

CONGRESO REGIONAL AETOS. NOV. 2007

TEMA 3

RECALCE DE EDIFICIOS PARA EJECUCIÓN DE GALERIAS DE ANDENES EN LA AMPLIACIÓN DE LA ESTACIÓN “SOL” DE LA LÍNEA 3 DEL METRO DE MADRID.

José M^a Rodríguez Ortiz

Catedrático de Mecánica del Suelo, Universidad Politécnica de Madrid

José Antonio Leira Velasco

Jefe Dpto. Geotecnia, FCC Construcción S.A.

Cristina Cabezas Moreno

Jefe Dpto. Dpto. Estructuras Obra Civil, FCC Construcción S.A.

Igor San Dámaso Martín

Ingeniero de Caminos, Dpto. Estructuras Obra Civil, FCC Construcción S.A.

FCC Construcción, S.A.

C/ Acanto, 22 – 4^a planta

28045- Madrid (España)

Tel: 91.385.90.00, Fax: 91.527.34.70, E-mail: isandamasom@fcc.es

RESUMEN

Las estaciones de la línea 3 se han ampliado recientemente para poder recibir trenes más largos. La ampliación de los andenes de 60 a 90 m en la estación de Sol se ha realizado bajo cuatro edificios de la calle Preciados. Los edificios más delicados tienen más de 80 años y tienen estructura de muros de carga de ladrillo.

El recalce y excavación bajo los edificios se realizó sin afectar a su actividad comercial.

La solución tuvo que encajarse en el ancho de la calle y consistió en dos pórticos en Π superpuestos, con montantes formados por micropilotes y losas horizontales sobresaliendo en ménsula bajo los edificios y recogiendo las cargas de los edificios a través de gatos. Una vez realizados los pozos de recalce se transfirieron las cargas a los mismos y se eliminó la estructura interior de micropilotes. Todo el proceso se controló cuidadosamente mediante la oportuna instrumentación, de forma que los asientos finales no superaron los 4 mm.

En el presente artículo se detalla el proceso constructivo seguido y su control.

ABSTRACT

Line 3 stations have been extended in order to receive longer trains. The extension of the platforms from 60 to 90 m at Sol station was carried out under four buildings at Preciados St. The most fragile buildings are over 80 years old and have brick load-bearing walls.

Underpinning and excavation under the buildings was performed without interference with their commercial activity.

The solution to the problem was limited by the width of the street and consisted of two superimposed Π -shaped frames. They were built with micropiles and horizontal cantilever slabs placed under the buildings, which were loaded by means of jacks. This structure allowed the excavation of the actual underpinning shafts. Once the loads were transferred onto them, the internal micropiles were demolished. The whole process was carefully monitored, so the final movements were no bigger than 4 mm.

The construction process and its control are detailed in the paper.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA OBRA

Metro de Madrid está acometiendo la remodelación de sus estaciones en toda la ciudad para adaptarlas a las nuevas necesidades de movilidad y estándares de calidad exigidos a las infraestructuras del siglo XXI. Entre 2005 y 2006 se han prolongado los andenes de las 11 estaciones de la línea 3, de Legazpi a Moncloa, para pasar de los 60 m originales a 90 m, lo que permite poner en servicio trenes de mayor capacidad compuestos por 6 coches.

La estación de Sol está ubicada en el distrito Centro bajo la emblemática y bulliciosa Puerta del Sol, centro neurálgico de la capital. En ellas confluyen las líneas más antiguas y atestadas de la red (la 1, 2 y 3).

En 2004 comenzaron las obras tanto de ampliación de la estación para convertirla en un intercambiador con conexión a la red de cercanías de RENFE, como de prolongación de los andenes correspondientes a la línea 3. Esta última actuación incluye, además, la construcción de un acceso que presenta la peculiaridad de situarse en el interior de un conocido centro comercial.

2. AMPLIACIÓN DE LA CAVERNA DE LA ESTACIÓN

2.1 Generalidades

La actuación más singular en la remodelación de la estación de Sol ha sido la prolongación en 30 m de la caverna existente bajo la calle Preciados entre la Puerta del Sol, y la intersección con la calle Tetuán (figura 1).

El incremento de 60 a 90 m de la longitud entre los piñones de la estación, unido al hecho de que la calle Preciados tiene 14 m de anchura en la zona de actuación y la nueva caverna 15 m, suponía que las dos fachadas de los edificios de la calle Preciados (sitos en Puerta del Sol n^{os} 10 y 11) apoyaran en los futuros hastiales de la nueva estación.

La ejecución de los hastiales bajo las fachadas debía realizarse sin que éstas asentaran. Para ello, se realizaron las excavaciones por bataches, colocando bajo las fachadas dos baterías con un total de 32 gatos hidráulicos, que permitían compensar automáticamente los posibles asentamientos.

Éstos transmitían las cargas en profundidad a través de una losa y dos alineaciones longitudinales de micropilotes de gran diámetro, una a cada lado de la calle, de 30 m de longitud y separados 1 m entre sí.

Los gatos, estaban conectados a una central hidráulica gobernada por un equipo informático que permitía, en tiempo real, analizar el comportamiento de los mismos. Simultáneamente, se registraban los movimientos de las fachadas, mediante un sistema de auscultación automática.

2.2 Perfil geológico

El perfil geológico de la zona de obras está formado por un primer nivel de rellenos antrópicos de 1,5 m de potencia, bajo el que se reconoce la facies detrítica de la formación Madrid. Esta aparece interestratificada, alternando niveles que van desde la arena de miga al tosco, de potencia y distribución heterogénea.

2.3 Solución estructural

La nueva caverna se ha resuelto con una losa de cubierta de hormigón armado de 80 cm de canto y 11,5 m de luz entre apoyos, ubicada entre 0,8 y 1,5 m bajo el pavimento de la calle Preciados.

