

CONTRATO 6. TRAMO X: GETAFE 8 – LEGANÉS 6

CONTRACT 6: SECTION X. GETAFE 8 – LEGANES 6

ROSA OLIVÉ BARRAU. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos
Directora de Obra. MINTRA. admon@mintra.c.telefonica.net

RESUMEN: El artículo describe la ejecución de la obra de Metrosur correspondiente al Contrato nº 6 en Leganés. Los aproximadamente siete km de trazado fueron recorridos por la tuneladora empleada en tan sólo 352 días de calendario. Además se han realizado seis estaciones, una de ellas de intercambio con la estación de cercanías de RENFE con tres niveles y gran complejidad que ha incluido la demolición del antiguo edificio y la integración de la estación en el nuevo, sin interrupción del servicio.

PALABRAS CLAVE: METROSUR, LEGANÉS, TÚNEL, ESTACIONES

ABSTRACT: The article describes the work on Contact 6 of the Metrosur in Leganes. The approximately seven kilometre section was cut by a tunnelling machine within just 352 days. The section also includes six stations, one of which serving as an interchange with the Renfe metropolitan railway and set on three levels. This construction of this station was highly complicated and involved the demolition of the former structure and the integration of the new station without any loss of train service.

KEYWORDS: METROSUR, LEGANES, TUNNEL, STATIONS

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA OBRA

El contrato nº 6 del anillo que forma Metrosur se encuentra en su mayor parte en el municipio de Leganés. Este contrato tuvo un presupuesto de adjudicación de 29.359.214.358 ptas (aproximadamente 176.000.000 €) con un plazo de ejecución de 29 meses. La longitud total del tramo es de 6.994 m., de los cuales 6.238 m. son de túnel de línea y los 756 m. restantes son el desarrollo de las seis estaciones de que consta éste proyecto. Además en los tramos interestación existen seis pozos de ventilación de los que cuatro lo son también de bombeo y dos salidas de emergencia.

El trazado comienza en el polígono del Bercial, en el límite de Getafe, donde se encuentra la estación del mismo nombre. Desde ahí el túnel continúa bajo la Avenida del Rey Juan Carlos I, cruzando los barrios del Carrascal y Zarzaquemada, con una estación en cada uno de ellos. Sigue el recorrido por la Avenida de La Mancha, a lo largo del parque Pablo Picasso, llegando, por la Avenida de Gibraltar, a la cuarta estación de nuestro recorrido, junto a la Plaza de

toros "La Cubierta" y al Ayuntamiento de Leganés. Continúa por la Avenida del Doctor Fleming y tras cruzar la Avenida de Fuenlabrada se encuentra la quinta estación, dando servicio en la misma puerta del Hospital Severo Ochoa. Siguiendo aproximadamente la alineación de la Avenida de Orellana y la Avenida del Cobre llegaremos a la sexta y última estación, situada junto a la actual estación de cercanías. A continuación, y bajo la línea del ferrocarril militar, nuestra línea llega hasta las inmediaciones del campo de tiro, para enlazar con el contrato nº 1 de Metrosur que atraviesa Alcorcón.

Distancia entre estaciones:

Bercial	Estación 1	1.496 M.
Estación 1	Estación 2	1.046 M.
Estación 2	Estación 3	1.364 M.
Estación 3	Estación 4	900 M.
Estación 4	Estación 5	1.005 M.
Estación 5	Fin del tramo	1.183 M.

2. GEOTÉCNIA

Los terrenos por los que atraviesa la nueva línea pertenecen a las formaciones típicas de Madrid. El nivel de agua se mantiene en torno a la cota 615 en todo el entorno, que coincide aproximadamente con la clave del túnel en casi todo el trazado.

La clave del túnel se ha excavado, en toda la longitud, en arenas tosquizas, tosco y arena de miga, y la solera en arena de miga hasta el primer tercio del tramo, en arenas micáceas a continuación y la mitad final del tramo en peñuela. Los materiales tosquizos son mezclas de arenas y arcillas en distintas proporciones que en función de su formación pueden presentar grandes variaciones en dureza y cohesión.

