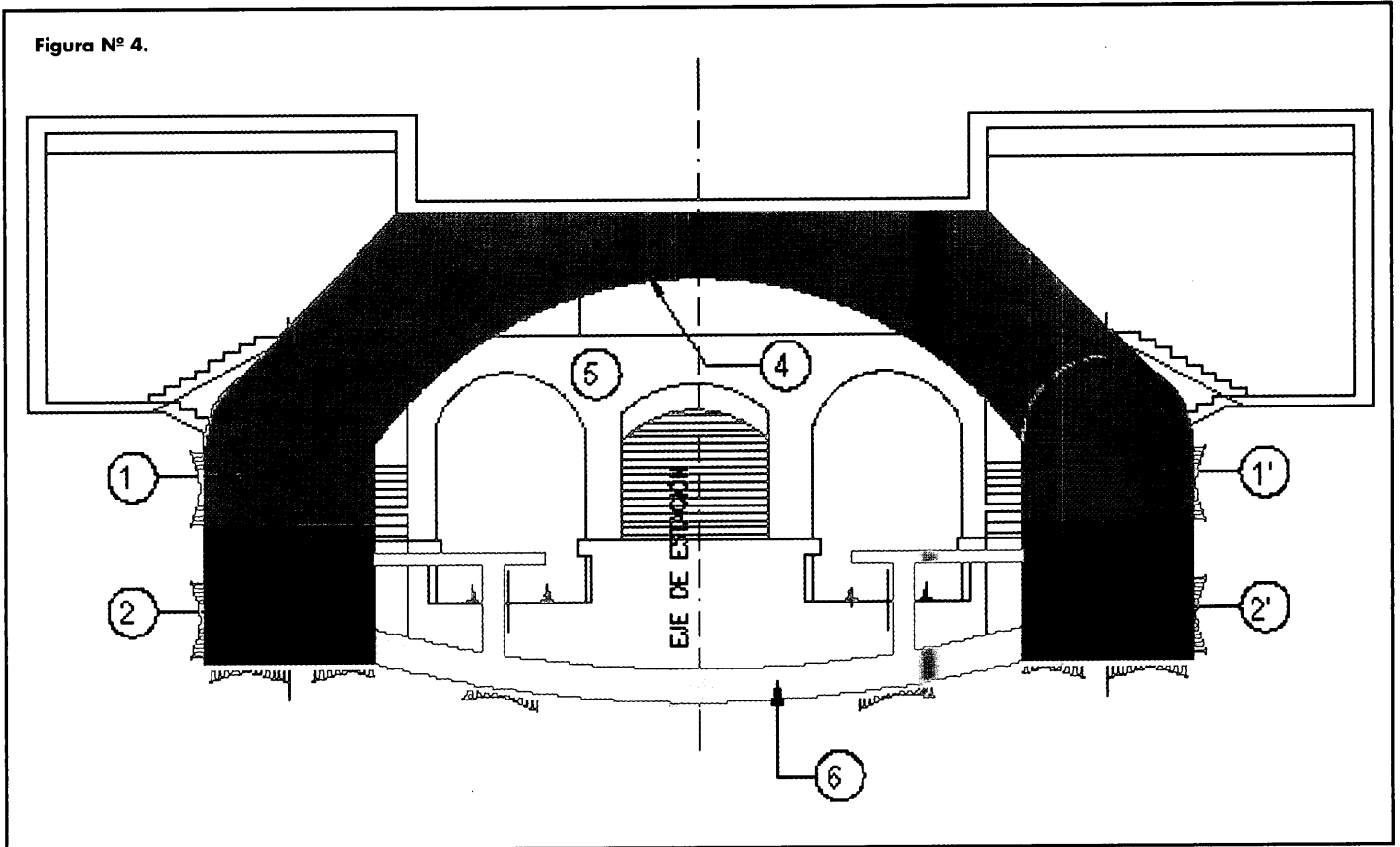
- 1.- EXCAVACION Y SOSTENIMIENTO DE GALERIA SUPERIOR EN HASTIALES
- 2.- EXCAVACION DE GALERIA INFERIOR EN HASTIALES, EN RETIRADA Y HORMIGONADO EN POZOS ALTERNOS
- 3.- EXCAVACION DE GALERIA DE AVANCE EN CLAVE
- 4.- EXCAVACION Y SOSTENIMIENTO DE COSTILLAS, HORMIGONADO DE COSTILLA GALERIA EN CLAVE Y GALERIA SUPERIOR EN RETIRADA
- 5.- EXCAVACION EN DESTROZA Y DEMOLICION DEL TUNEL EXISTENTE
- 6.- EXCAVACION Y HORMIGONADO DE CONTRABOVEDA

menores, de 1,5 metros las de Alonso Martínez por excavar-se éstas en arena de miga con abundante presencia de agua. Asimismo, en Alonso Martínez fue posible la ejecución de la galería de clave desde un pozo de ventilación ya existente.

Por el contrario, la estación de Tribunal aun cuando se ejecutó en terreno más competente, dada la existencia en superficie de edificación antigua, en algunos casos con una importante patología previa, se estimó necesario, una vez realizado un análisis de la edificación afectada y estimados los asentamientos en superficie, realizar inyecciones de compensación. En otro apartado se trata exhaustivamente este tema.

La estación de Plaza de España, aunque en esencia se plantea su ejecución con una metodología similar a la hasta aquí explicada su aplicación práctica está resultando bien diferente. En primer lugar, como ya se indicó, se amplía la estación por los dos piñones. En segundo lugar, en Plaza de España, en ambos piñones y de manera simétrica se desarrollaban los cangrejos de acceso a la estación y los vestíbulos de desembarco de las escaleras mecánicas. En tercer lugar, era una estación con andenes laterales y central, ahora este suprimido, por lo que existían los correspondientes telescopios de con-

Figura Nº 4.



ción del túnel con la estación. Todo ello llevó a que, aunque partiendo de la metodología de las costillas ya explicada, se intentara adaptarla a las diferentes circunstancias, aprovechando la parte de obra ya existente y optimizando la geometría de la sección de la ampliación. (fig.4)

La zona del telescopio se ampliará aprovechando los tunelillos existentes para construir los hastiales de la nueva sección de túnel y excavando por el método belga la parte de bóveda.

De igual modo que para el recalce y rozado del túnel, previo a la excavación se realizó un modelo de cálculo utilizando el programa FLAC de diferencias finitas. Se modelizaron las diferentes fases de ejecución, incluidas las correspondientes al túnel existente sobre el que se actúa.

## 6. INYECCIONES DE COMPENSACIÓN EN LA ESTACIÓN DE TRIBUNAL

En el marco de los trabajos de adecuación de gálibo de la Línea 10 del Metro de Madrid, se incluye la ampliación de la estación de Tribunal. Los trabajos correspondientes de excavación y hormigonado de costillas, demolición de la estación antigua y construcción de la nueva contrabóveda para completar la

Foto Nº 1. Edificio en Estación de Tribunal.