Bajo ésta se ha ejecutado la losa de vestíbulo de 1,2 m de canto que apoya en una primera fase en dos líneas paralelas de micropilotes de 300 mm de diámetro de perforación; armados con tubos de acero de 244,5 mm de diámetro y 20 mm de espesor; separados 1 m entre sí, y con una luz entre apoyos de 11'5 m.

En la fase definitiva, la losa de vestíbulo ha quedado apoyada en los nuevos hastiales de hormigón de la estación recibiendo, además, las cargas de la cubierta a través de las dos filas de micropilotes, que se cortan bajo ella para no penetrar en la zona de andenes.

2.4 Fases de ejecución

Fase 1: Reconocimiento de cimentaciones y refuerzo de túnel existente (Figura 2)

En la primera etapa se llevó a cabo el refuerzo, desde su interior, de la bóveda del túnel de ladrillo existente. Por una parte se procedió a su limpieza y consolidación mediante hormigón proyectado y, por otra, se le colocó un armazón metálico interior.

Desde la calle se investigaron los niveles de las cimentaciones de las fachadas, mediante la ejecución de varios pozos junto a las pilastras de las fachadas de los edificios. Se comprobó la existencia de dos tipologías de cimentación: una, compuesta por pilastras de ladrillo recalzadas varios metros, y otra formada también por pilastras, pero sin recalzar.

Fase 2: Ejecución de micropilotes y losa de cubierta (Figura 3)

Posteriormente, se inició la ejecución, en paralelo a las fachadas de los edificios, de sendas hileras de micropilotes de 300 mm de diámetro de perforación, 30 m de profundidad y separados 1 m entre ejes. Una vez hechos los micropilotes se ejecutó la losa de cubierta por fases.

Fase 3: Excavación bajo losa de cubierta (Figura 4)

Tras reabrirse la calle a los peatones, se inició la excavación bajo la losa de una berma central de 5 m de ancho que, con resguardo suficiente a las cimentaciones, facilitó los trabajos posteriores de excavación bajo las fachadas.

Fase 4: Ejecución de la losa "dentada" de vestíbulo (Figura 5)

En una primera etapa se ejecutaron por bataches excavados a mano los "dientes" de la losa de vestíbulo que, entrando bajo las pilastras de cimentación de las fachadas de los edificios, trabajaron provisionalmente como nuevas zapatas de cimentación de dichas fachadas.

La realización de los "dientes" de esta losa obligaba al mismo tiempo al recalce, también por bataches, de las fachadas hasta el nivel de los "dientes".

En estos recalces de hormigón se dejaron los alojamientos necesarios para la posterior ubicación de los gatos hidráulicos de 200 toneladas de apeo de las fachadas.

Por otra parte, el sistema automático de auscultación DSM (Differential Settlement Monitoring) enviaba en tiempo real los datos de los movimientos de las fachadas a un ordenador, que los analizaba automáticamente.

Una vez finalizada la ejecución de los “dientes” de la losa bajo las fachadas se ejecutó la parte central de la misma conectándola a los “dientes” ya construidos.

Fase 5: Apeo efectivo de las fachadas. Puesta en carga de los gatos hidráulicos (Figura 6)

Cuando la losa de vestíbulo alcanzó la resistencia requerida, se pusieron en carga todos los gatos hidráulicos. En ese momento, las fachadas de los edificios quedaron apoyadas en los gatos que, a través de la losa de vestíbulo, transmitían las cargas de las fachadas a las dos hileras paralelas de micropilotes.

Fase 6: Ejecución de hastiales (Figura 7)

La existencia de 6 huecos de 0,7 x 1,2 m dejados en la losa de vestíbulo, permitió el inicio de la excavación manual y por bataches de los hastiales de la estación.

Para garantizar el contacto entre la losa de vestíbulo y las rebanadas de hastial hormigonadas se dejaron, entre ambas superficies, tubos de inyección.

Fase 7: Corte de micropilotes (Figura 8)

Tras completarse la ejecución de los hastiales e inyectarse el contacto entre hastiales y losa, se cortaron los micropilotes bajo ésta. A partir de entonces, la losa de cubierta pasó a transmitir su carga a la losa de vestíbulo y las fachadas de los edificios se apoyaron, a través de los gatos, en los nuevos hastiales.

Fase 8: Retirada de gatos y demolición del túnel de línea (Figura 9)

Primeramente se inyectó y selló el espacio existente entre el recalce de las cimentaciones de las fachadas y la cara superior de la losa de vestíbulo. Seguidamente se retiraron los gatos y se rellenaron los alojamientos de éstos con mortero, quedando las fachadas apoyadas directamente sobre los hastiales. Durante esta fase, y tras el corte del tráfico de trenes, se inició la demolición del túnel existente para permitir la posterior ejecución de la contrabóveda. Por último, se inició la etapa de acabados y revestimientos que llevaría a la finalización de las obras de la que podríamos denominar Nueva estación de Sol.

3. SISTEMAS DE AUSCULTACIÓN

3.1 Introducción

El control continuo de los edificios afectados por las obras se llevó a cabo adoptando una solución mixta que combinaba la topografía convencional con el empleo de una instrumentación automatizada en tiempo real.

3.2 Parámetros generales de control

Los parámetros más significativos a controlar durante la ejecución de las obras fueron los desplazamientos verticales y desplomes de las fachadas de los edificios cercanos, y la medida de convergencias en el interior del túnel.

Además del sistema automático de medida y registro de datos, se instaló un sistema topográfico convencional compuesto por regletas y puntos de nivelación en las fachadas y clavos para medida de convergencias en el interior del túnel.

