

CONTRATO 1. LEGANÉS – ALCORCÓN – MÓSTOLES

CONTRACT 1. LEGANÉS – ALCORCÓN – MÓSTOLES

MANUEL HERRERA ÁLVAREZ. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Director de Obra. MINTRA. *admon@mintra.c.telefonica.net*

VALENTÍN RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ. Ingeniero Técnico de Obras Públicas

Director de Obra. MINTRA. *admon@mintra.c.telefonica.net*

RESUMEN: El Contrato nº 1 de METROSUR comprende un tramo de túnel de 9.637 m, cinco estaciones, y una conexión a Línea 10 de unos 640 m.

Comienza en la estación de San Nicasio, en Leganés, atraviesa Alcorcón bajo avenidas principales y termina en el inicio de la estación Universidad Rey Juan Carlos, perteneciente al tramo contiguo (Contrato Nº 2), en Móstoles. Se describen los condicionantes del trazado y el análisis de subsidencias durante la fase de proyecto y obra, así como las características de la tuneladora, controles y tratamientos del terreno durante la ejecución del túnel con escudo de presión de tierras (E.P.B.)

PALABRAS CLAVE: TUNELADORA, METRO, ESTACIONES, INTERCAMBIADOR

ABSTRACT: Contract 1 of the METROSUR consists of a 9,637 m tunnel section, five stations and a 640 m connection to Line 10.

This section begins at the San Nicasio station in Leganes and crosses Alcorcon under the main roads and finishes in Mostoles at the start of the Universidad Rey Juan Carlos station, pertaining to the adjacent section (Contract No. 2). The article describes the route conditions and the subsidence analysis carried out during over the design and construction stages, as well as the characteristics of the tunnelling machine, soil treatment and controls during excavation by earth pressure balance machine (EPB).

KEYWORDS: TUNNELLING MACHINE, UNDERGROUND, STATIONS, INTERCHANGES

1. INTRODUCCIÓN

Las obras de construcción del Contrato 1 de METROSUR fueron adjudicadas por la Consejería de Obras Públicas a una unión temporal de empresas constituida por A.C.S. y Vías y Construcciones, con un presupuesto inicial de 226.314.208 € y un plazo de ejecución de 30 meses, dando comienzo las obras el 23 de mayo de 2.000.

El contrato 1 es el de mayor presupuesto y longitud del METROSUR, 9.637 m, lo que representa el 23,6% de la longitud total del anillo. Incluye, igualmente, la construcción de otros 642 m de la Línea 10. Comprende la obra civil, superestructura de vía y estaciones en los municipios de Leganés, Alcorcón y Móstoles, abarcando fundamentalmente las obras correspondientes a Alcorcón donde se ubican 4 de las 5 estaciones del contrato, localizándose la última en Leganés.

La primera parte del túnel, que comienza en la estación de San Nicasio y termina en el pozo de ataque de la tuneladora (P.K. 1+408) se excava y construye a cielo abierto, entre pantallas de hormigón armado, al discurrir por el exterior de la zona urbana consolidada. El resto del túnel, de sección circular de 8.43 m de diámetro interior, se excava con tuneladora, hasta el final del tramo (P.K. 9+646).

Se construyen 5 estaciones, una de ellas de enlace con la Línea 10 (Puerta del Sur) y otra con intercambio con la Línea de Cercanías de RENFE (Alcorcón Central).

La tipología de las estaciones consiste generalmente en un recinto apantallado, que se excava hasta nivel de vestíbulo y se cubre con vigas y losa de hormigón, excepto en el caso de la Estación Parque Lisboa en que la cubierta está constituida por una losa de hormigón postesada, que permite colgar de ella la losa de vestíbulo.

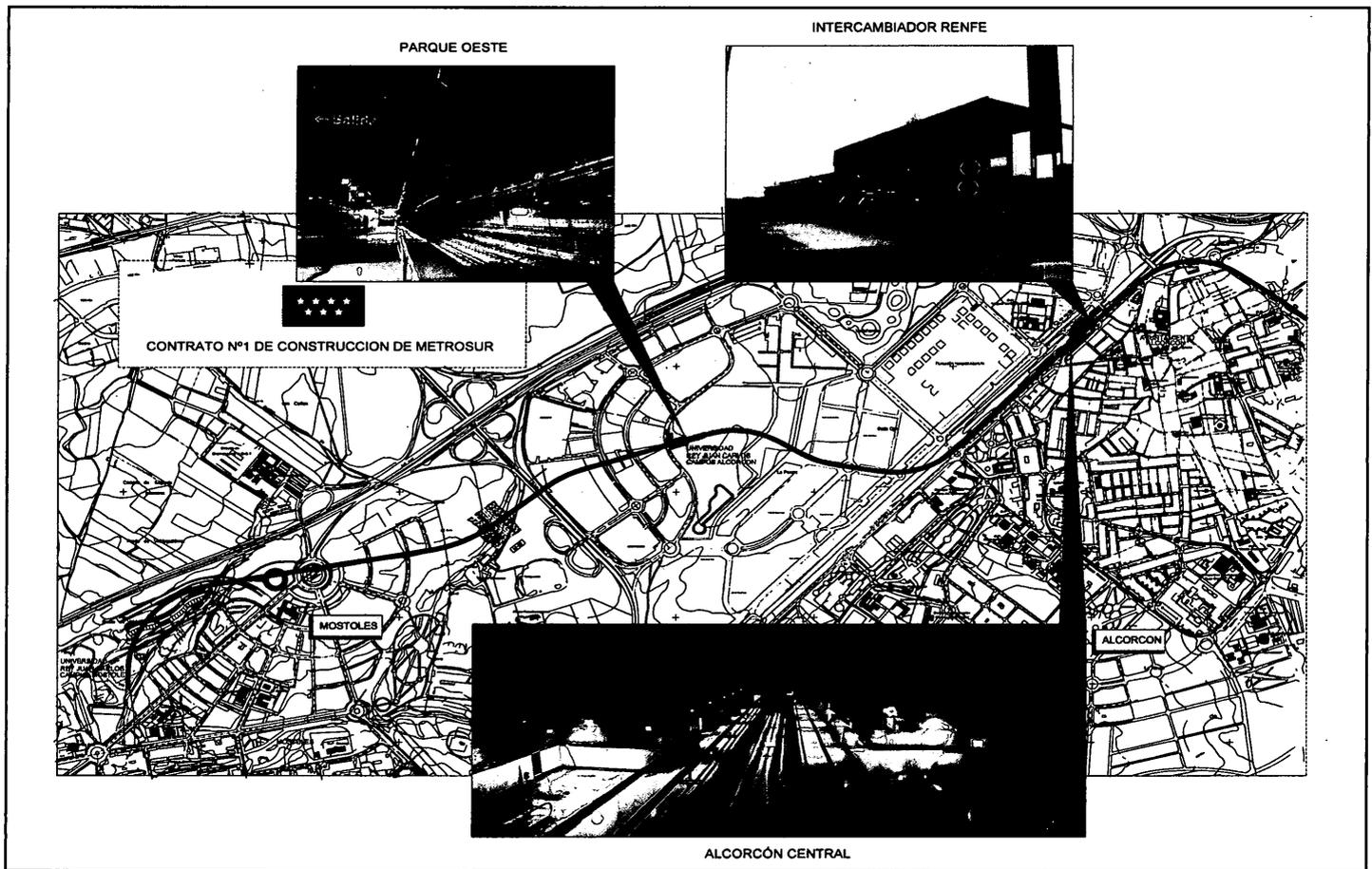


Figura 1a.