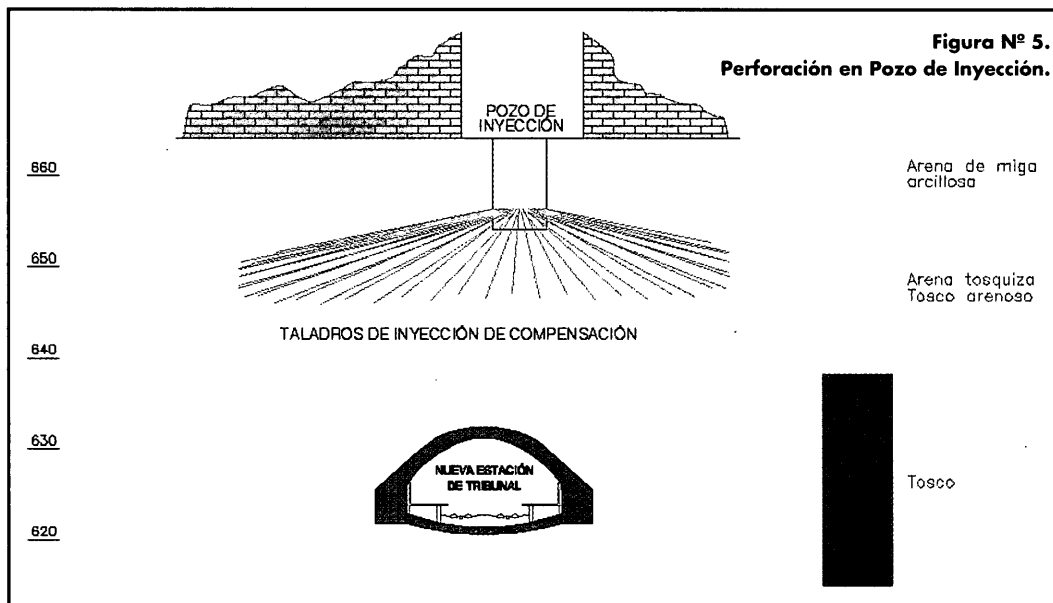
nueva estación, se efectúan debajo de una zona de edificaciones antiguas situadas entre las calles La Palma, San Vicente Ferrer a la altura de la Corredera Alta de San Pedro, detrás del Tribunal de Cuentas (Foto 1).

Aun cuando los estudios realizados caracterizaban los riesgos de daños de los edificios afectados por esta excavación de Despreciables o Muy Ligeros, el estado de conservación en que se encontraban los mismos, su antigüedad y el tipo de estructura que los constituía hizo aconsejable disponer, en esta área, de medidas especiales para limitar los posibles asentamientos en los edificios. Es por

ello que, para la protección de estas estructuras, se han diseñado y ejecutado unos trabajos de inyecciones de compensación junto con la instalación y el seguimiento de una instrumentación específica asociada para mantener un control continuo de los posibles movimientos provocados por los trabajos de excavación en las edificaciones circundantes.

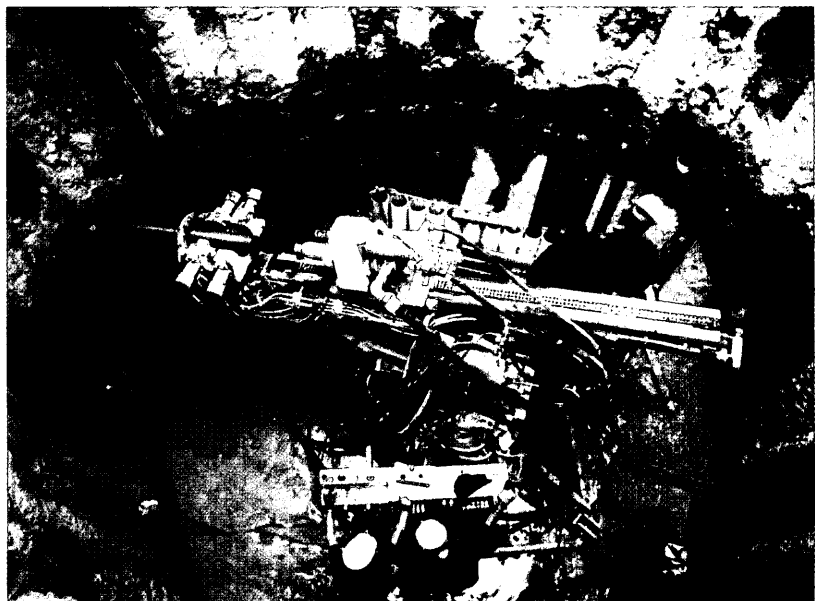
El tratamiento del terreno con inyecciones de compensación consiste en instalar un abanico de taladros entre el origen de los posibles movimientos (es decir, el túnel) y las estructuras a proteger para poder inyectar a través de los tubos a manguito instalados en los taladros, de manera repetitiva y controlada para levantar el terreno, a medida que se vayan produciendo los asentamientos debidos a los trabajos de excavación. En este caso, los taladros se ejecutaron desde un pozo de 6 m de diámetro situado en un solar de la zona ubicado en el N° 7 de la calle de La Palma y con una inclinación de 10° respecto a la horizontal (figura 5 y foto 2).

Las inyecciones de compensación comprenden por lo general tres fases, cada una de ellas con sus objetivos específicos aunque como se verá a continuación, dependiendo de los asentamientos producidos por los trabajos de excavación, no siempre son necesarias todas las fases. La primera fase es la de pretratamiento, se ejecuta antes del comienzo de los trabajos de excavación, y tiene como propósito restablecer las relajaciones en el terreno debido a la perforación de los taladros de inyección, rellenar los posibles huecos existentes en el terreno, reducir la compresibilidad del terreno entre los tubos de inyección y la cimentación de las estructuras a proteger, crear un levantamiento inicial controlado (entre 0 y 3 mm, detectado por la instrumentación instalada) tarando así la respuesta inicial del terreno a la inyección. Esta fase se ejecutó al comienzo de la excavación de las galerías de avance para la construcción de la nueva estación.



El terreno en el que se efectuó la inyección es una arena tosquita /tosco arenoso y se preveía un volumen de inyección en esta fase de 50 l/ m<sup>2</sup> en toda el área de tratamiento a ser inyectado en tres pasadas. Sin embargo, y resultante de la información dada por la instrumentación, no se llegó a inyectar este volumen en algunas zonas donde se alcanzaron los objetivos propuestos con un levantamiento de orden de 2 mm antes de completar todas las pasadas previstas. La figura 6 muestra la densidad de la inyección una vez finalizada ésta última que varía entre 25 l/m<sup>2</sup> y 62.5 l/m<sup>2</sup>, con un volumen total inyectado de 84 525 l.