3.3 Control de movimientos en edificaciones próximas

3.3.1. Topografía convencional

En todo el ámbito de actuación se instalaron 73 puntos de control.

3.3.2. Sistema automático de control

Para controlar permanentemente los movimientos verticales inducidos en los edificios de Puerta del Sol 10 y 11, se instaló en sus fachadas un sistema automático de control de asientos y desplome (figura 10). Estaba compuesto por: un sistema hidráulico de niveles para controlar los asientos o levantamientos, varios clinómetros fijos que informaban de los desplomes verticales y equipos de adquisición de datos para el registro, almacenamiento, envío de información y activación de alarmas.

Sistema hidráulico de control de asientos

El sistema empleado era de tipo DSM, compuesto por un circuito hidráulico y un conjunto de depósitos instalados en los diferentes puntos de medida. Este sistema, controla asientos diferenciales entre los depósitos mediante una red de sensores conectados por medio de un circuito hidráulico que detecta las distintas presiones del fluido en los puntos de control y las “traduce” a movimientos. Se instalaron 30 puntos de medida que estuvieron en funcionamiento 11 meses (desde agosto de 2005 hasta julio de 2006). En la figura 11 se muestra un gráfico con las lecturas registradas por uno de los DSM instalados.

Sistema Automático de adquisición de datos

En cada edificio se instaló un módulo automático de adquisición global de datos, que registraba, almacenaba y enviaba a una unidad central tanto los datos como los avisos de alarma previamente configurados.

Funcionamiento del sistema

Cada uno de los dispositivos situados en los edificios de Puerta del Sol n^{os} 10 y 11 realizaba y registraba las lecturas del sistema de control de asientos y de los clinómetros. Estos datos se almacenaban en su memoria y, vía cable, un servidor externo los recopilaba, encargándose tanto de filtrar las lecturas, como de cargarlas en las bases de datos y guardar una copia del histórico de datos registrados. También activaba las alarmas preestablecidas y las comunicaba vía SMS a los responsables designados.

El servidor estaba permanentemente conectado a Internet, de forma que todas las partes implicadas en el proceso podían actualizar los datos en su equipo informático personal y visualizarlos mediante una aplicación informática capaz de integrar toda esta información (figuras 10 y 11).

4. SISTEMA HIDRÁULICO DE APEO DE FACHADAS

4.1 Descripción

El equipo material estaba formado por una central hidráulica y 32 gatos de 200 T y 50 mm de carrera equipados con sensores de presión y desplazamiento. El sistema se controlaba con un autómata programable que permitía el funcionamiento automático de los gatos de un modo sincronizado, así como la introducción de puntos de alarma tanto en fuerza como en desplazamiento, y el rearme automático de los gatos, de manera que las fuerzas y los desplazamientos se encontraran siempre dentro del rango de valores deseados.

4.2 Base teórica

Para el apeo de las fachadas de los edificios Puerta del Sol n^{os} 10 y 11 se colocaron 32 gatos hidráulicos en la base de la cimentación de las mismas.

Se hizo una estimación de la carga transmitida por las cimentaciones de las fachadas en función de su altura, espesor e índice de huecos, luces de las crujiás del interior de los edificios y número de plantas de cada edificio. La carga máxima estimada por gato resultó ser de entre 140 T y 160 T, lo que determinó la elección del equipo hidráulico de apeo.

4.3 Etapas del proceso de apeo

4.3.1. Colocación de gatos hidráulicos

Se colocaron cada uno de los 32 gatos en los alojamientos metálicos dejados a tal fin en la fase de recalce de las cimentaciones existentes. Los gatos se posicionaron perfectamente centrados en dichos espacios, de forma que por una parte su carga se distribuyese uniformemente a los “dientes” de la losa y, por otra, en el caso de sufrir una avería alguno de ellos, se pudiese sustituir mediante la colocación de 4 gatos adicionales de 50 T.

4.3.2. Puesta en carga de gatos hidráulicos

La puesta en carga se llevó a cabo introduciendo la carga en escalones del 10%. En cada escalón de carga se analizaba el movimiento vertical de cada uno de los puntos de control de las fachadas y el desplazamiento (asiento) medido por los sensores situados junto a cada gato, entre la losa y el recalce de fachada.

Durante esta fase, se previeron dos posibles situaciones que podían conducir a parar el proceso de carga: bien la elevación de la fachada en 1 mm (valor que sería proporcionado por los DSM), o bien, el registro, por parte de los sensores de desplazamiento colocados entre dientes de losa y fachada de un asiento superior al previsto.

4.3.3. Corrección de asientos, alarmas y dispositivos de aviso

Una vez apeadas las fachadas, durante los 5 meses que duraron las labores de ejecución de los hastiales, la central hidráulica que gestionaba los gatos mantenía su carga, mientras éstos corregían automáticamente los asientos que se iban produciendo por efecto de las excavaciones.

En esta etapa, se elaboraban unos gráficos que mostraban el comportamiento de cada gato y su sensor de desplazamiento asociado (figura 12).

El equipo hidráulico utilizado permitió, asimismo, la programación de una serie de alarmas (acústicas y visuales) que avisaban de cualquier anomalía o hecho significativo que se produjese en las diferentes fases de trabajo.

5. AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a la Dirección de Obra de Metro de Madrid y a su Asistencia Técnica, su empeño y plena disposición para resolver las dificultades que se presentaron y llevar a buen término la obra. En concreto a D. José Antonio Gallego, Director de Obra, D. Jacinto Costumero Rodríguez, Gerente de Proyectos y Obras de Ampliación, D. Juan Carlos Díez Martín, Jefe de la Unidad de Obra Civil de Metro de Madrid, así como a D. José Ramón Arias, Jefe de la Unidad de Asistencia Técnica de TYPESA

También queremos dar las gracias al equipo de obra de la Delegación de Transportes de FCC Construcción que, desempeñando su labor con tesón y brillantez, ha llevado a buen término la ejecución de una obra tan compleja en un tiempo récord.