La tipología de la estación Puerta del Sur resulta diferente al servir de enlace con Línea-10. Se ha resuelto en forma de cruz, con dos niveles, el inferior corresponde a línea de METROSUR, con un desnivel de acceso desde superficie a cota de andenes de 20 m (figuras 1a y 1b).

2. PROYECTO Y EJECUCIÓN DEL TÚNEL

2.1. CONDICIONANTES DE TRAZADO

Desde la propia fase de proyecto se diseña el trazado M túnel de manera que, aun cuando en su mayor parte se habrá de realizar con el empleo de un escudo de presión de tierra (EPB), se minimicen los problemas de ejecución manteniéndose la demanda potencial de usuarios en la línea. Para ello la totalidad de las estaciones se proyectan a cielo abierto y la mayor parte del túnel discurre por zonas sin edificar. El trazado, sin embargo vendrá condicionado por diferentes factores de los que se resaltan los más significativos:

- Reducir al mínimo la profundidad de las estaciones, por lo general entre 15 y 17 m necesarios para la ubica-

ción del vestíbulo intermedio y dejar paso, bajo este, a la tuneladora.

- Intercambiar con las líneas de RENFE.
- Pasar por Universidades (Rey Juan Carlos y Carlos III) y Hospitales (Hospital de Alcorcón)
- Conectar con la línea 10 procedente de Madrid.

2.2. CÁLCULO DE SUBSIDENCIAS

Una vez diseñado el trazado, como es natural, se realiza un detallado estudio de subsidencias en superficie que, incluso, podrá obligar a nuevas modificaciones en el trazado, tanto en la planta como en perfil longitudinal.

Se emplea, para el cálculo de asientos, un método semiempírico denominado Modelo Madrid (Oteo et al., 1.999) y que se ha desarrollado en base a la experiencia en la ejecución de túneles de Metro con los suelos de Madrid. Se asemeja, como es práctica habitual, la ley de asientos a una campana de Gauss y se ajusta la misma con valores de i (distancia del eje de simetría del túnel al punto de inflexión de la curva de Gauss) y V (volumen de asientos) basados en la experiencia de Madrid. De igual modo, el Modelo Madrid recomienda el empleo de gráficos obtenidos to-

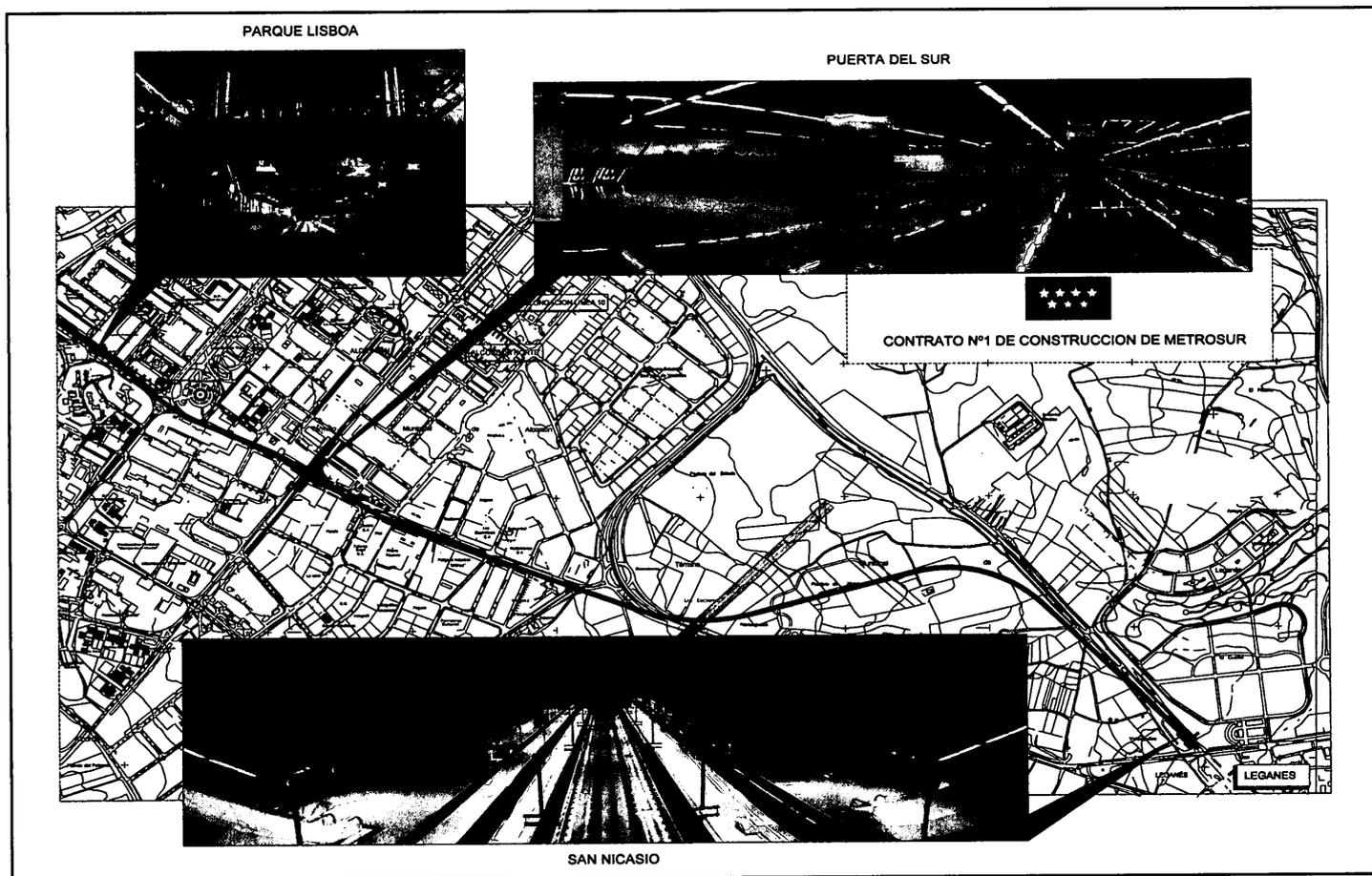


Figura 1b.

mando como base numerosas mediciones reales (figura 2). A partir de la profundidad del túnel, y el espesor relativo de terrenos terciarios y suelos flojos o cuaternarios sobre la clave del túnel, se puede estimar el volumen de asientos.

Los asientos obtenidos por estos métodos son contrastados mediante un análisis de diferencias finitas utilizando el programa comercial FLAC. En la figura se observan los resultados obtenidos con las diferentes metodologías.

El cálculo numérico, en este caso, se ha realizado por la Universidad de la Coruña. Se contrastan los resultados con los asientos realmente observados en superficie, concluyéndose que, en la mayor parte de los casos, los cálculos han sido ampliamente conservadores (figuras 3 y 4).

Los elevados asientos observados en el P.K. 8+300 son consecuencia de la presencia de un colector, posiblemente con alguna rotura previa al paso de la tuneladora, que habría alterado el terreno existente.