En general la principal dificultad que el terreno ofreció a la excavación con escudo fué debida a la heterogeneidad del frente. La presencia de agua fué relativamente constante con presiones y caudales manejables salvo algunas capas arenosas que produjeron puntualmente caudales importantes. También se cruzó por zonas de influencia de antiguos pozos, que produjeron aportaciones de agua masivas, pero de poca duración. Igualmente se detectaron bolsas de agua colgadas sobre el nivel freático y algunos riachuelos subterráneos circulando por los contactos entre capas de diferente permeabilidad. Todo ello se pudo solventar sin demasia-

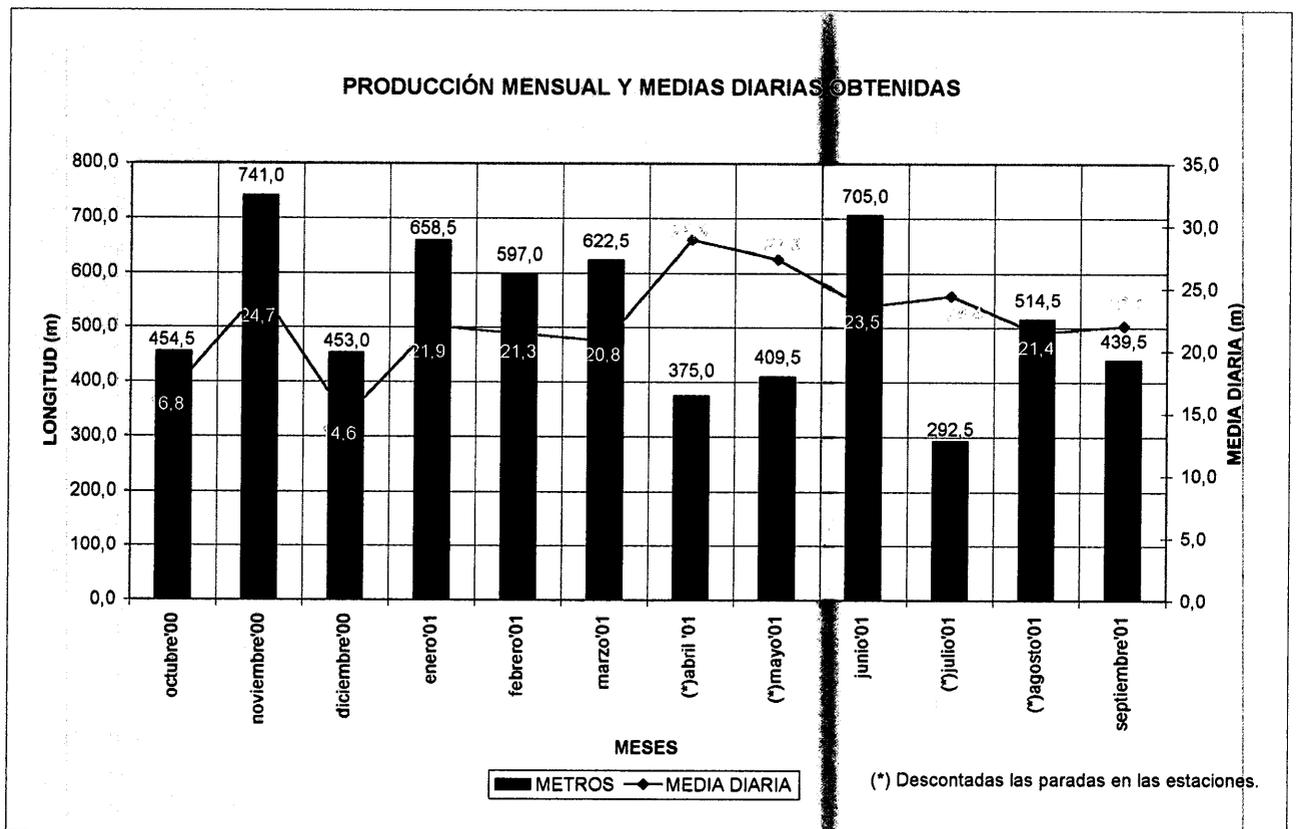
dos problemas con el trabajo en presión de la cámara del escudo, que hizo que las afecciones en superficie fueran mínimas y por debajo de las esperadas.