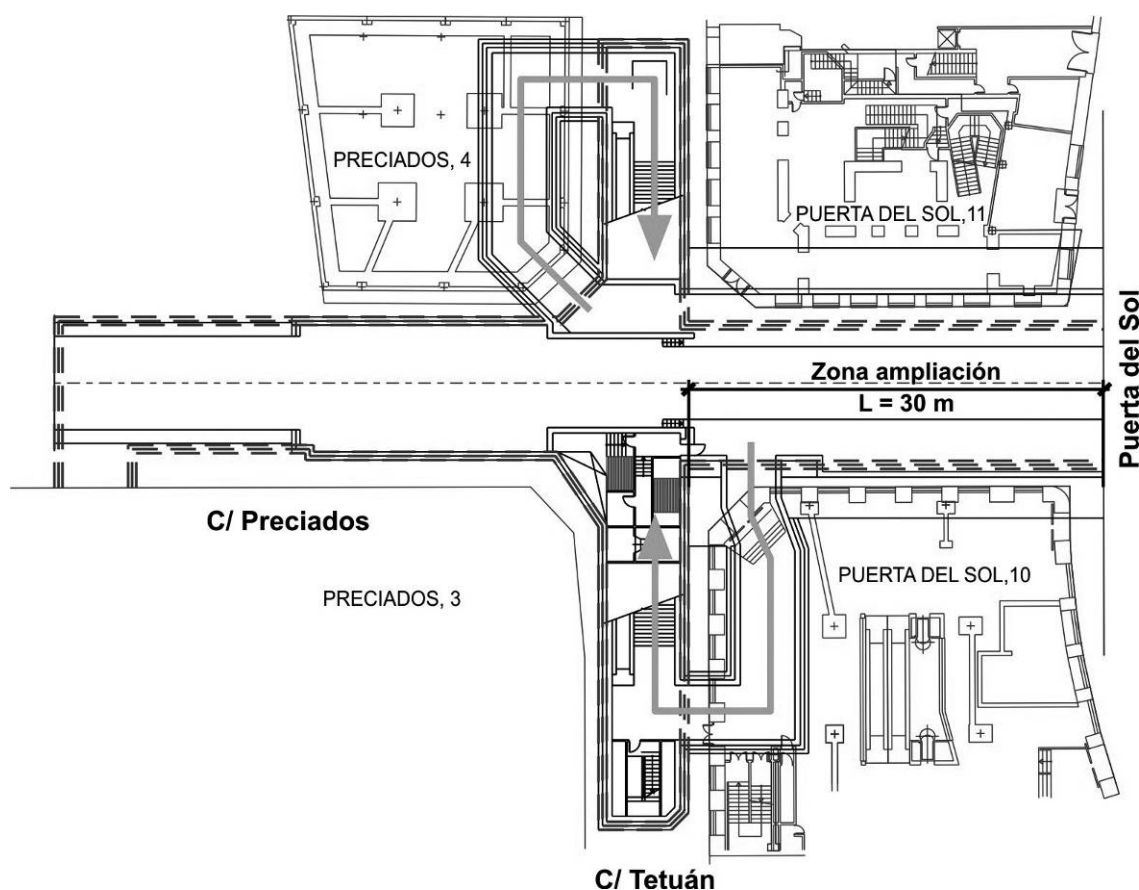


Figura 1 Planta general nueva Estación Sol

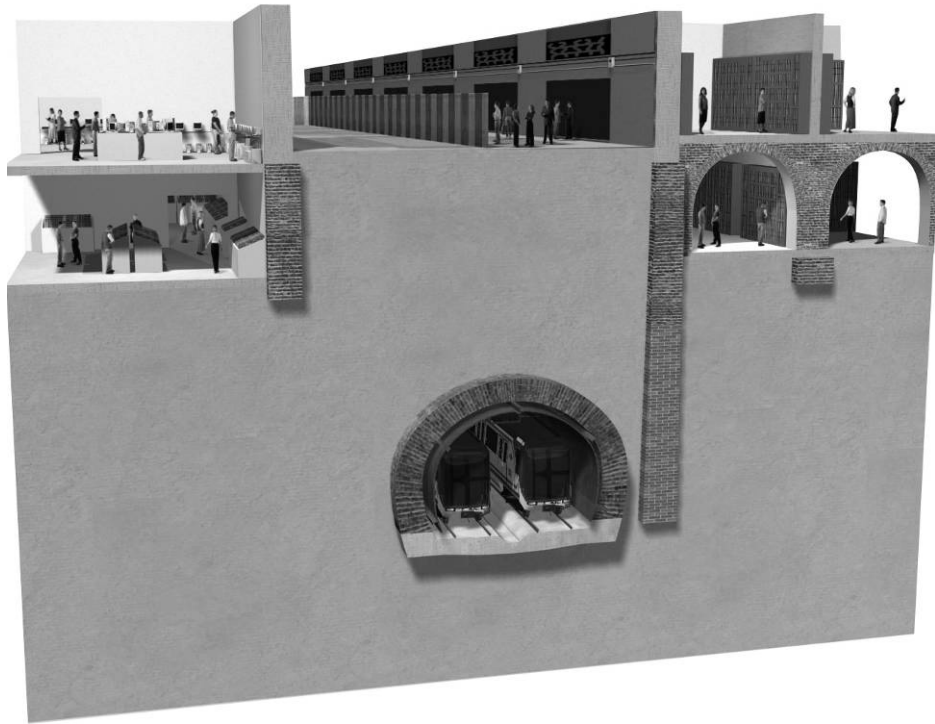


Figura 2. Fase 1: Reconocimiento de cimentaciones y refuerzo de túnel existente