2.3. EJECUCIÓN DEL TÚNEL

Hasta aquí se vienen reseñando, de forma somera, los análisis y estudios en fase de proyecto, a continuación se referirán las principales incidencias surgidas en la propia

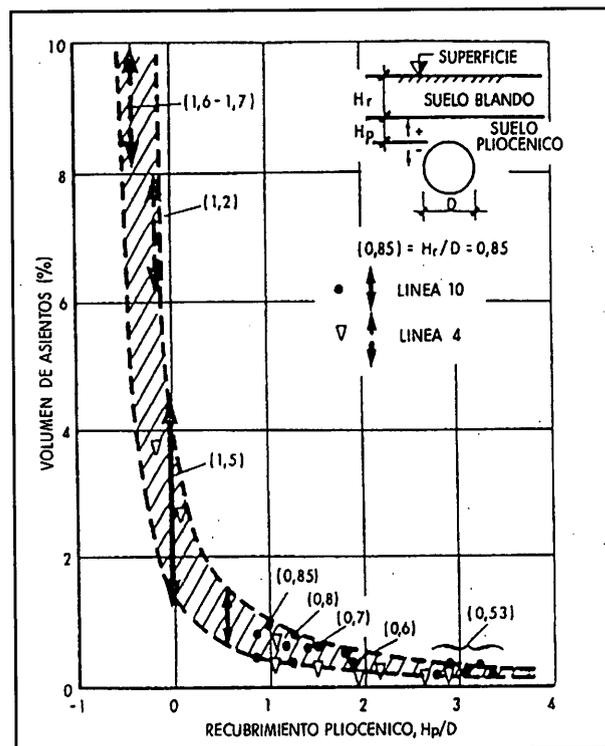


Figura 2.

Figura 3.

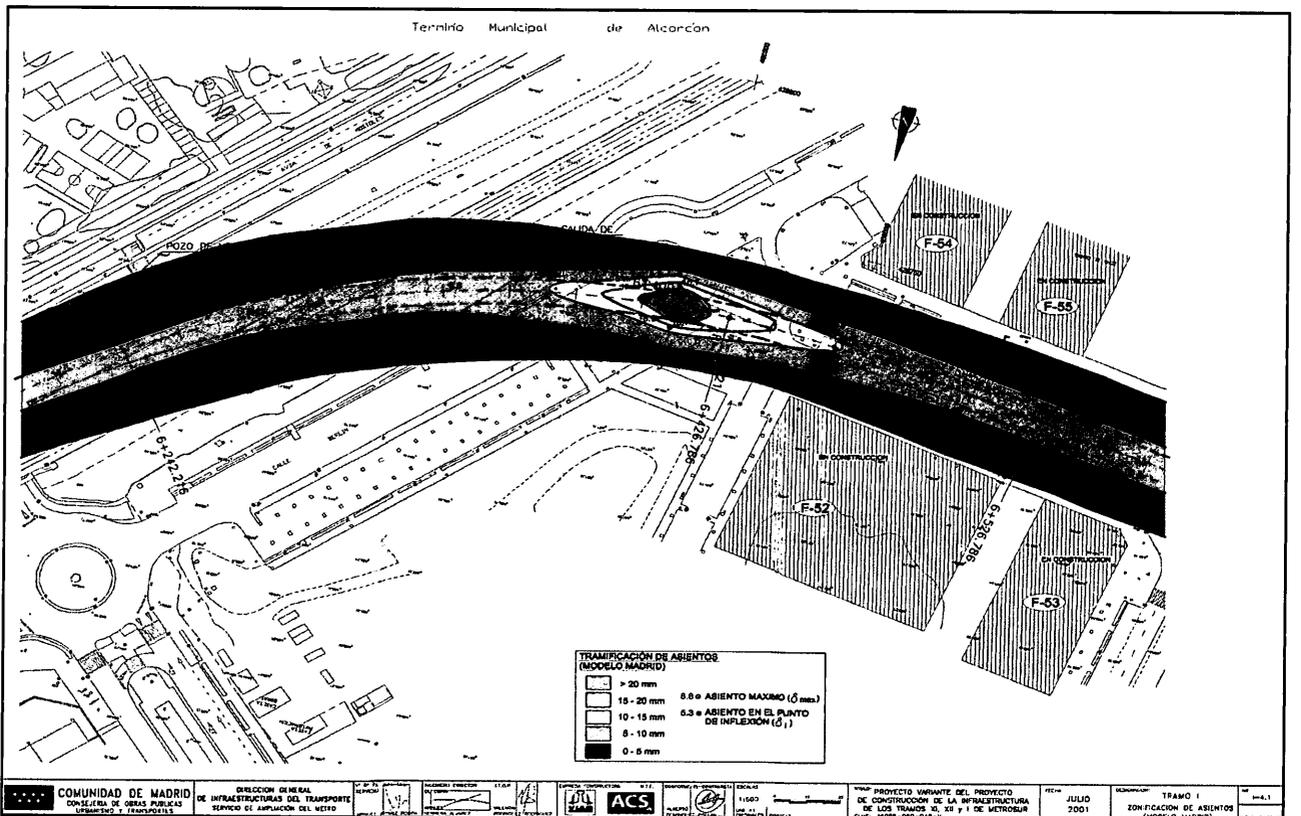
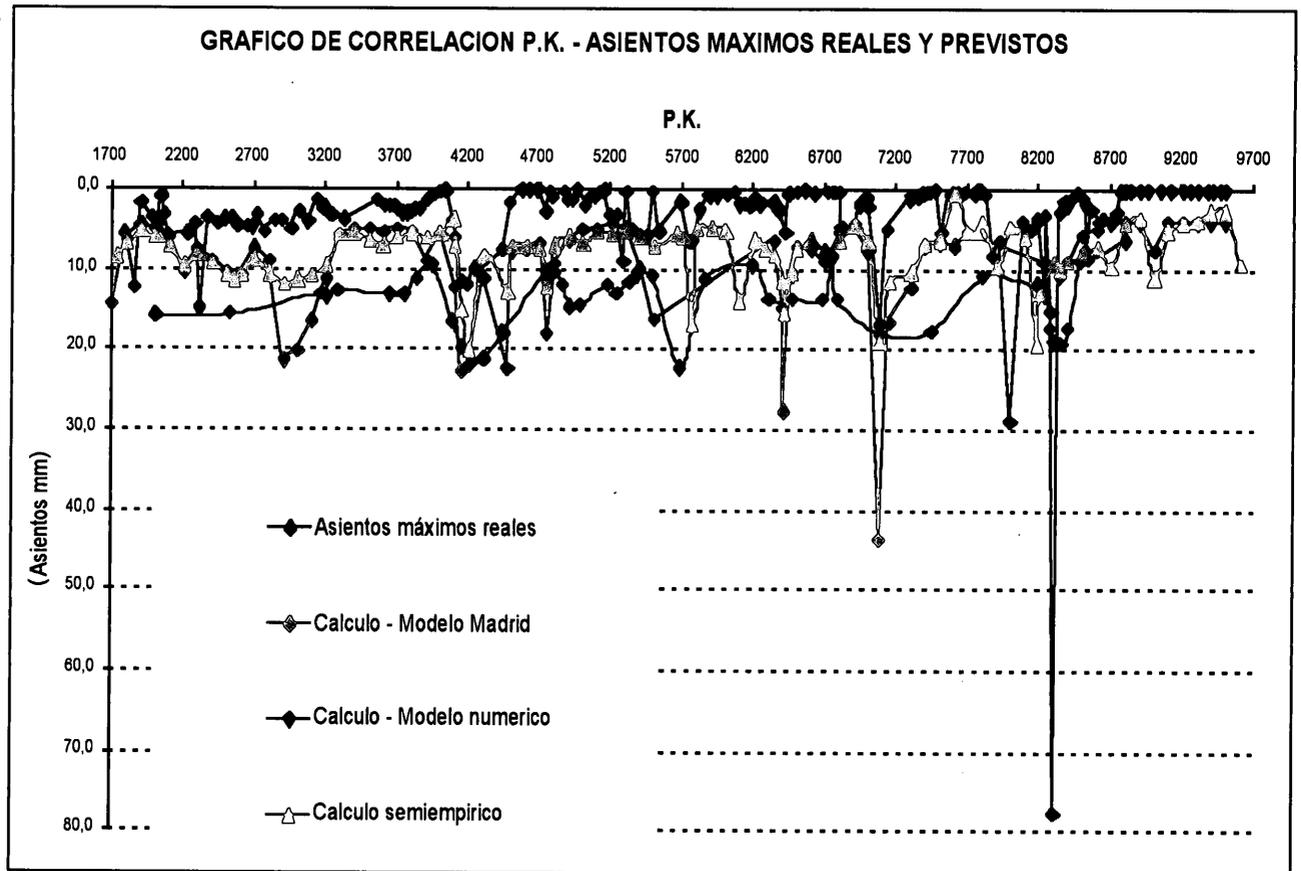
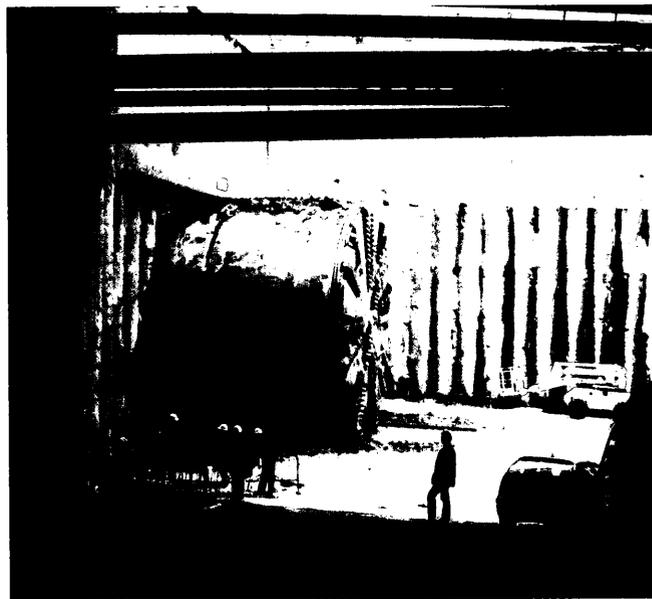