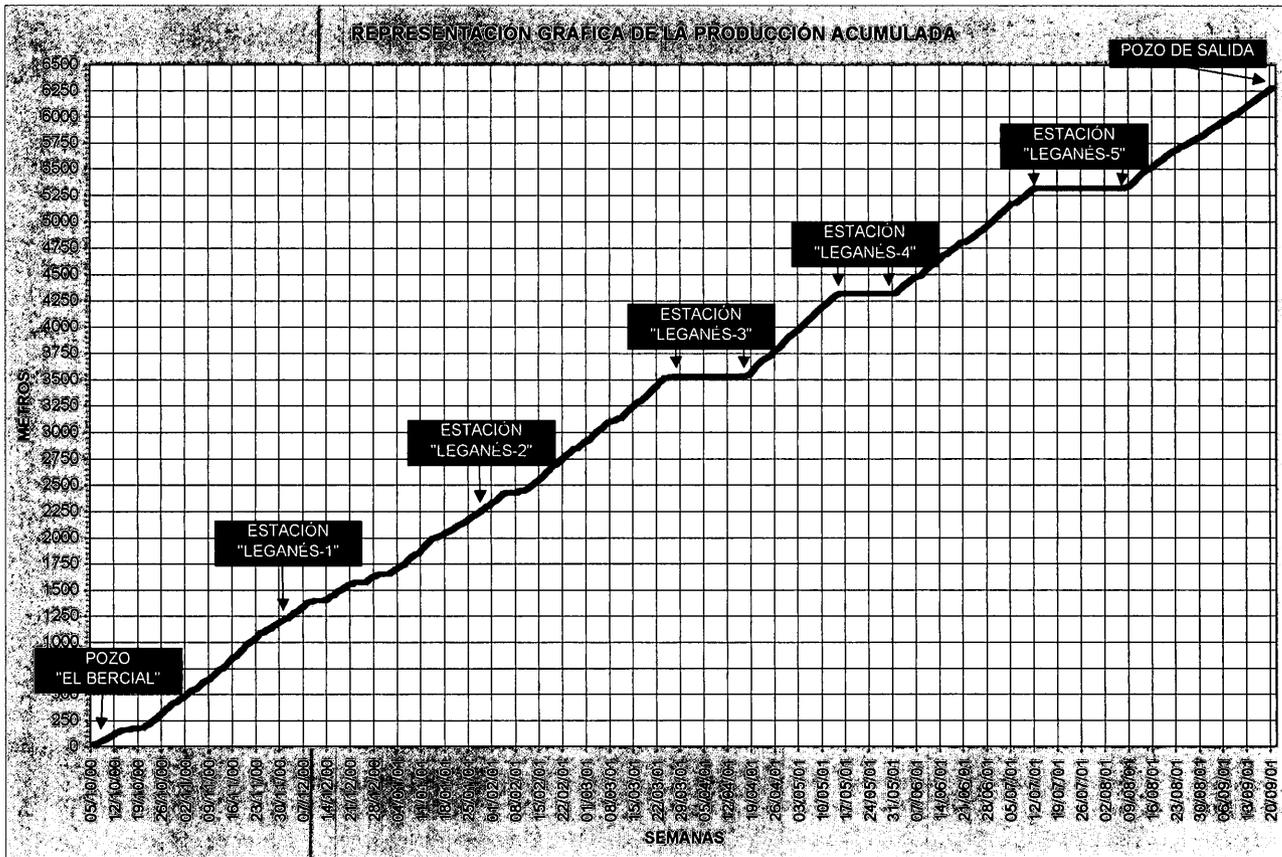
3. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

3.1. EL TÚNEL

El túnel de línea se ha ejecutado mediante escudo EPB (Earth Pressure Balance) de NFM (licencia Mitsubishi) Este escudo, que ha trabajado anteriormente en las líneas 4 y 8 del Metro de Madrid tiene también la posibilidad de trabajo en sistema abierto, aunque debido a la presencia de agua la excavación se ha ejecutado en presión.

El diámetro interior del túnel construido es de 8,43 m., gálibo mínimo necesario para los vehículos que Metro de Madrid utiliza en su explotación. El diámetro de excavación es de 9,38 m. siendo el revestimiento constituido por dovelas tipo Madrid, prefabricadas de hormigón armado de 0,32 cm de espesor, con forma preparada para describir radios mínimos de 250 m. Cada anillo está formado por seis dovelas más una dovela llave troncocónica que se unen entre sí mediante tornillos. La unión entre anillos se realiza igualmente mediante 13 tornillos de acero zincado equidistantes; dos por dovela con uno sólo en la dovela llave, aun-





que previamente quedan posicionados mediante tetones y huecos moldeados en el canto de la dovela. En la parte inferior del interior del anillo se coloca una nueva dovela de base, sobre la que apoyan las vías provisionales.