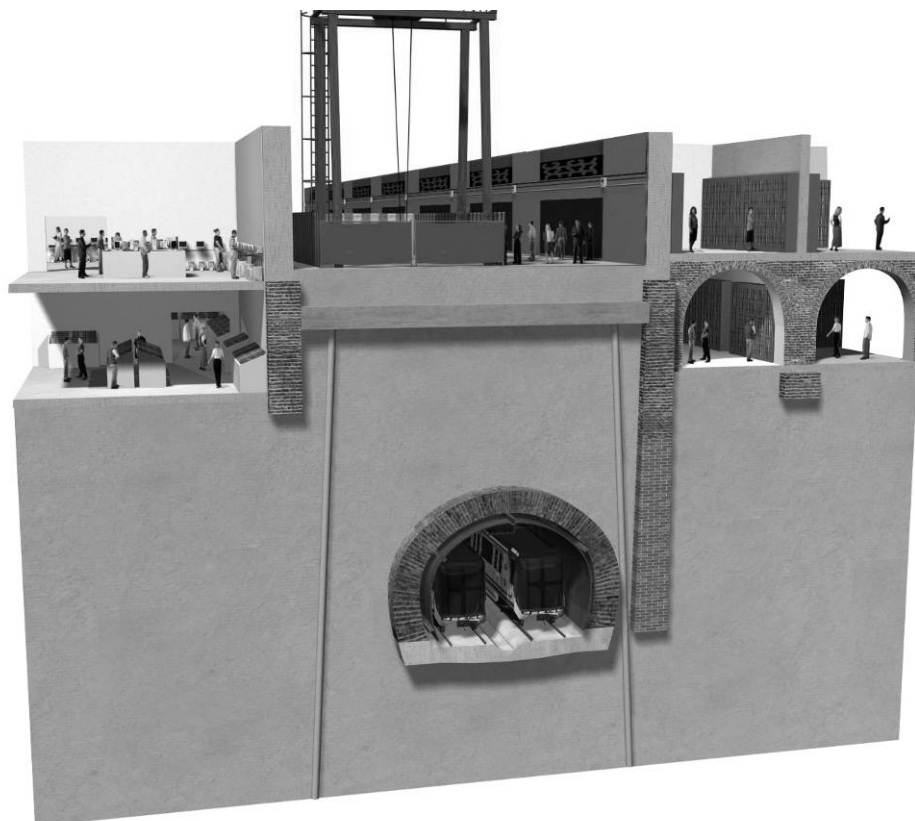


Figura 3. Fase 2: Ejecución de micropilotes y losa de cubierta

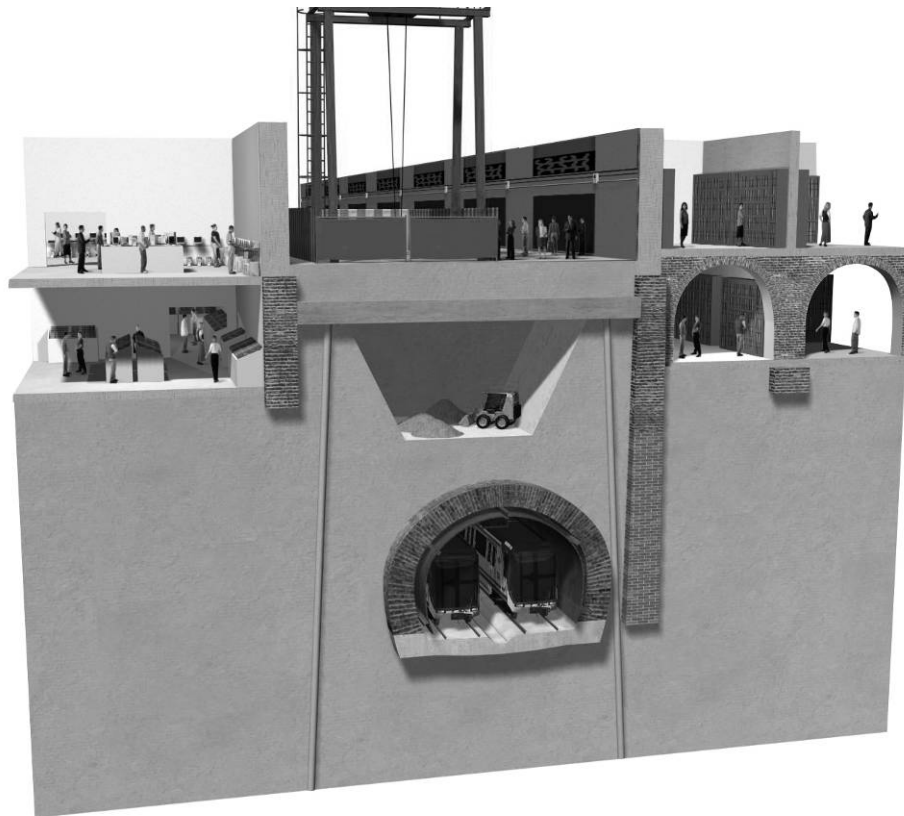


Figura 4. Fase 3: Excavación bajo losa de cubierta

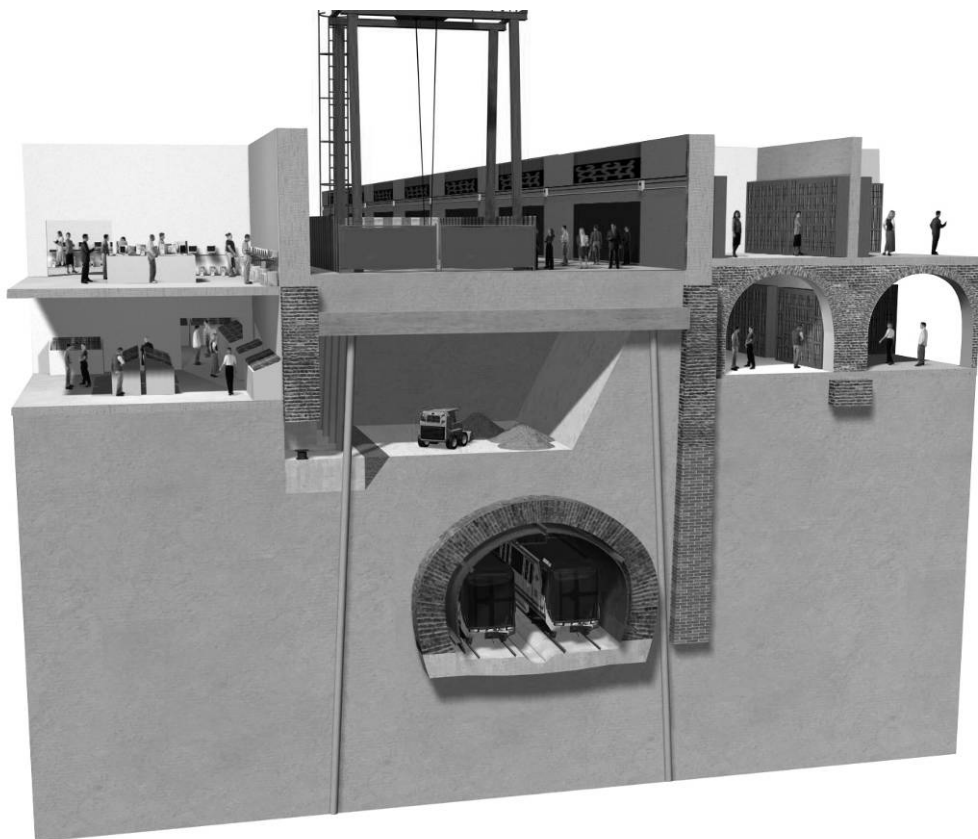