**Foto N° 2. Perforación en Pozo de Inyección.**



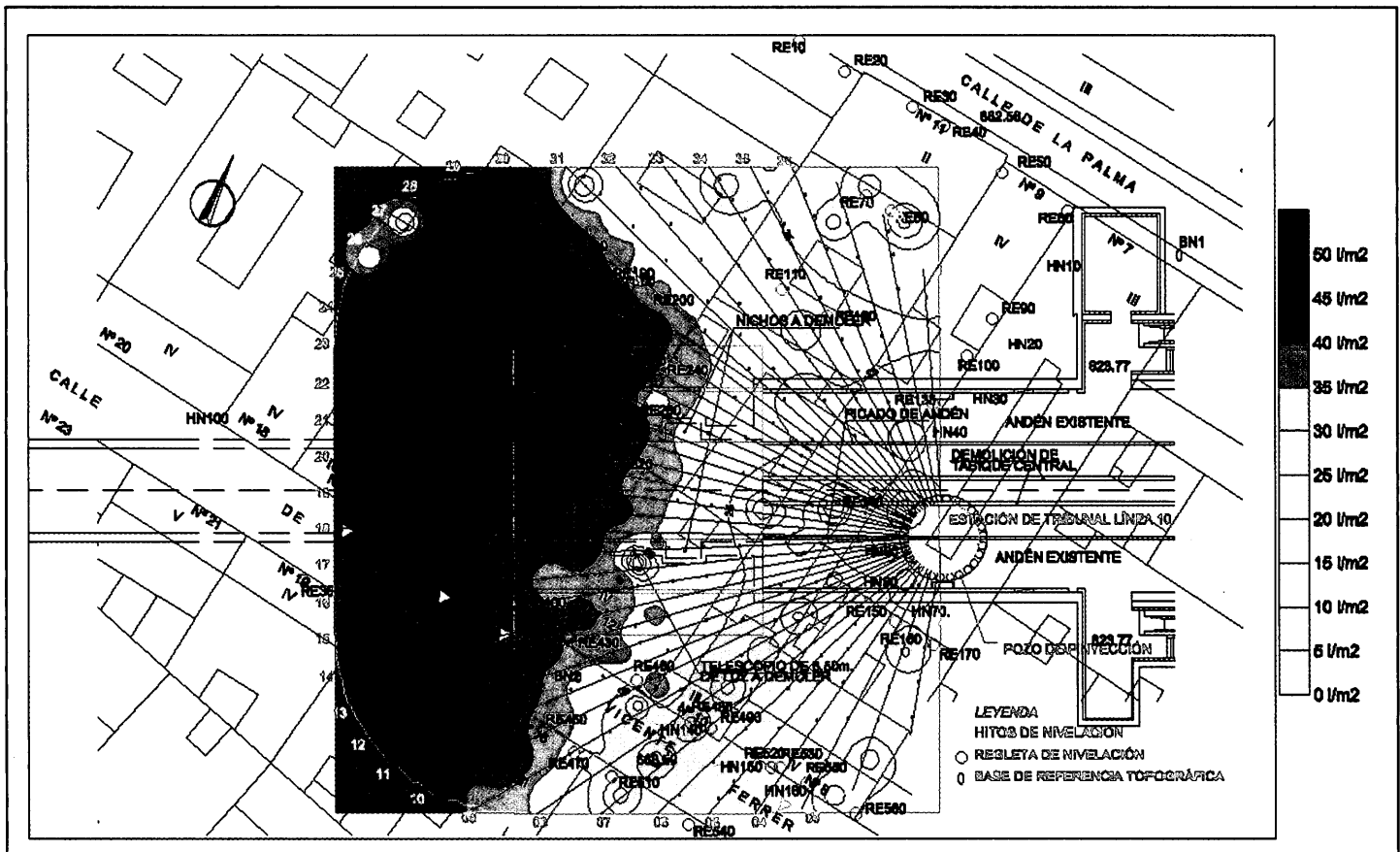


Figura Nº 6. Volumen totales inyectados.

Las siguientes fases de inyección de compensación son las fases concurrente y observacional que corresponden a la inyección durante la excavación y después de ella en caso de que sea necesario reducir aún más los movimientos hasta situarse por debajo de los límites establecidos como aceptables. En vista de que la excavación de la ampliación de la estación se hacía con el método alemán, con la excavación y hormigonado de costillas antes del vaciado y construcción de la contrabóveda, es decir, un método relativamente lento donde previsiblemente los asientos se producirían también de manera lenta, se decidió optar por ejecutar la inyección que fuera necesaria de manera observacional, es decir, dejando que se produzcan los asientos para posteriormente inyectar y levantar el terreno. Una vez finalizada la inyección de pretratamiento, se estableció el límite de 2.5 mm como umbral para el comienzo de las inyecciones observacionales. Hasta la fecha y con los trabajos de construcción de la contrabóveda prácticamente acabada, no se ha llegado a alcanzar este umbral por lo que no ha sido necesario hacer ninguna inyección adicional.

Con objeto de controlar tanto los movimientos en las estructuras como en el terreno en el área afectada por la inyección, se instalaron 55 regletas en edificios y 14 hitos en el terreno con dos bases fijas de referencia para la nivelación de

precisión de estos instrumentos. Posteriormente también se instalaron secciones de medida de verticalidad de los edificios mediante unas señales de puntería en altura y una regleta en la base del edificio para medir los desplazamientos del edificio con respecto a un plano vertical.

Los resultados se analizaron diariamente para su comparación con los criterios de actuación establecidos y se resumieron semanalmente en una nota de resultados. Durante la fase de pretratamiento, el objetivo en cuanto a movimientos era de acusar un levantamiento de entre 0 y 3 mm. Posteriormente el umbral para nuevas inyecciones se fijó en un asiento, con respecto al final de la inyección de pretratamiento, de 2.5 mm.

Desde el final de las inyecciones hasta la fecha, las lecturas han indicado que el nivel de movimientos ha bajado ligeramente: el descenso máximo ha sido de 1,33 mm para los instrumentos de la calle La Palma y de 0,86 mm para los de San Vicente Ferrer en un período de algo menos de tres meses. Durante este tiempo se han completado todos los trabajos de excavación y hormigonado de las costillas de la nueva estación, la demolición de la estación antigua y el hormigonado de la nueva contrabóveda, trabajos correspondientes a la ampliación de la estación de Tribunal. El correspondiente nivel medio actual que indica la instrumentación se sitúa entre 0 y 0,3 mm.



Las secciones de verticalidad han indicado que en ningún momento los edificios han sufrido inclinaciones que puedan considerarse peligrosas en cuando a la integridad estructural de los mismos.