El espacio entre el trasdós de las dovelas y la excavación se inyecta de forma inmediata con mortero de cemento, con objeto de reducir al mínimo las subsidencias en superficie.

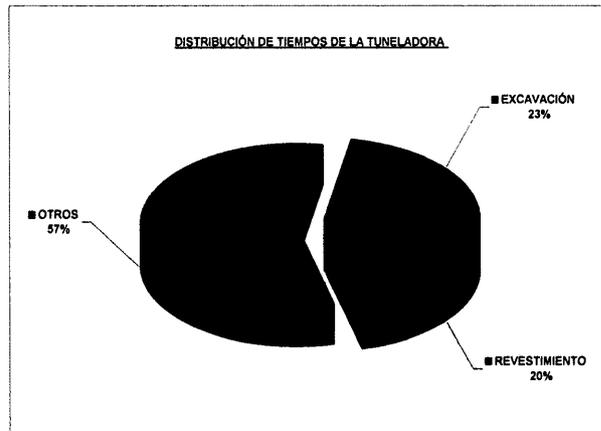
El principal problema encontrado durante la excavación del túnel ha sido la heterogeneidad del frente, que ha obligado a continuos cambios de las proporciones de espumas y polímeros inyectados en cabeza para permitir una fluida extracción del escombros. Incluso en un pequeño tramo se hizo necesario el montaje de seis cortadores en la cabeza para lidiar con una capa de arenisca de apreciable dureza. La presencia de agua fue prácticamente constante, aunque sin presiones importantes.

Hay que destacar el paso que ha realizado la tuneladora bajo tres aparcamientos subterráneos en la avenida de D Juan Carlos I, donde durante más de 300m el recubrimiento sobre la máquina fue de alrededor de 5m y no se produjeron incidencias recalables.

También es de resaltar que debido a que el primer "cale" en estación se realizó a unos 3500 m del pozo de ataque se hizo necesario cambiar los cepillos de cola en túnel,

ya que su excesivo desgaste les impedía cumplir su función de contener el agua aparte de incrementar desproporcionadamente el consumo de grasa. La operación se completó con éxito a base de desmontar alternativamente las dovelas de los anillos situados en el interior de la coraza, conteniendo en lo posible la entrada de agua mientras se cambiaban. En total se tardaron cinco días en reponer completamente el anillo de cepillos que sellan la cola del escudo.

El cruce de la tuneladora por las estaciones se ha realizado sobre la losa de contrabóveda de las mismas. En caso



CARACTERÍSTICAS DE ESCUDO NFM

Diámetro	9,38 m
Longitud	11,58 m
Longitud Back-Up.....	91,6 m
Longitud Californiano.....	23,66 m
Longitud total	127,84 m

PESOS

Escudo.....	890 Tn
Back-Up.....	570 Tn
Californiano.....	10 Tn
Peso Total	1.470 Tn

PARÁMETROS

Potencia Instalada.....	4.100 Kw
RPM	0-2,4
Nº Toberas de inyección de mortero y grasa de cola 4+4	
Cilindros de empuje	26
Empuje Máximo.....	10.000 Tn
Par de trabajo	1.705 Tn-m
Par desbloqueo	2.217 Tn-m

de las estaciones 1 y 2, al producirse el paso del escudo antes de que éstas estuvieran excavadas, el cruce se hizo en túnel procediéndose después a la demolición de las dovelas.

La excavación del túnel comenzó el 5 de Octubre del año 2000, apenas tres meses después del comienzo de la obra, y se terminó el 21 de Septiembre del año 2001.

En esos 352 días naturales la tuneladora recorrió 6628,5 m., desde su pozo de ataque que se situó en el Bercial hasta el final del tramo. Se trabajó mediante relevos de 8 horas, 24 horas al día y 7 días por semana.

El avance medio absoluto fue pues de 18,8 m/día., que consideramos un verdadero hito en la construcción de túneles de éste diámetro. Además hay que explicar que de esos 352 hubo en total 81 días de parada completa de la excavación; 63 fueron por paso de estaciones, 12 por averías o mantenimiento y 6 por vacaciones. Descontando los 63 días empleados en el cruce de estaciones y su longitud correspondiente obtenemos un aún más impresionante promedio de 21,61 m./día o uno de 22,07 si no consideramos los días de vacaciones.