Figura 4.

<p>COMUNIDAD DE MADRID CONSEJO DE OBRAS PÚBLICAS RESERVA Y TRANSACCIONES</p>	<p>DIRECCION GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DEL TRANSPORTE SERVICIO DE AMPLIACION DEL METRO</p>	<p>PROYECTO VARIANTE DEL PROYECTO DE CONSTRUCCION DE LA INFRAESTRUCTURA DE LOS TRAMOS XI, XII Y I DE METROBUS C/AL. MADRID-SEVILLA</p>	<p>FECHA: JULIO 2001</p>	<p>DESCRIPCION: TRAMO I</p>	<p>NO. HOJA: 14-1</p>
--------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------	-----------------------------	-----------------------



Figuras 5 y 6.

construcción, centrándose exclusivamente en la excavación mediante la tuneladora (E.P.B.)

2.3.1. Características de la tuneladora

De los 9,6 kms de longitud del túnel correspondientes al Contrato 1, aproximadamente 7,9 kms fueron ejecutados mediante el empleo de un escudo de presión de tierras (E.P.B.), construido por Herrenknecht y bautizado con el nombre de "La Almudena" (figuras 5 y 6). Dicho escudo ya había ejecutado 3.500 m de túnel en la Línea 9 del Metro de Madrid en el cuatrienio 1995 - 1999.

Las características más significativas de la tuneladora y del anillo de sostenimiento son:

a) Parámetros de la tuneladora:

- Diámetro de la excavación:9,36 m
- Diámetro E.P.B.:9,34 m
- Longitud escudo:8,205 m
- Longitud total:145,5 m
- Peso total:1.350 T
- Cilindros de empuje:26
- Empuje máximo:10.000 T
- Par de trabajo:17,05 MNm
- Par de desbloqueo:20 MNm

b) Parámetros de los anillos de sostenimiento:

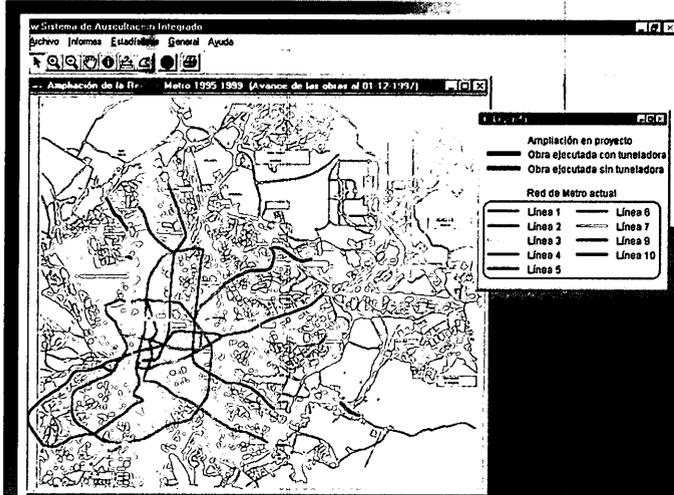
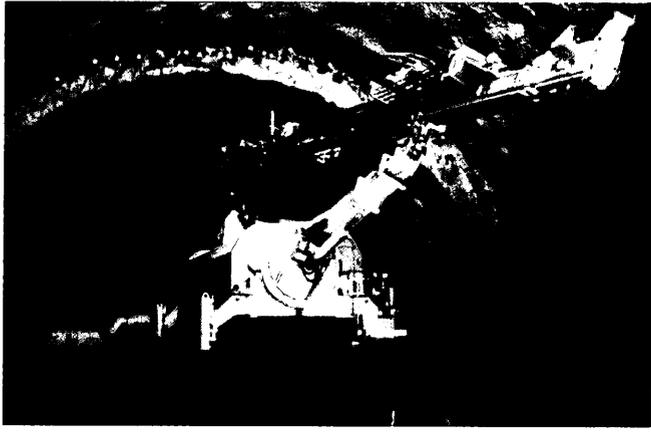
- Diámetro interior:8,43 m
- Longitud:1,50 m
- Espesor:.....0,32 m
- Resistencia del hormigón:.....400 kg/cm²

2.3.2. Ejecución de] túnel

El escudo se introdujo desde un pozo de ataque de 247 m de longitud y 15 m de profundidad junto al que se localizaba la propia fábrica de dovelas. La longitud del pozo permitía arrancar con toda la máquina montada incluido el back-up completo.