Figura 5. Fase 4: Ejecución de la losa "dentada" de vestíbulo

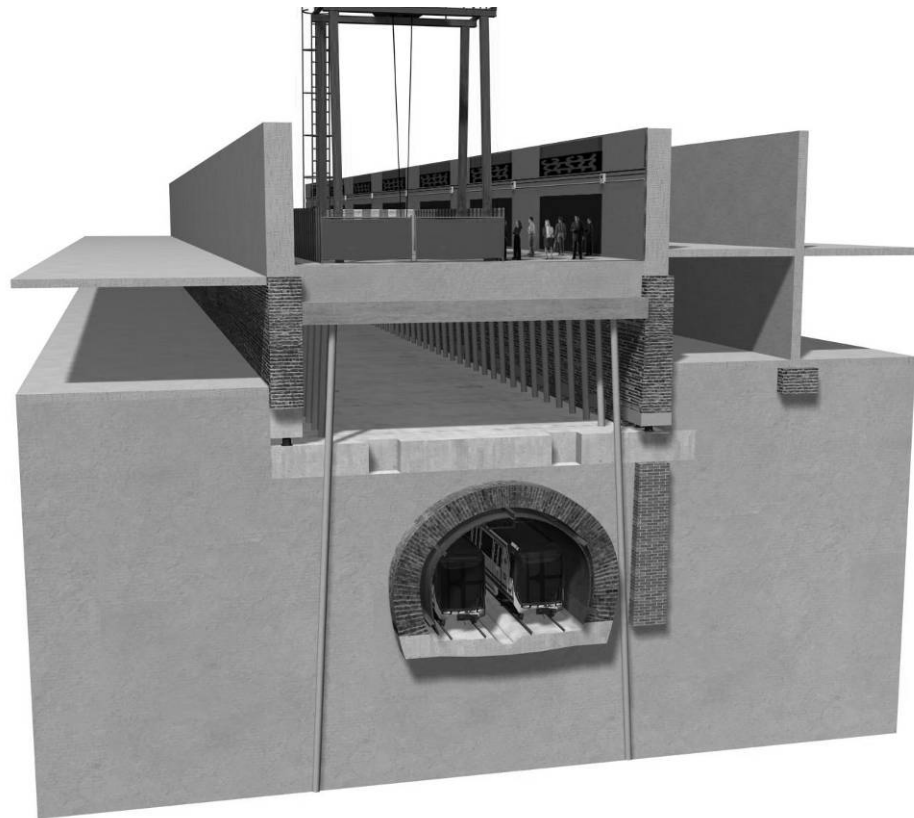


Figura 6. Fase 5. Apeo selectivo de las tachuelas. Puesta en carga de los gatos hidráulicos