3.2. ESTRUCTURA DE ESTACIONES

Dado el gran espacio que ocupa en planta una estación, para minimizar el tiempo de ocupación de esta superficie en el centro de la ciudad, se han ejecutado por el procedimiento de "cut and cover", esto es, en primer lugar se hacen muros pantallas que forman los muros laterales de la esta-

ción y a continuación se hormigona la losa superior apoyándose en ellos y en el terreno existente para por último excavar en mina bajo esa losa y ejecutar el interior de la estación.

En detalle las fases son las siguientes:

1. Desvíos de servicios y tráfico.
2. Excavación hasta la plataforma de trabajo, ejecución de muros-guía y realización de las pantallas. Donde sea necesario se sustituirá el terreno excavado por lodos bentoníticos para asegurar la estabilidad de la excavación. Ejecución simultánea de las pilas-pilote.
3. Demolición de los muros-guía y saneo de la coronación de las pantallas y pilas-pilote.
4. Rasanteo compactado hasta unos centímetros bajo cota inferior de losa de cubierta. Extendido y nivelado de mortero de cemento. Apoyo sobre éste del encofrado de fondo de losa, contrachapado ranurado. Hormigonado de la losa de cubierta.
5. Reposición de la superficie preexistente sobre losa y devolución de la superficie ocupada con reposición de tráfico si lo hubiere.
6. Excavación de una rampa entre pantallas para acceso al vaciado de tierras de la estación y vaciado hasta cota de vestíbulo.
7. Ejecución de la losa y estampidores a nivel de vestíbulo. El apoyo en las pantallas se materializa mediante pasadores de acero corrugado (25 anclados con resina).
8. Rebaje de la rampa de extracción de tierra y vaciado hasta la cara inferior de contrabóveda, y ejecución de la misma.

En el caso de las estaciones 1 y 2 que no estuvieron excavadas al paso del escudo por ellas, hay que añadir la demolición del túnel de dovelas durante la excavación del nivel inferior.

3.3. POZOS

Los distintos pozos incluidos en el proyecto se han resuelto también mediante muros pantalla, para minimizar la ocupación en superficie y resolver los problemas que hubiera podido plantear la existencia de agua.

Una vez ejecutadas las pantallas se realizó la excavación mediante retroexcavadoras adecuadas al tamaño del pozo con extracción vertical del escombro por contenedores.

Se han situado marcos interiores a distintos niveles para el arriostamiento de las pantallas, que se construyeron conforme se alcanzaba la profundidad a la que se habían diseñado.

Alcanzada la cota de la solera de fondo, se procedió a la ejecución de la misma, y a los tratamientos del terreno cuando eran aconsejables antes de perforar en mina la galería de conexión al túnel.



3.4. GALERÍAS

Para la conexión del túnel de línea con los pozos se han realizado galerías excavadas con el método clásico del Metro de Madrid que contempla las siguientes fases:

- a) Como se apuntó en el apartado anterior en primer lugar y previo a la demolición de la pantalla del pozo se consolidó el terreno, cuando se juzgó necesario mediante jet-grouting o paraguas de micropilotes.
- b) Excavación del avance por fases a partir de una galería central con clave totalmente entibada. La anchura total se alcanza por excavación de galerías adosadas a la inicial y realizadas alternativamente a uno y otro lado. A continuación se procedía al hormigonado de la bóveda.
- c) Excavación de la destroza y excavación y hormigonado posterior de los hastiales por batches.

Estación Casa del Reloj, marzo 2001. Excavación en vaciado del futuro vestíbulo de andenes y ejecución de la contrabóveda de apoyo del Escudo. A la derecha, operaciones de hormigonado de la contrabóveda mediante bombeo de hormigón hidráulico.

Cale del Escudo en la Estación Casa del Reloj. 26/03/2001.



- d) Excavación y hormigonado de la contrabóveda por secciones cuando el terreno lo requiera.

3.5. SUPERESTRUCTURA DE VÍA

Una vez retiradas las vías provisionales se rellena la zona inferior del anillo con una capa de aproximadamente 1m de suelo-cemento compactado para alcanzar cota de hormigonado para la vía en placa.

La vía se coloca sobre tacos de hormigón con fijaciones tipo SKL1. Debido a la relativa pequeña longitud del tramo toda la operación se ha realizado manualmente. En primer lugar se posicionaba la vía con sus tacos soportada por pódicos provisionales apoyados en el suelo cemento y a continuación se procedía al hormigonado de la misma. Los pódicos se podían liberar por estar sus patas embutidas en tubos de plástico que quedaban perdidos en el hormigón.