## 7. ESTACIONES DE LAGO Y BATÁN

### 7.1. ESTACIÓN DE EL LAGO

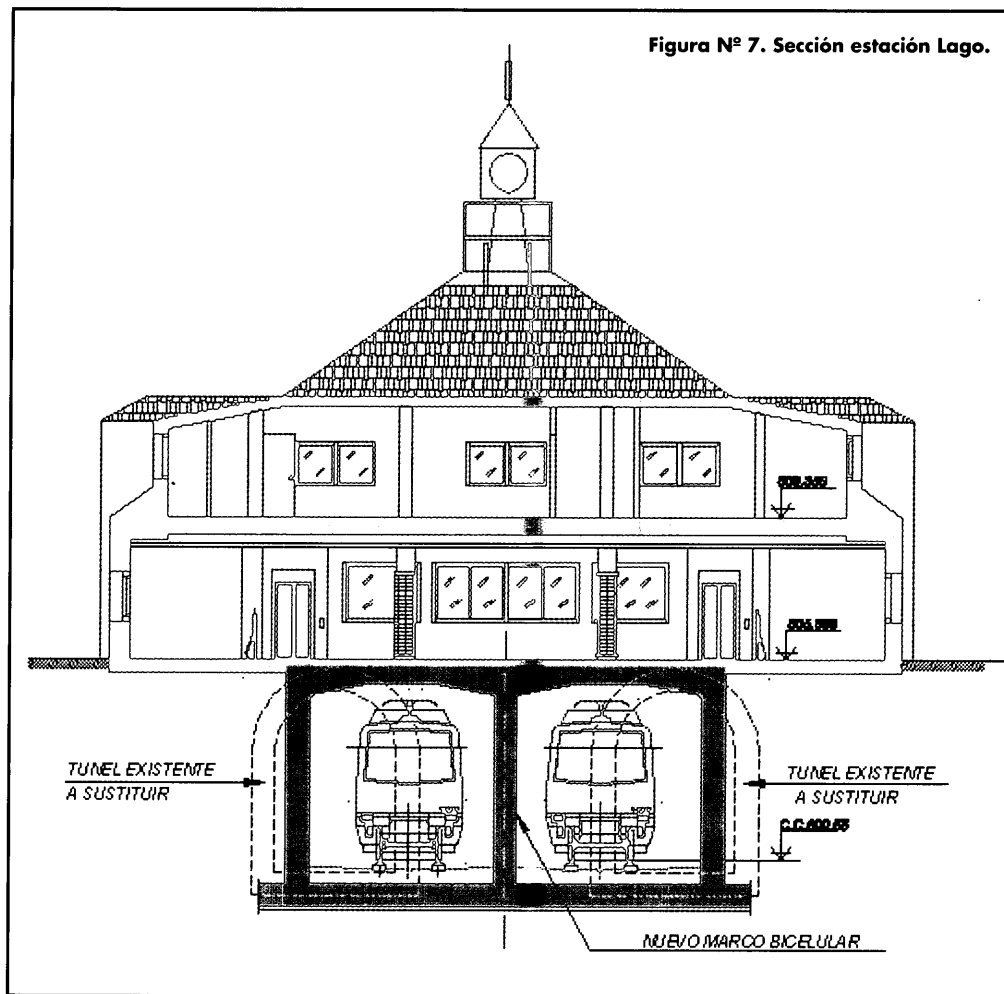
Las estaciones de Lago y Batán son dos bellos ejemplos de rehabilitación de estaciones antiguas, donde, más allá de las consideraciones estrictamente geométricas de adecuación de gálibo, se ha pretendido mejorar la funcionalidad de los vestíbulos (ambos a nivel de superficie) manteniendo para ello los antiguos edificios que los albergan.

Los edificios existentes se insertan en el Espacio Natural Protegido de la Casa de Campo y sus acabados con fachadas con pizarra en color beige y tejados de pizarra constituyen dos hitos urbanos que son referencia indispensable de la ciudad, aumentando el atractivo de esta área privilegiada.

El edificio de la estación de Lago es una estructura reticulada de dos alturas, de planta cuadrangular y con un ábside semicircular, rematado por un porche de la misma forma. La particularidad de este edificio reside en la circunstancia de que está cimentado sobre los túneles de unión de la estación, de tal forma que los convoyes al entrar y salir de la estación pasan bajo el propio edificio (fig. 7).

Lógicamente, los pilares de la planta inferior estaban apoyados sobre los hastiales de estos túneles, siendo la luz entre apoyos equivalente a la anchura compatible con la circulación de material de la serie 2000 con el que fue construida la línea de lo que entonces se llamaba Ferrocarril Suburbano de Plaza de España a Carabanchel Bajo, o simplemente "Suburbano". Tras efectuar los correspondientes levantamientos topográficos, se comprobó que los pilares estaban contruidos en haces con el intradós de los hastiales, no existiendo ninguna holgura para incrementar la anchura necesaria para la circulación de material de las series 6000. Se hacía pues necesario modificar radicalmente la cimentación del edificio.

En coherencia con la línea adoptada de conservar los edificios existentes en la medida de lo posible, se optó por no al-



terar la posición de los puntos de apoyo de la estructura, construyendo una losa inferior que recogiera las cargas de las actuales zapatas, función previamente realizada por los hastiales del túnel. Esta losa será la parte superior de un marco bicelular que actuará como falso túnel en el piñón de salida de la estación.

La solución elegida consta de las siguientes fases:

- ▼ 1. Construcción de una estructura metálica auxiliar de apeo para cada uno de los pilares, que transmita la carga de los mismos a una cota inferior a la de la futura losa.
- ▼ 2. Mediante la utilización de gatos hidráulicos, aplicación de una carga en la estructura auxiliar igual a la que recibe el pilar apeado, pero de sentido contrario, dejando los pilares existentes sin carga alguna.
- ▼ 3. Construcción del marco bicelular, incluida la losa superior.
- ▼ 4. Descarga de la estructura metálica auxiliar volviendo a transferir la carga a los pilares originales, apoyados ahora en el marco bicelular.

Se instrumentaron los pilares para detectar posibles movimientos de la estructura, tanto en sentido vertical como de la eventual inclinación de los mismos. En el momento de escribir este artículo, se encuentra transferida la carga a la estructura de apeo y se está ejecutando el marco bicelular, habiéndose detectado pequeños movimientos en la estructura apeada en la fase de demolición de las galerías antiguas.