La excavación se inició el 26 de octubre de 2000 y dado el considerable espesor de la montera, próximo a los 20 m, y las adecuadas características del terreno, una primera capa de 4-5 m de espesor de aluvial y el resto intercalaciones de arena de miga entre potentes capas de tosco arenoso, se autorizó al contratista a comenzar la excavación en régimen abierto con el empleo de cangilones de carga en cabeza y cinta transportadora para su extracción. A pesar de las condiciones óptimas del terreno, la excavación comenzó con dificultades y con la formación, inclusive, de chimeneas con aparición en superficie. Se decidió, por tanto, a partir del P.K. 1+890 pasar a trabajar en modo cerrado con presión en el frente que oscilaba entre 0,5 y 1 bar en la célula superior de cabeza. Ante la necesidad de atravesar una vía de alta densidad de tráfico, la M-406, por las sobreexcavaciones detectadas en la cola de la maquinaria, se decidió realizar un tratamiento del terreno mediante inyección de cemento para asegurar el paso bajo la carretera sin dejar huecos (figura 7).

La máquina tuneladora que, como ya se señaló, pasó a trabajar en modo cerrado, presentaba dificultades de excavación y de avance, colocación de 1 ó 2 anillos diarios, y sobrecalentamiento tanto de la cabeza como del material de excavación y del circuito hidráulico. Por estas circunstancias, se hizo aconsejable el paso bajo la M-406 procediendo al corte alternativo de carriles de tráfico para así poder com-



METRO DE MADRID:

Tratamientos del terreno
Cimentaciones
Control y Vigilancia
Unidad de Seguimiento, Auscultación y Control



GEOCISA
GEOTECNIA Y CIMENTOS, S.A.

TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

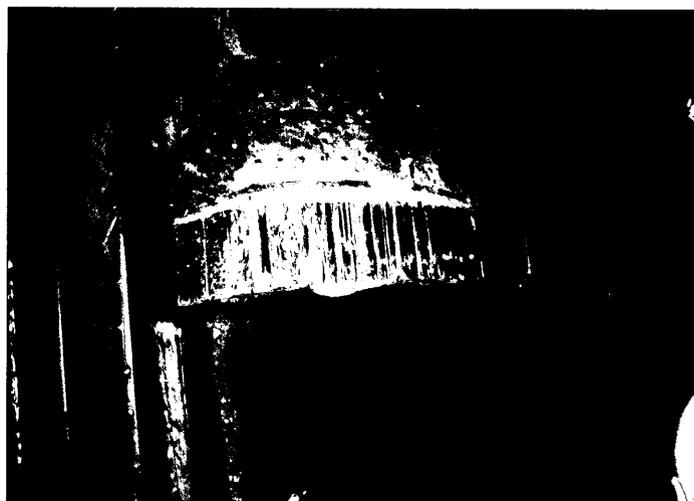
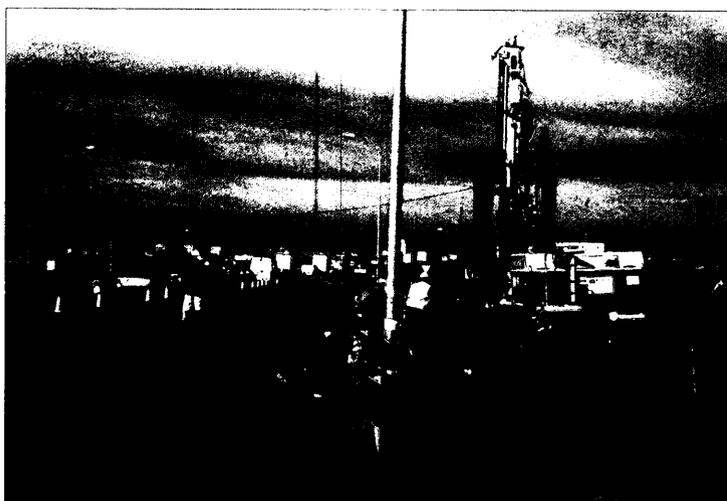
OFICINAS CENTRALES
 Los Llanos de Jerez 10 y 12
 28820 Coslada (Madrid)
 Tel: 91 660 30 00
 Fax: 91 671 64 60

DELEGACION SUR
 Ctra. Copero, S/N
 41012 Sevilla
 Tel: 95 429 63 60
 Fax: 95 429 63 90

DELEGACION ARAGON
NAVARRA Y LA RIOJA
 Nicanor Villalta, 16 bajo 5 y 6
 50002 Zaragoza
 Tel y Fax: 97 640 97 71

DELEGACION LEVANTE
 Pol. Ind. Valencia 2000
 Carretera Nacional III, Km 345
 46930 Quart de Poblet (Valencia)
 Tel: 96 152 07 25
 Fax: 96 152 31 88

DELEGACION NOROESTE
 R. Pol. Ind. "La Mora"
 Nave 1 Parc. 30
 47193 La Cisterniga (Valladolid)
 Tel: 98 340 30 90
 Fax: 98 340 30 71



A la izquierda, figura 7.
A la derecha, figura 8.
Desgaste de herramientas.

probar, mediante la ejecución de taladros, la presencia de huecos sobre el túnel ya ejecutado y, en su caso, proceder a su relleno mediante el empleo de un mortero fluido de cemento que se introducía por gravedad.

Se atravesó de este modo la carretera regional persistiendo, sin embargo, las dificultades en la excavación. Variando las proporciones de espumas y polímeros y, sobre todo, introduciendo dos nuevas vías de agua en la cámara con capacidad para suministrar 30 l/s por vía se logró cambiar así la tendencia, llegándose a velocidades de avance consideradas normales, próximas a los 80 mm/min de diseño de la tuneladora.

El tipo de terreno a excavar provocaba un rápido desgaste de las herramientas de corte (figura 8). Cada 150 m,

aproximadamente, era necesario el cambio de gran parte de las picas.

Este hecho obligaba a una revisión frecuente y a la sustitución de las mismas. Para la revisión y cambio era necesario vaciar la cámara con la consiguiente pérdida de presión en cabeza. Se observó que, al bajar a cero la presión, se provocaban pérdidas de terreno sobre la clave de la tuneladora que se iban arrastrando al avanzar la misma, teniendo como consecuencia la presencia de sobreexcavaciones que no era posible rellenar con la inyección de cola del escudo. Por este motivo, al discurrir el trazado bajo viales urbanos y no bajo edificaciones, se decidió "seguir" al escudo con una o dos máquinas perforadoras de rotación para la detección de huecos y su relleno con mortero fluido.