Los tramos de hormigonado son de unos 80 m., a sección completa del túnel, es decir, doble vía. En todo momento se encontraban en actividad tres tramos de 80m, (preparación, ejecución y desmontaje); el hormigonado diario de un tramo requiere el trabajo nocturno de un equipo para el ajuste definitivo del tramo a ejecutar el día siguiente.

3.6. ARQUITECTURA DE ESTACIONES

Los acabados que se han realizado en Metrosur son los habituales del Metro de Madrid.

La tabiquería es en general de ladrillo de distintos espesores para los cuartos, enfoscada y pintada o alicatada, con falsos techos de distintos tipos y suelo de terrazo. Escaleras de emergencia en hormigón revestidas igualmente de terrazo.

Para las zonas públicas, vestíbulos, andenes..., los techos son pintados o de hormigón visto. Los revestimientos de las paredes son de panel antigraffiti tipo Vitrex hasta la altura accesible, y panel de acero estirado el resto de los mu-



ros, todo sobre estructura de acero galvanizada. Los suelos son de placa de alta resistencia tipo Terastone con escaleras de granito. Barandillas, revestimientos de pilas y otros remates decorativos son de acero inoxidable.

5. AUSCULTACIÓN

Para poder calibrar modelos de comportamiento del terreno en las distintas fases de ejecución, comprobar la



bondad de las hipótesis de proyecto y mantener los niveles de seguridad exigidos el Proyecto se incluyó una partida del presupuesto para auscultación del terreno y control del comportamiento de las estructuras.

A lo largo del trazado del túnel se colocará un punto de nivelación cada 50 m. y un perfil que comprende 3 extensómetros y 8 puntos de nivelación en zonas más sencillas.

Además en todos los edificios cercanos se pusieron regletas de nivelación en fachadas.

Entronque del túnel con la estación de Casa del Reloj. Las instalaciones del túnel en construcción. A la derecha, Estación de Julián Besteiro, noviembre 2001. Tras el paso del Escudo se procede a la demolición del revestimiento de dovelas y excavación del vaciado.



Estación Leganés Central, mayo 2001. Excavación en vaciado del segundo vestíbulo. En primer término la futura ubicación de la subestación eléctrica.

Estación Hospital Severo Ochoa, noviembre 2002. Trabajos de finalización en el vestíbulo de andenes.



FICHA TÉCNICA

PROMOTOR	MINTRA (Madrid, Infraestructuras del Transporte) Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes. Comunidad Autónoma de Madrid
AUTOR DEL PROYECTO DIRECCIÓN DE OBRA	MINTRA, PROSER Manuel Arnáiz Ronda, <i>Ingeniero de Caminos, C. y P.</i> Rosa Olivé Barrau, <i>Ingeniero de Caminos, C. y P.</i>
ASESOR GEOTÉCNICO	Carlos Oteo Mazo, <i>Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.</i>
CONSTRUCTORA	DRAGADOS CONSTRUCCIÓN P.O., S.A. Álvaro Fernández Cota, <i>Ingeniero de Caminos, C. y P.</i>
ASISTENCIA TÉCNICA	INCOYDE, S.A. – INGEOTEC, S.A. Pablo Ferrer Lucíañez <i>Ingeniero de Caminos, C. y P.</i>
CONTROL DE CALIDAD	GEOTEYCO, S.A.
PRESUPUESTO	210.863.985 Euros
PRTESUPUESTO DE INSTALACIONES	43.187.511 Euros
PLAZO DE EJECUCIÓN	29 Meses

Se ha realizado un estudio para ejecutar tratamientos de Jet Grouting, inyección de compensación etc. En edificios que pudieran sufrir asentamientos significativos.

En las estaciones se hicieron 4 perfiles instrumentados en las pantallas que constan de 4 células de presión, inclinómetros y extensómetros. El revestimiento del túnel se monitoriza a través de dovelas instrumentadas con células de presión y extensómetros y un control realizado regularmente de la deformación geométrica de la sección mediante pernos de convergencia.

En total el número de aparatos colocados ha sido:

- Regletas de nivelación973
- Hitos de nivelación427
- Extensómetros de varilla64
- Células de presión167
- Extensómetros de cuerda vibrante290
- Inclinómetros32
- Piezómetros.....3
- Extensómetros incremental4