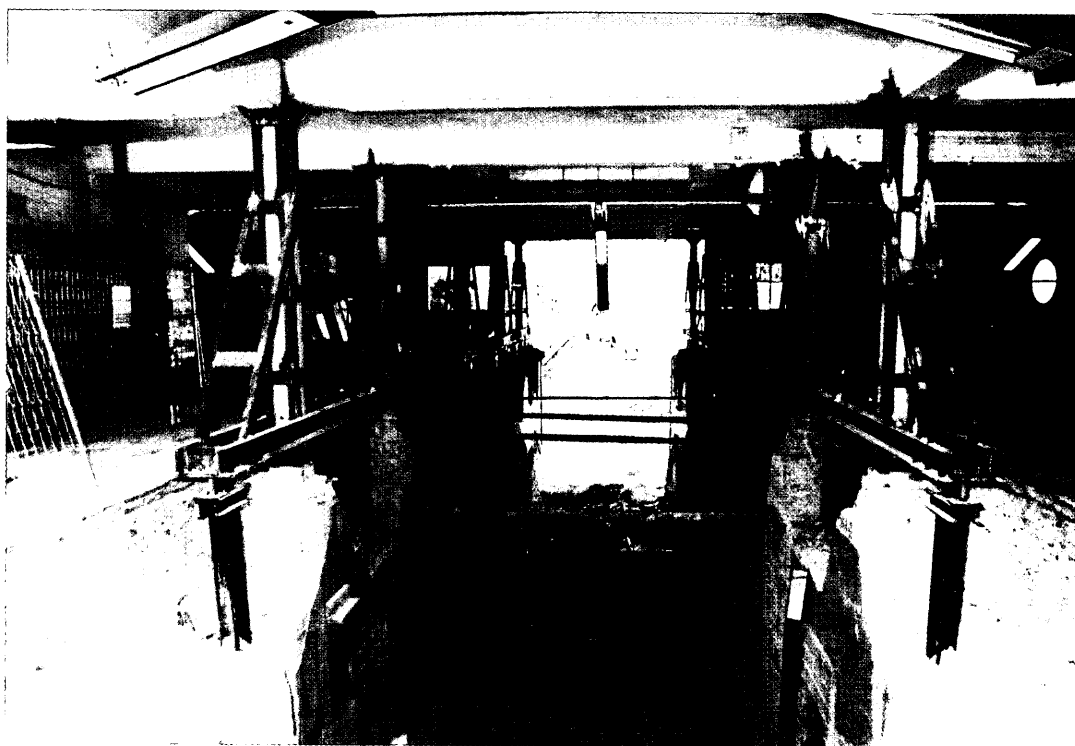


Foto Nº 3. Apeo edificio de estación de Lago.

Una vez que ha sido necesario interrumpir la circulación durante un período de tiempo prolongado para realizar la obra estructural de ampliación de gálibo, no se quería perder la oportunidad de remodelar los vestíbulos de las estaciones, ciertamente obsoletos para los actuales parámetros de calidad de Metro de Madrid. El vestíbulo existente estaba limitado por la escalera de acceso al andén central y por unos cuartos técnicos situados a los lados y detrás de la misma. La eliminación del andén central en esta estación ha permitido ganar para el vestíbulo no sólo el espacio de la mencionada escalera, sino, además, el de todos los cuartos adyacentes. Se logra así un amplio vestíbulo de 286 m<sup>2</sup> y un porche de 128 m<sup>2</sup> dotado de un frontal con perspectiva sobre toda la estación que se aprovecha para situar cerramiento transparente que aumenta la sensación de espacio en el vestíbulo.

La eliminación del andén central también repercute en una ampliación de los andenes laterales, que disponen así de espacio suficiente para situar sendos ascensores panorámicos.

Vista la necesidad de realizar una losa para sustituir la cimentación del edificio, no era necesario mantener el andén central, pues el acceso de los convoyes a la estación quedaba libre para realizarse por cualquier zona del edificio. Como se ha visto, la eliminación del andén central presentaba claras ventajas para la remodelación del vestíbulo así que ésta fue la opción elegida.

Se puede concluir que el resultado de la intervención en la estación de Lago será sencilla de líneas, amplia de espacio, racional en su concepción y plenamente integrada en el entorno de la Casa de Campo. Sin duda está llamada a ser una de las estaciones emblemáticas por su belleza dentro de la red de Metro.

## 7.2. ESTACIÓN DE BATÁN

El edificio de la estación de Batán se sitúa a nivel de andenes, junto a la vía I (sentido Aluche). Se trata de un edificio clásico de estación ferroviaria, de planta cuadrangular y dos alturas, con una marquesina adosada que sirve de protección a los viajeros en espera en el andén de vía I. Al igual que el edificio de Lago, la fachada es de color beige y el tejado de pizarra, lográndose un conjunto francamente armonioso. Este edificio no está sujeto a modificaciones estructurales como consecuencia de las obras.

El vestíbulo existente en la estación de Batán resultaba poco claro para la circulación de viajeros. El P.C.L., situado en el centro, debía ser rodeado para poder acceder al exterior. Poseía, además, dos posibles salidas, una de las cuales tenía acceso exclusivamente al andén central (sin apenas uso) y la otra al andén de la vía II, sentido Príncipe Pío.

La reordenación del vestíbulo racionaliza su uso con las siguientes medidas:

- ▼ Eliminación de la posición central de P.C.L., que pasa a estar situado en un lateral del vestíbulo.
- ▼ Apertura de una escalera central para dar acceso a los pasillos inferiores de cruce bajo vías.
- ▼ Eliminación del acceso del andén central (apenas era utilizado).

- ▼ Apertura de un acceso al andén de la vía II (dirección Fuencarral), que es el más utilizado como origen de viajeros.
- ▼ Incorporación de la marquesina anexa al edificio al propio vestíbulo, aumentando la superficie útil de este.

Otro aspecto importante en la remodelación de la estación de Batán es la colocación de ascensores para P.M.R., para lo cual se utilizan las zonas de las antiguas escaleras de acceso a los pasillos inferiores, que ahora quedan en desuso como consecuencia de la apertura de la nueva escalera del vestíbulo.

La eliminación del andén central en esta estación aporta una mayor claridad en el funcionamiento de la misma. Los andenes laterales quedan con una anchura de 6,34 m, lo cual permite abrir un nuevo acceso al vestíbulo en el andén dirección Fuencarral, que es el que soporta mayor tráfico de pasajeros. La longitud de los andenes se amplía en 15 m, para permitir la parada de las nuevas composiciones.

### 8. NUEVA ESTACIÓN PUERTA BATAN

La nueva estación, entre las actuales de BATAN Y CAMPAMENTO, se ubica dentro de los terrenos ocupados actualmente por la traza de la línea 10 del METRO, y entorno al paso sobre las vías de la citada línea del Paseo de la Puerta de Batan del que toma el nombre. Acoge en su interior a las líneas 10 y 5 de METRO, de modo que el transbordo de viajeros sea an-

dén-andén. Así pues, la estación dispone de 4 vías, correspondiendo las exteriores a la Línea 10 y las centrales a la Línea 5, si bien en una primera fase se prevé explotar la Línea 5 utilizando una sola vía de las dos disponibles.

De entre los criterios establecidos por el Proyecto General dos de ellos afectan directamente a la estación de PUERTA BATAN y las dos son de índole territorial. El primero, es que la estación ha de implantarse dentro de los terrenos ferroviarios. El segundo, es minimizar el efecto barrera que la traza ferroviaria impone a un paso por la Casa de Campo.