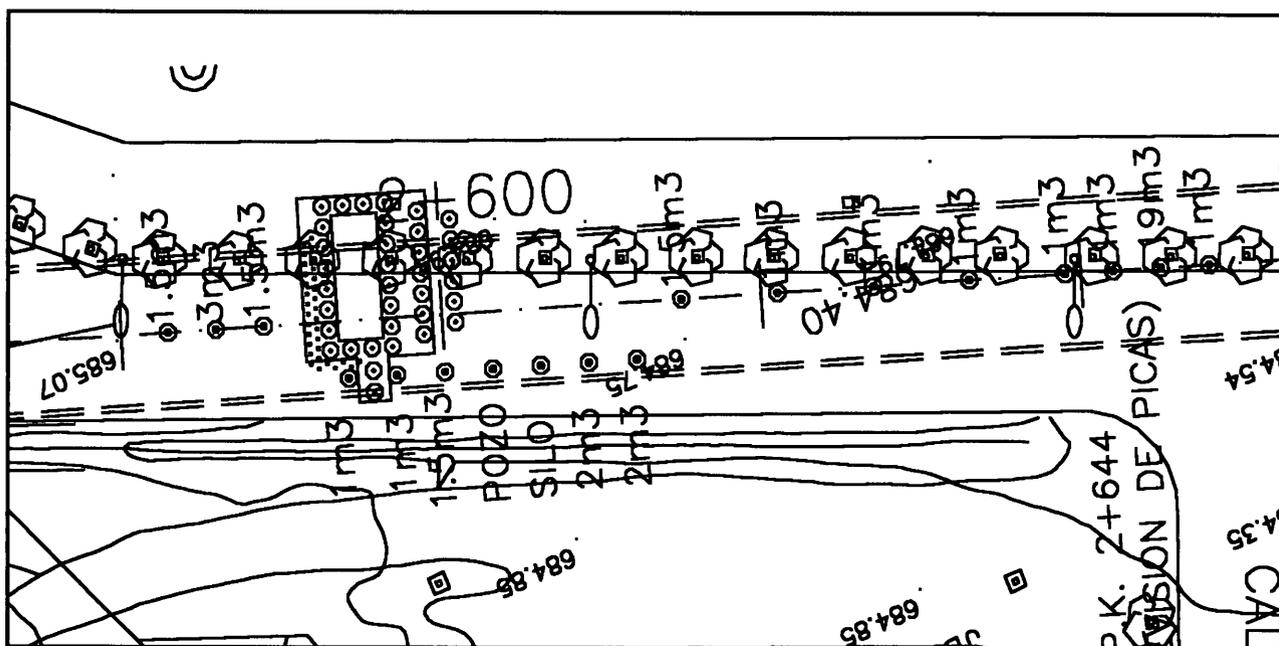


Figura 9. Pozo de reparación.



Figura 10.
Reparación
tuneladora en el
pozo RK 2+589.

De igual modo, en presencia de arena de miga, el cambio de picas no se consideró seguro para el personal que debía introducirse en la cámara, por lo que se decidió la ejecución programada de pantallas ejecutadas mediante pilotes de mortero, frente a las que se paraba la máquina y se procedía al cambio de herramientas de corte con la adecuada seguridad.

A pesar de las precauciones adoptadas: revisiones, puntos de parada preestablecidos, etc., al revisar la cabeza de corte en el P.K. 2+589, se observó un fuerte desgaste de la rueda de corte, por lo que fue necesario proceder al desvío del tráfico en superficie y a la ejecución de un pozo de reparación mediante pilotes armados y jet-grouting para poder acceder y descubrir parcialmente la rueda de corte y recargar los desgastes producidos mediante soldadura. Las citadas operaciones provocaron una parada de la máquina próxima a los 2 meses (figuras 9 y 10).

Consecuencia de la experiencia obtenida se tomó la decisión, para evitar la repetición de incidentes similares, de adoptar una serie de medidas sistemáticas que, a continuación, se indican de forma sintética:

A) DE MANEJO DE LA TUNELADORA

- a.1.) Realizar los avances a velocidades normales mediante una dosificación mayor de agua en cabeza de manera que el material extraído fuera casi fluido. Fue preciso introducir otras dos nuevas vías de agua en la parte central de la cámara de amasado. Cuando se presentaban dificultades de avance se procedía a revisar la cámara y limpiar de bolos de arcilla.
- a.2.) Revisión de picas cada 2-3 días. (50 m lineales)
- a.3.) Control riguroso del volumen de extracción de tierras.

B) CONTROL E INTENSIFICACIÓN DE LAS INYECCIONES DE MORTERO Y LECHADA DE CEMENTO

- b.1.) Inyección de mortero por la cola del escudo. La tuneladora Herrenknecht dispone de 6 toberas de inyección de mortero para una presión que puede variar entre 200 y 600 kPa y 2 bombas de inyección. El volumen teórico de mortero a inyectar en cada avance, 6 m³, se comprueba para cada anillo.
- b.2.) Inyecciones de lechada de cemento en back-up. Para asegurar el completo relleno del "gap" de la tuneladora se procedió a realizar inyecciones complementarias en el back-up. Estas se realizaban cada 10 anillos, con perforación en clave e inyección hasta alcanzar una presión de 4 kg/cm². La frecuencia se aumentaba en aquellas áreas en que no era posible actuar en superficie con la metodología que se señala más adelante.

En la zona inicial de excavación, donde se habían producido las chimeneas y sobreexcavaciones referidas, se procedió a realizar una inyección sistemática desde el interior del túnel.

C) ACTUACIONES EN SUPERFICIE

Aprovechando que la traza del túnel discurría en su totalidad por viales urbanos se implantaron una serie de actuaciones desde el exterior del túnel que, a continuación, se indican:

- c.1.) Inyecciones de mortero desde el exterior. Se estableció la ejecución sistemática de taladros e inyecciones de mortero, en su caso, siguiendo en todo momento el avance de la tuneladora. Las perforaciones se realizaban tras la cabeza de la máquina, a unos 15 m del frente de excavación, aproximadamente cada 10 m, variando la distancia e intensidad según se observara o no consumo de mortero. Como es lógico, la realización de las perforaciones en superficie debió supeditarse a los obstáculos que se en-

Figura 11a.
Pantalla de pilotes de mortero (planta).

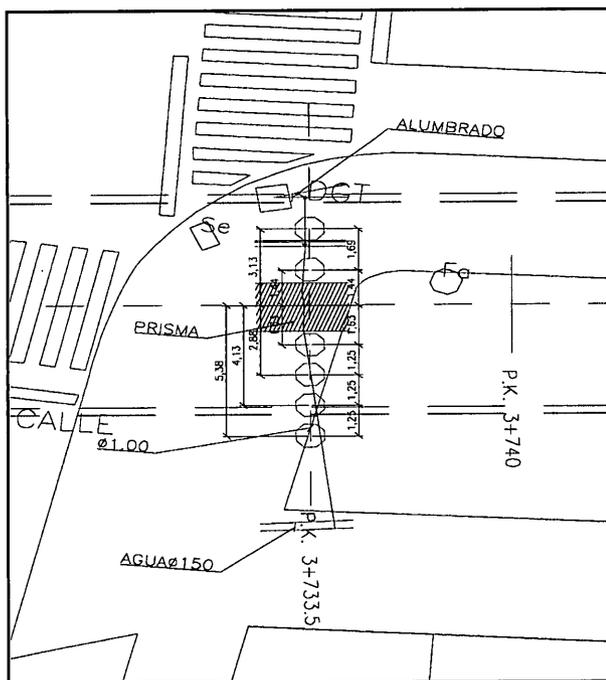
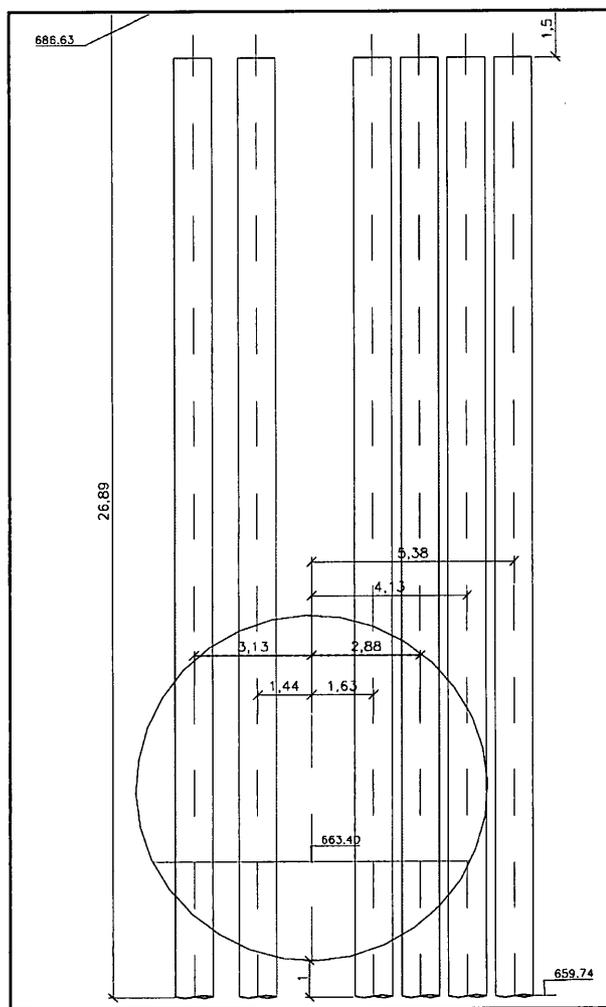


Figura 11b.
Pantalla de pilotes de mortero (alzado).



contraban, por lo que las distancias y número de taldros variaban en función de los mismos.