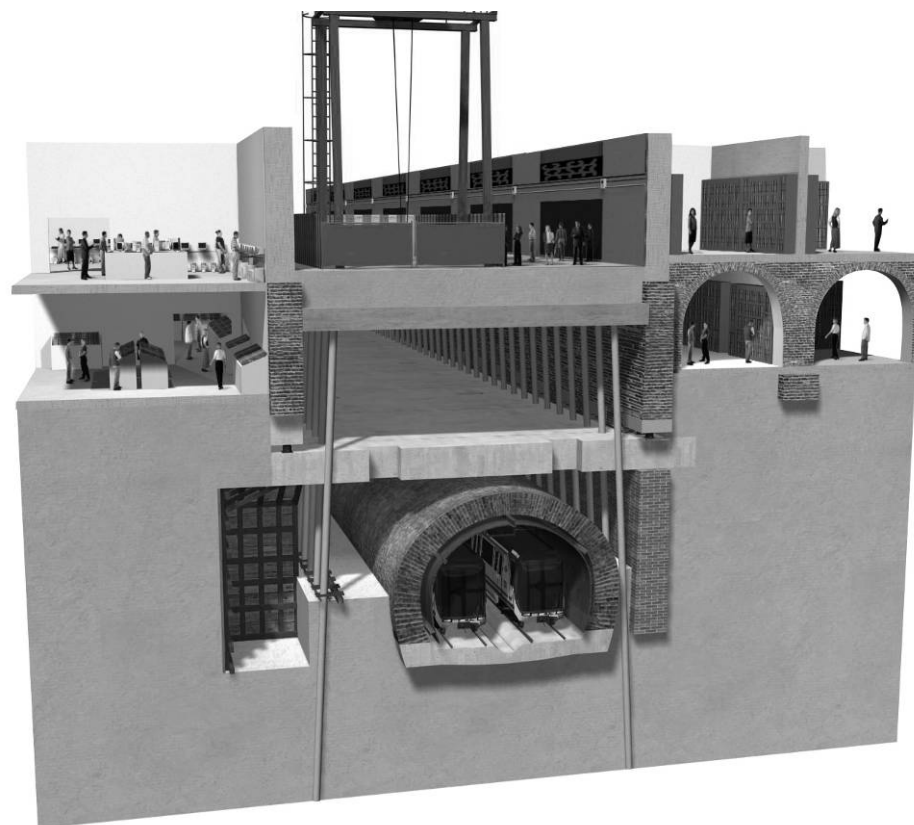


Figura 7. Fase 6: Ejecución de hastiales.