Respecto de este criterio, el Proyecto de adecuación de gálibo de la línea 10 del Metro de Madrid, prevé cubrir una parte importante del trazado ferroviario por Casa de Campo, para disminuir tal efecto barrera dando continuidad al citado parque urbano. En esta zona a cubrir, con una longitud de unos 800 m, las nuevas vías, cuyo eje coincide sensiblemente en planta con el eje de la antigua traza, discurrirán por debajo del nivel del plano de vía antigua. La estación propiamente dicha, que con todos sus locales técnicos, proyecta en planta un rectángulo de unos 200 m de largo por 29 m de ancho, queda totalmente integrada en la zona cubierta ya mencionada.

Tal y como se aprecia en la planta y secciones que se acompañan (fig. 9a y 9b) la referida zona cubierta, a excepción de la zona de túnel artificial se desarrolla en toda su longitud entre dos líneas de pilotes rematadas en su sección superior por vigas de atado de canto variable y un muro espaldón de contención de tierras. Las características de la entibación son las siguientes:

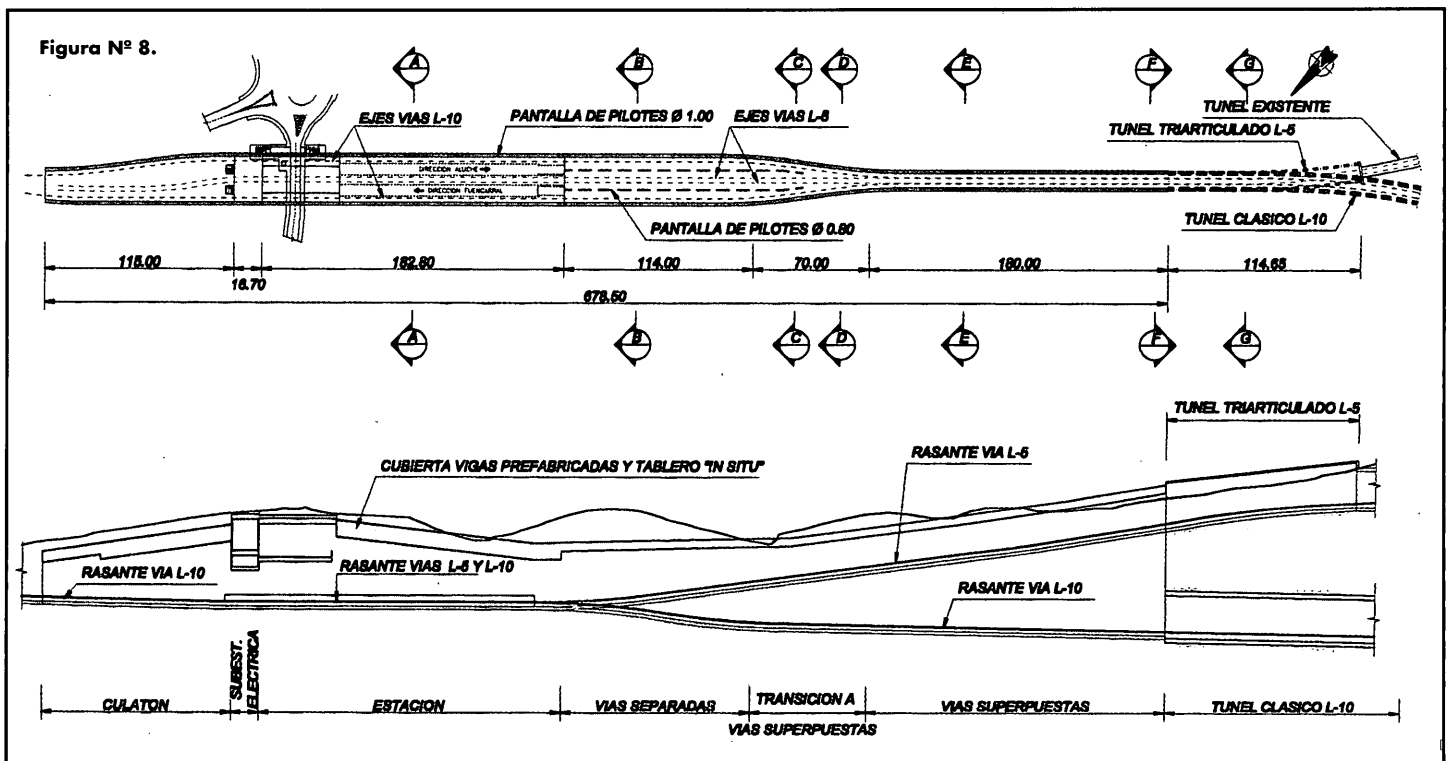


Figura Nº 9 a. Puerta de Batán. Secciones.