En el paso de viales de alta intensidad de tráfico y escasa cobertura, como sucedió en el cruce de la M-506 (P.K. 7+760), se procedió incluso al corte de los mismos para proceder a la inyección y asegurar que no se dejaban huecos sobre el túnel que pudieran producir asientos o colapsos futuros.

• c.2.) Inyecciones de mortero de cemento:

En alguna ocasión, como sucedió en el paso de las vías de RENFE, línea C-5, en el P.K. 6+200 aproximadamente, dada la imposibilidad de realizar las actuaciones antes citadas, se decidió efectuar un tratamiento previo al paso de la tuneladora con inyecciones de lechada de cemento mediante el empleo de tubos manguito.

• c.3.) Tratamientos del frente en zonas de parada:

Como ya se indicó, la presencia de arena de miga y arena tosquiza hacía peligroso el cambio de picas que, por otra parte, debía ser frecuente dado el fuerte desgaste producido por este material silicio. Se decidió, por tanto, prever los cambios de herramientas a distancias de avance de 150 a 175 m, construyéndose, con carácter previo, en los lugares más accesibles desde superficie, pantallas de pilotes de mortero de hormigón. Frente a ella se realizaba la parada de la cabeza del escudo y se procedía al cambio de herramientas (figuras 11a y 11b).

En algunos casos, en que los obstáculos en superficie eran numerosos, fue necesario ejecutar pantallas de jet-grouting.

• c.4.) Pozos de reparación y revisión de la cabeza:

Se decidió construir dos pozos de revisión de la máquina tuneladora para evitar la repetición de incidentes similares al ocurrido, desgaste de la cabeza de corte, debido a las largas distancias de excavación sin presencia de estaciones ya excavadas que permitieran la revisión en profundidad de la rueda de corte. Uno se construyó en el P.K. 3+375, aprovechando parte de las pantallas de la estación Alcorcón 1, que se atravesó excavando. Otro en el P.K. 8+754 aprovechando la existencia de un pozo de ventilación. Al paso de las estaciones se realizó una revisión intensa de la máquina tuneladora.

D) OTROS TRATAMIENTOS Y ACTUACIONES:

De manera complementaria, se procedió a realizar tratamientos de inyecciones de jet-grouting para la protección de edificios próximos al túnel. Estos tratamientos se realizaron en dos situaciones: en el P.K. 4+970 (figura 13) (previsto en la fase del proyecto constructivo) y en el P.K. 6+795 para proteger un edificio de nueva construcción (inexistente en la fase del proyecto).

Además de las anteriores actuaciones, ante las recomendaciones de los proyectistas, se procedió a apeaar y proteger

MODIFICACIONES EN LAS LEYES DE SUBSIDENCIAS ENTRE EL PROYECTO INICIAL Y EL PROYECTO FINAL

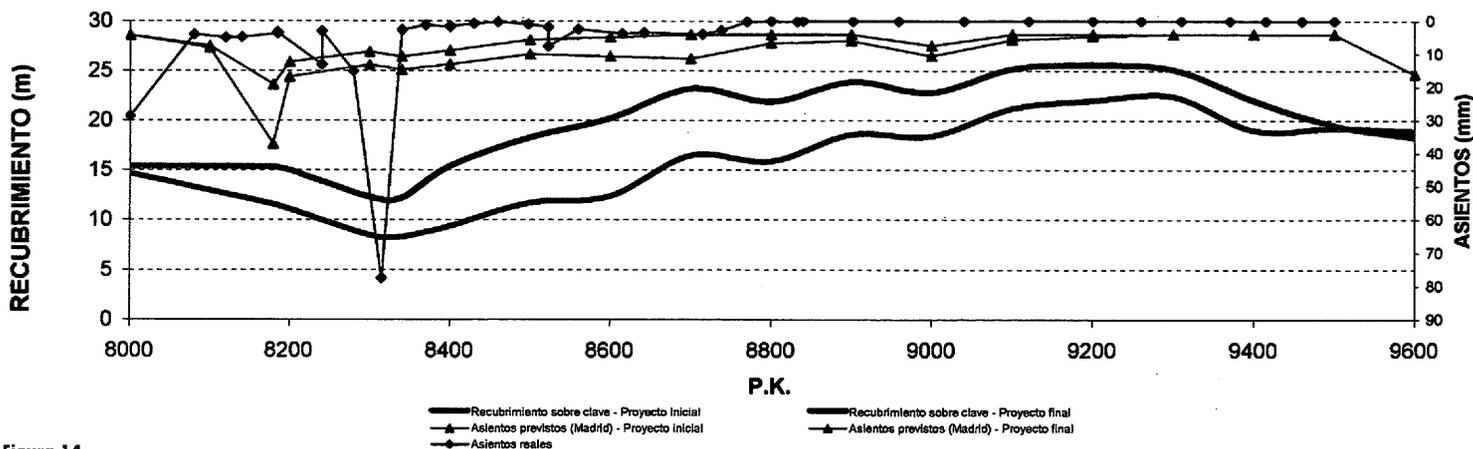
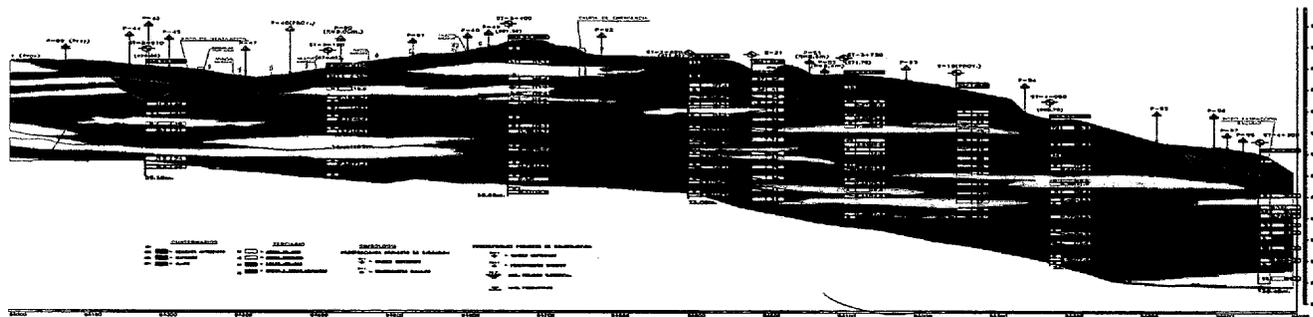


Figura 14.