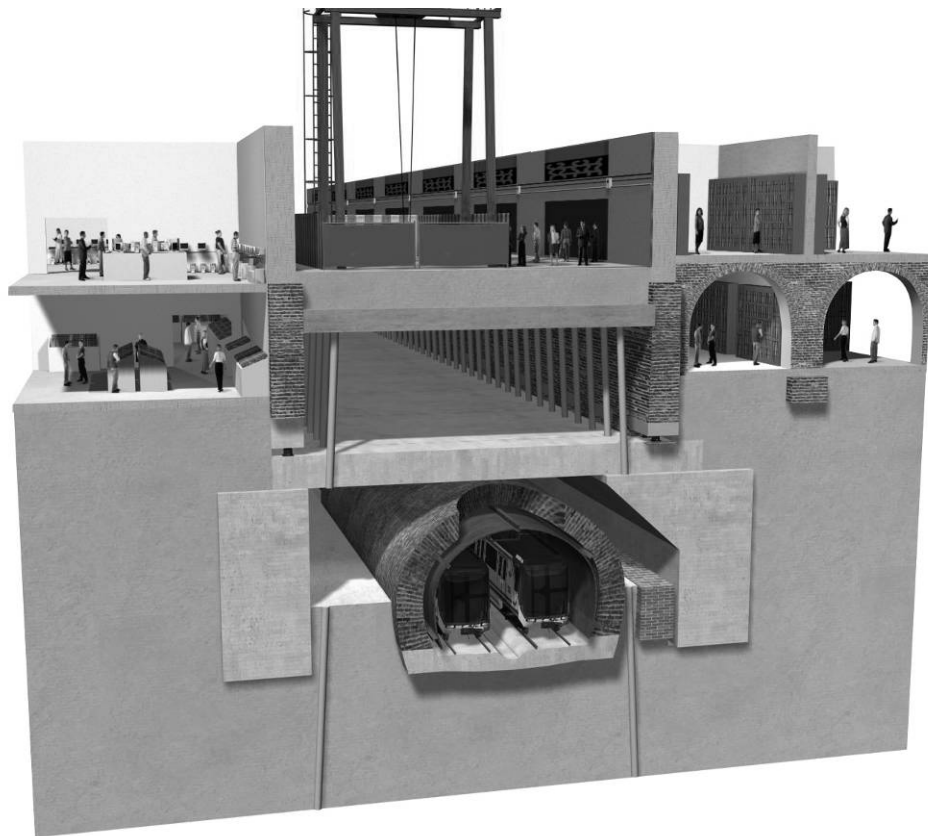


Figura 8. Fase 7: Corte de micropilotes

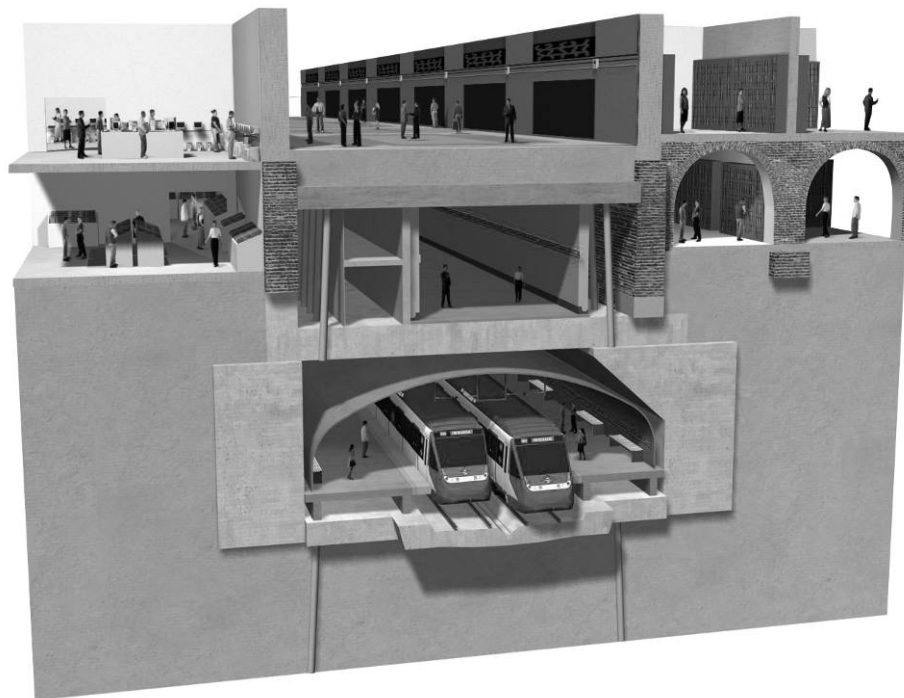


Figura 9. Fase 8: Retirada de gatos y demolición del túnel de línea

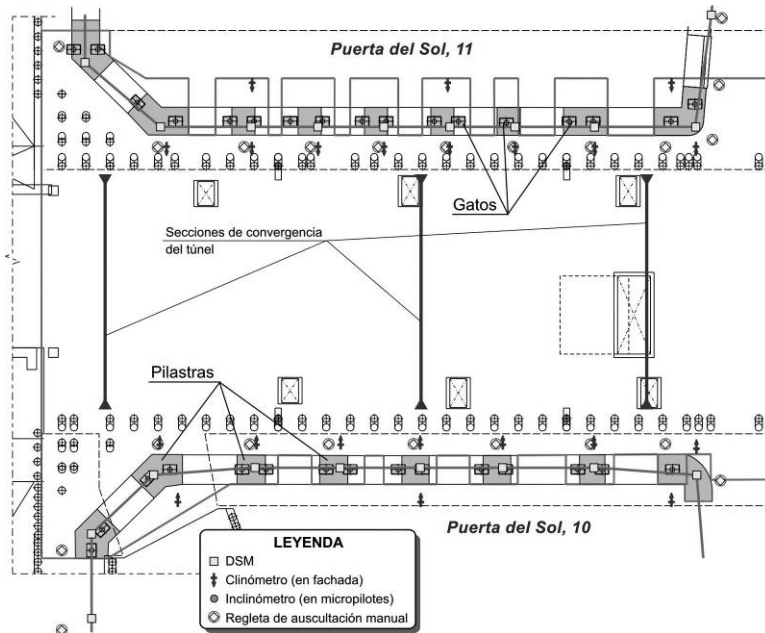


Figura 10. Planta de vestíbulo “dentada” y sistemas de auscultación

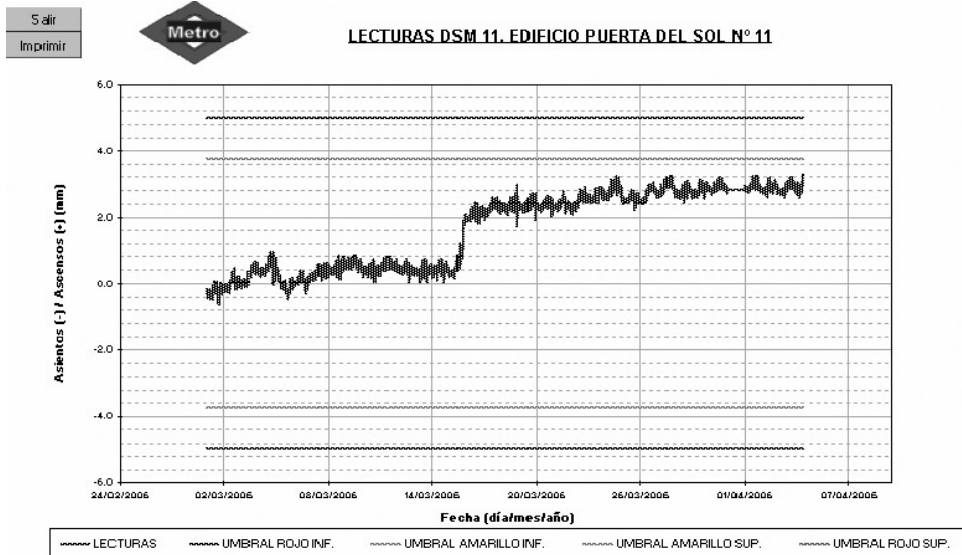


Figura 11. Obtención en tiempo real de asientos en fachada GATO 11 - 11

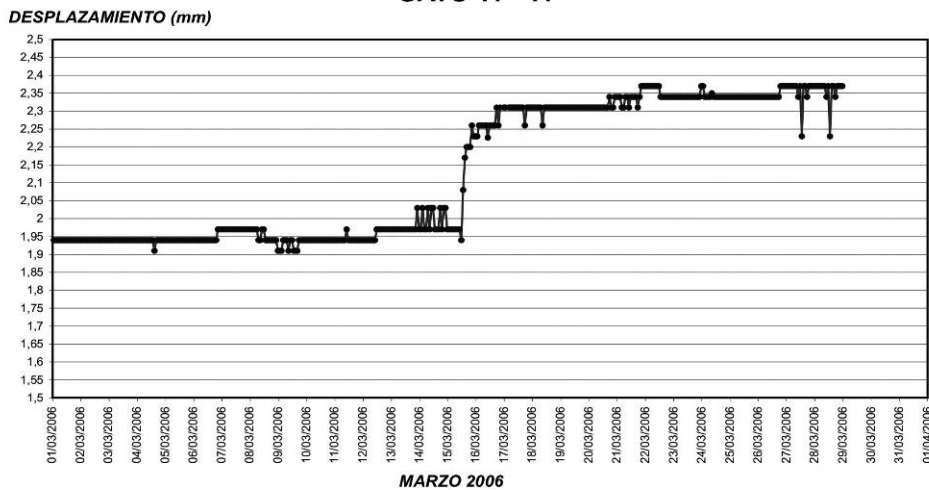


Figura 12. Registro de desplazamientos en el gato 11-11