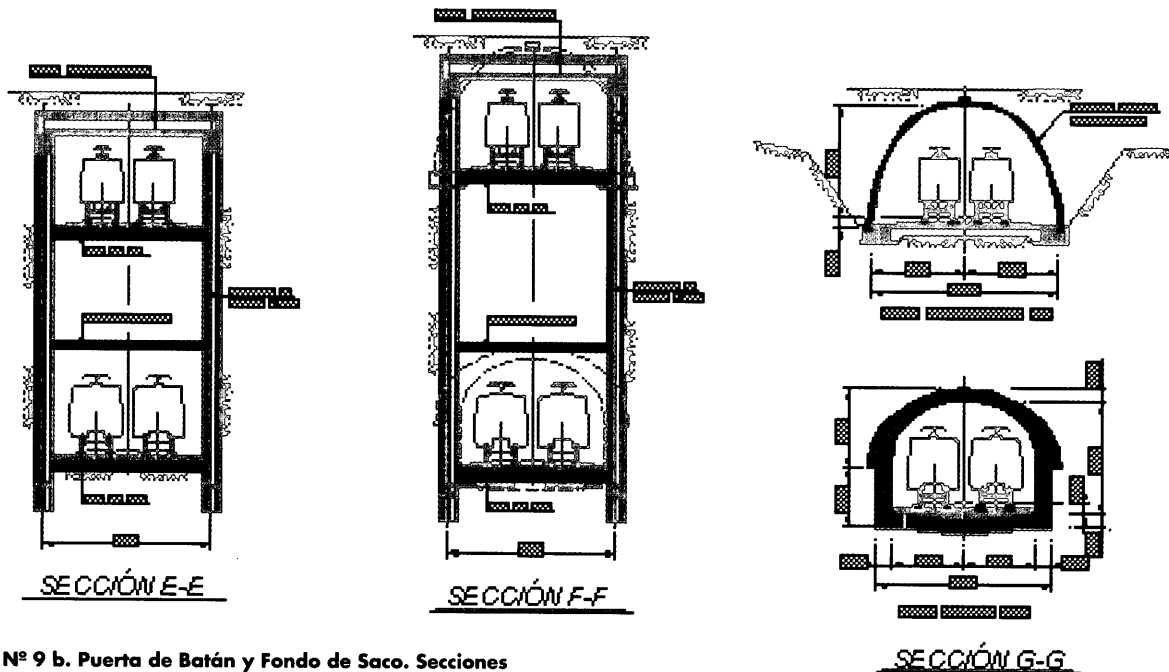
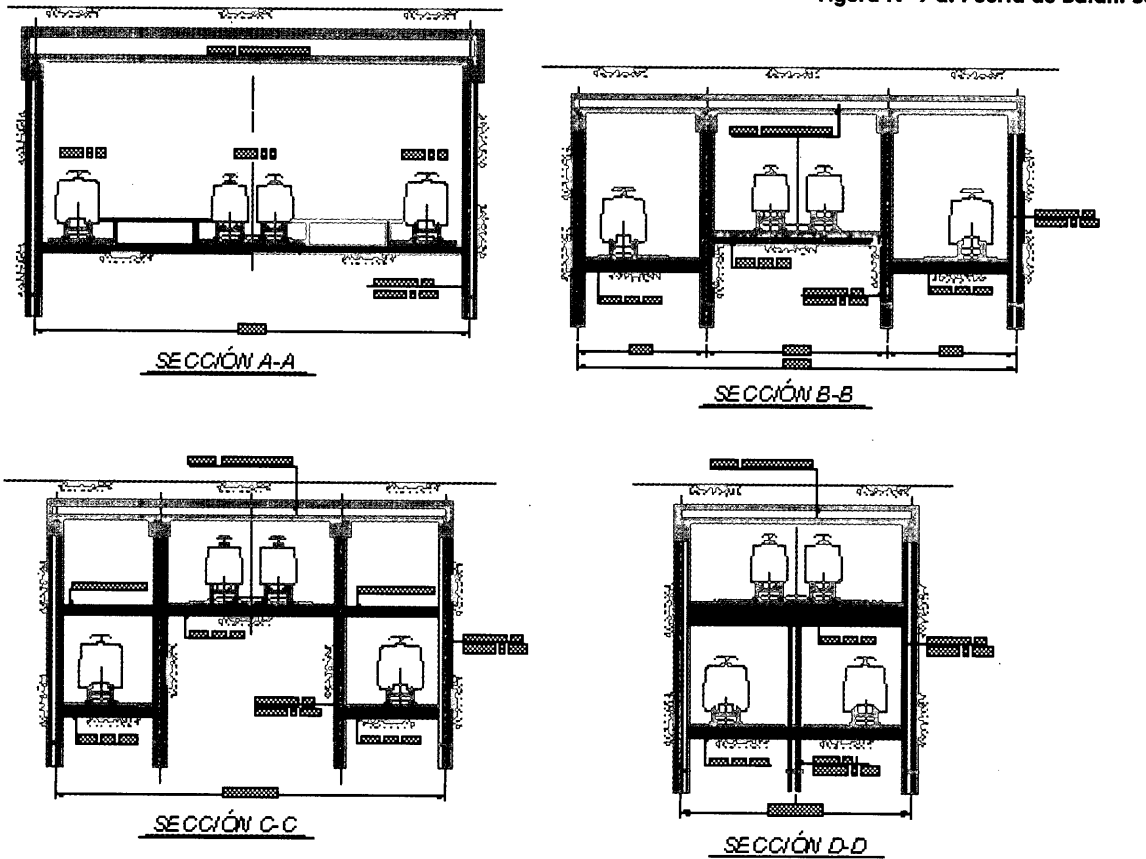


Figura Nº 9 b. Puerta de Batán y Fondo de Saco. Secciones

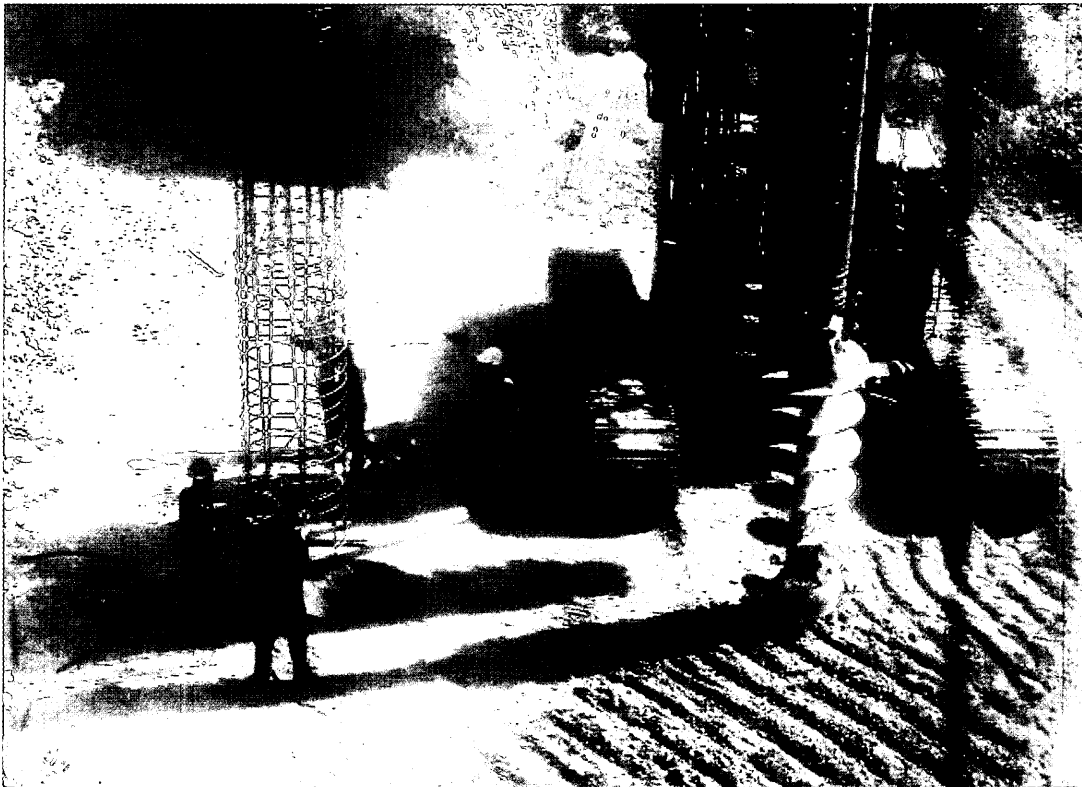


Foto Nº 4. Ejecución de Pilotes en Puerta de Batán.  
Abajo, foto Nº 5. Puerta de Batán, ejecución de Pilotes bajo Línea de Alta Tensión.



- ▼ Pilotes "in situ". Diámetro 1.000 m.
- ▼ Separación pilotes: 1.20 m entre ejes.
- ▼ Profundidad mínima: aprox. = 19.00 m.
- ▼ Profundidad máxima: aprox. = 32.00 m.
- ▼ Intradós de pantalla gunitado con espesor de 7 cm, sobre mallazo metálico clavado en los pilotes, una vez limpia de adherencia de terreno la superficie del mismo mediante lanza de agua a presión.