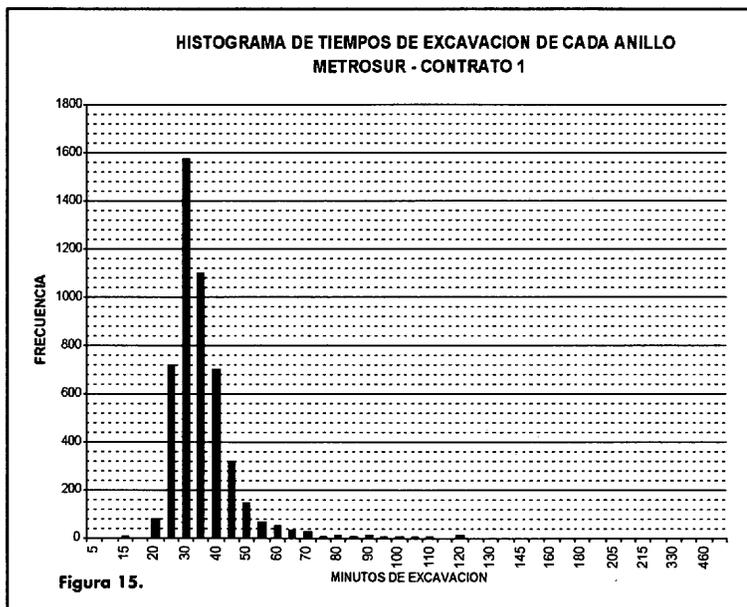


Figura 15.

diferentes elementos tales como tuberías de gas, saneamiento, torres de iluminación, etc.

Se plantearon, igualmente, nuevas variaciones de trazado al objeto de minimizar las afecciones en superficie. En concreto, se deprimió el túnel entre las estaciones de Puerta del Sur y Parque Lisboa y en mayor medida en el tramo final, a partir del P.K. 7+800, en que se decidió bajar sensiblemente el trazado, del orden de 7 m, para reducir asientos en la edificación existente de la calle La Fragua (figura 14).

2.3.3. Conclusiones

Como consecuencia de un detallado análisis en la fase de proyecto así como de decisiones tomadas en el desarrollo de la propia obra, se pudo concluir la construcción de 7.900 metros de túnel en el periodo comprendido entre el 26/10/2000 y el 18/02/2002 en que se finalizó la excavación (programada en el plan de obra inicial para el

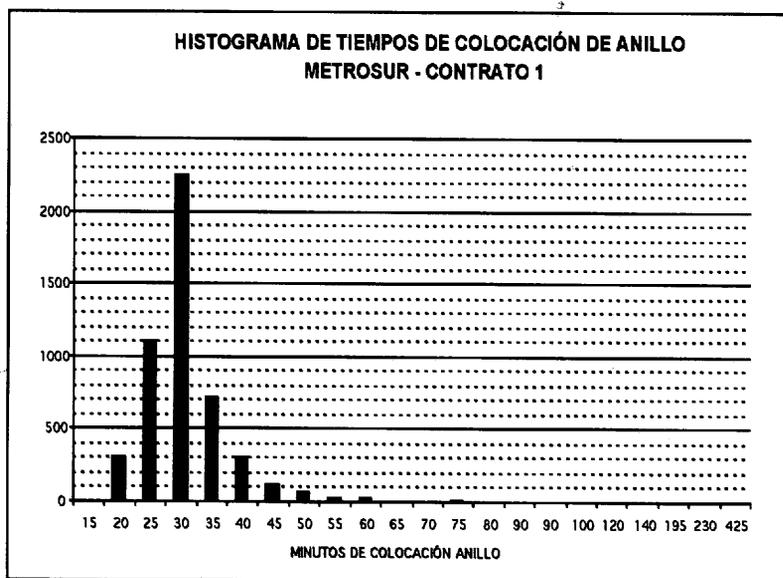
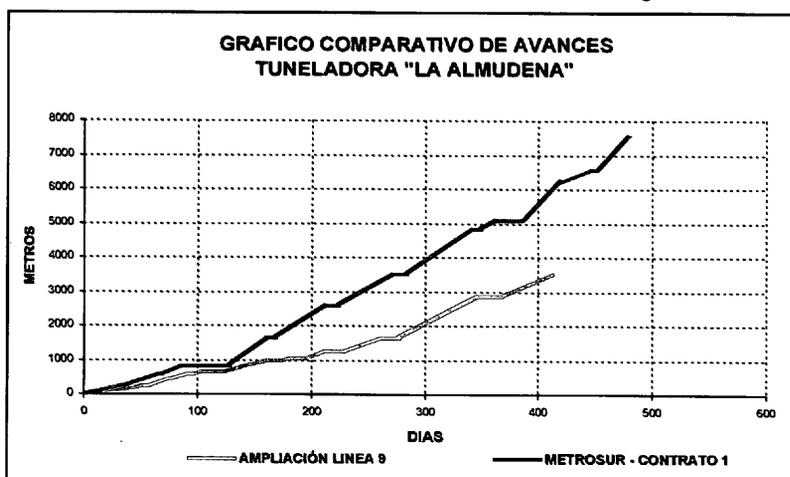


Figura 16.

17/02/2002, es decir, con error de un día). A pesar de los incidentes iniciales surgidos, las obras se acabaron satisfactoriamente, en plazo y sin ninguna incidencia relacionada con la seguridad. El rendimiento medio por día de calendario fue de 15,4 m y por día trabajado de 20,4 m.

Figura 17.



FICHA TÉCNICA

PROMOTOR	MINTRA Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes. Comunidad Autónoma de Madrid
AUTOR DEL PROYECTO	MINTRA, PROSER, TYPESA, INTECSA
DIRECCIÓN DE LAS OBRAS	Manuel Herrera Álvarez <i>Ingeniero de Caminos</i> Valentín Rodríguez Rodríguez <i>Ingeniero Técnico de Obras Públicas</i>
ASESOR GEOTÉCNICO	Carlos Oteo Mazo <i>Ingeniero de Caminos</i> Profesor de la E.T.S.I.C.C.P. de Madrid
CONSTRUCTORAS	UTE ACS-VÍAS Y CONSTRUCCIONES Juan Hernández Muñoz, Gerente de la UTE Juan Carlos Pinar Rubio, Jefe de Obra Javier Velasco Yáñez, Oficina Técnica
ASISTENCIA TÉCNICA	EPTISA: Eduardo Rico Isla, <i>Ingeniero de Caminos</i> AEPO: Ángel Millán Requena, <i>Ingeniero de Caminos</i>
CONTROL DE CALIDAD	CEMOSA, INTEMAC, PROGEOTEC
PRESUPUESTO	271.577.047,45 Euros
PRESUPUESTO DE INSTALACIONES	52.247.289 Euros
PLAZO	30 meses

El rendimiento máximo alcanzado se produjo el día 29/11/2001 con 42 m de excavación.

El avance medio mensual fue de 309 anillos/mes, lo que equivale a 464 m/mes. Los citados rendimientos se pudieron lograr gracias unos tiempos de excavación y de montaje de dovelas en torno a los 30 minutos como se puede observar en las figuras 15 y 16.

En el gráfico de la figura 17 se puede ver la evolución de la excavación a lo largo de la obra comparada con los rendimientos de la misma máquina en las obras de la Línea 9 del Metro de Madrid. Se observa una evolución ampliamente favorable de los rendimientos conseguidos. ■