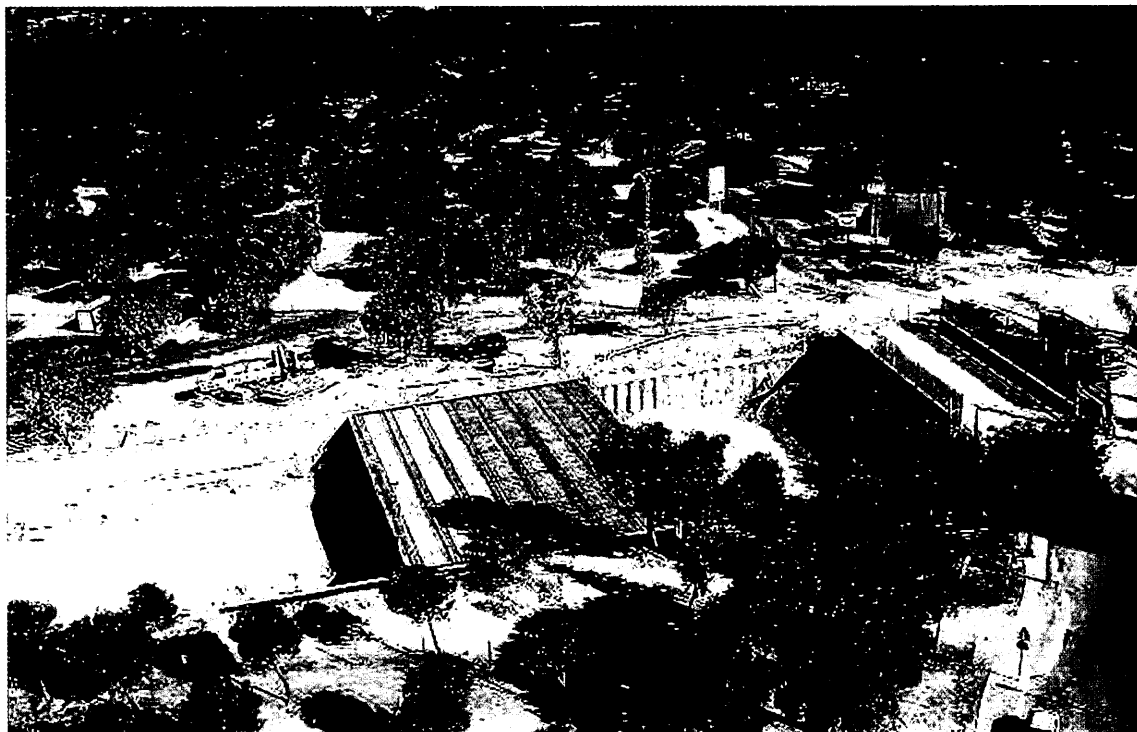
Las conexiones de losas a las pantallas en niveles intermedios de las mismas se realizan mediante perforaciones en los pilotes, en las que se anclan con resina epoxi las barras necesarias para soportar los esfuerzos transmitidos por las losas.

Sobre la viga de atado de coronación de los pilotes, descansa el tablero de cubierta, constituido por una serie de vigas prefabricadas pretensadas con cantos, luces y separaciones variables y una losa de compresión hormigonada "in situ" de 25 cm de espesor con armadura ligera.

El arriostramiento horizontal de las pantallas se confía al tablero superior en cabeza y a niveles por debajo del tablero de cubierta a elementos propiamente funcionales (losa de vestíbulo, losas de subestación eléctrica, forjado de apoyo de la línea 5 en vía superpuesta), o bien a elementos específicos dispuestos a tal fin en pantallas de mayor profundidad (puntales sobre línea 10 en vía superpuesta).

Respecto a la zona a cubrir mediante túnel artificial, para alojar la línea 5 diremos que se trata de una bóveda prefabricada en hormigón armado, articulada en arranques y en clave (triar articulada).

La bóveda será atirantada en sus arranques para evitar que la zapata proyecte fuera del ámbito del trasdós de la misma, minimizando así la afección de mayor número de árboles. Por debajo de este túnel artificial, se dispone el túnel a ejecutar por el Método Belga, que ha de servir de alojamiento a la infraestructura viaria de la línea 10, hasta su conexión con METROSUR.



**Foto Nº 6. Colocación de vigas en Puerta de Batán.**

Por la repercusión en la fecha real de comienzo de actividades de construcción tales como las excavaciones iniciales, guías de pantalla y pilotaje, merece la pena mencionar que previamente a todo ello hubo que proceder en estrecha coordinación con los servicios técnicos del Departamento de Parques y Jardines del Ayuntamiento de Madrid, primero la confección de un catálogo identificativo de cada uno de los árboles que suponían cualquier tipo de interferencia con la obra propiamente dicha o con el proceso de construcción, para a continuación, bajo la supervisión técnica del Departamento mencionado y siguiendo sus instrucciones proceder al apeo o trasplante de los ejemplares afectados.

La entibación previa a la excavación se realizó con pantallas continuas de pilotes. Los datos que definen en líneas generales esta actividad son los siguientes:

- ▼ Pilotes Ø 1000            21.200 ml.
- ▼ Pilotes Ø 800             4.100 ml.
- ▼ Kg. de acero B 500 S    1.450.000 Kg.
- ▼ Equipos de pilotaje      4 Uds.
- ▼ Rendimiento medio      ≈ 330 ml/día de pilote ejecutado.

En cuanto al tablero de cubierta, es de señalar que está constituido por vigas prefabricadas, con un total de 312 Uds., para luces variables entre 7,00 m y 29,00 m, y cantos variables entre 0,70 m y 2,25 m, todo ello, para conformar del orden de 16.200 m<sup>2</sup> de cubrición de vía. ■

**FICHA TÉCNICA**

<b>PROMOTOR</b>	CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS, URBANISMO Y TRANSPORTES COMUNIDAD AUTÓNOMA DE MADRID
<b>AUTOR DEL PROYECTO DIRECCIÓN DE LAS OBRAS</b>	INOCSA Manuel Arnáiz Ronda, Jefe del Servicio de Ampliación de Metro Manuel Herrera Álvarez, Ingeniero de Caminos Valentín Rodríguez Rodríguez, Ingeniero Técnico de Obras Públicas
<b>ASESOR GEOTÉCNICO</b>	Carlos Oteo Mazo, Profesor de la E.T.S.I.C.C.P. de Madrid
<b>EMPRESAS CONSTRUCTORAS</b>	FERROVIAL-AGROMÁN: Rogelio Baudot Gallego, Gerente de la UTE FOMENTO DE CONSTRUCCIONES Y CONTRATAS: Alberto Enciso, Jefe de Obra. GEOCISA
<b>INYECCIONES DE COMPENSACIÓN ASISTENCIA TÉCNICA</b>	SENER, Ingeniería y Sistemas: Carlos Juárez Cólera, Jefe de Unidad José Provencio Esteban, I.T.O.P.
<b>CONTROL DE CALIDAD PRESUPUESTO PLAZO</b>	GEOCISA 10.670.467.135,- ptas. 24 Meses