

CONTRATO 3. TRAMO IV. SUBTRAMOS III-B, IV-A Y IV-B

CONTRACT 3. SECTION 4. SUB-SECTIONS III-B, IV-A AND IV-B

JOSÉ MARÍA DÍAZ RETANA. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
 Director de Obra. MINTRA. admon@mintra.c.telefonica.net
 PETRONILA NAVARRO SANZ. Ingeniera Técnico de Obras Públicas.
 Directora de Obra. MINTRA. admon@mintra.c.telefonica.net

RESUMEN: El Contrato nº 3 de Metrosur comprende los subtramos III-B, IV-A y IV-B con un total de 2.689 m que incluye las estaciones de Loranca y Hospital de Fuenlabrada. El tramo conecta el límite de Móstoles con el casco urbano de Fuenlabrada, sin llegar a ellos, discurriendo a través del barrio residencial de Loranca y continuando en campo abierto hasta el Hospital de Fuenlabrada, antes del cruce con la M-506. Comenzaremos encuadrando el tramo en el sistema general de comunicaciones y en el entorno particular de las estaciones, para continuar describiendo los métodos constructivos empleados, rendimientos alcanzados, las incidencias y tratamientos realizados y ejecución de la superestructura de vía.

PALABRAS CLAVE: FUENLABRADA, TUNEL, FERROCARRIL METROPOLITANO, ESTACIONES

ABSTRACT: Contract No. 3 of the Metrosur consists of the sub-sections III-B, IV-A AND IV-B running a total 2,689 m and including the Loranca and Hospital de Fuenlabrada stations. The section runs between the outskirts of Mostoles and the town centre of Fuenlabrada without reaching the same, and passes through the residential district of Loranca and continues in open country up to the Fuenlabrada Hospital prior to crossing the M-506. The article begins by considering the section within the general communications network and the particular structure of the stations, and goes on to describe the construction methods employed, the performances achieved, the incidents and treatments carried out as well as the construction of the track superstructure.

KEYWORDS: FUENLABRADA, TUNNEL, METROPOLITAN RAILWAY, STATIONS

1. INTRODUCCIÓN

Las obras de construcción de los subtramos III-B y IV-A fueron adjudicadas a la empresa Sacyr por un presupuesto total inicial de 21.819.480 y un plazo inicial de 15 meses, mientras que el subtramo IV-B se adjudicó a OHL por un importe de 39.123.152 a ejecutar en 20 meses.

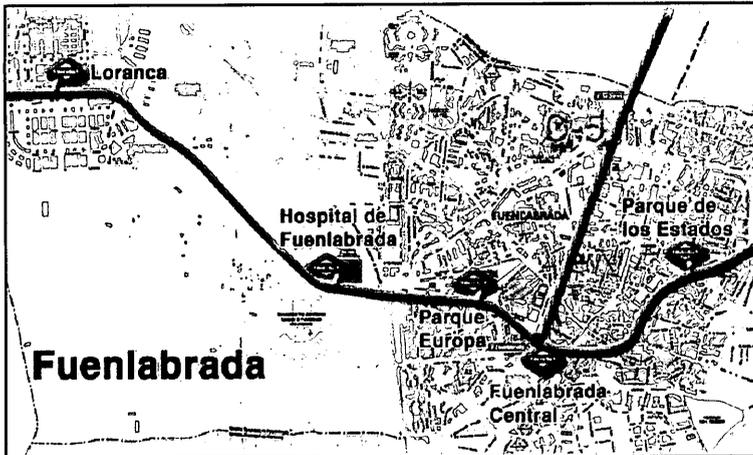
El tramo 4 tiene la particularidad de *estar construido íntegramente sin tuneladora*, lo que le da unas características muy peculiares.

La primera es la *variedad* de frentes de túnel que han podido abrirse a la vez (3 y 4 distintos), frente a la unicidad del frente de la tuneladora; esto proporciona mayor

flexibilidad ante imprevistos, permitiendo compensar en un frente los retrasos de otro o bien acelerar el ritmo abriendo nuevos frentes.

Otra característica es la *discontinuidad* de métodos constructivos, que se adaptan al entorno puntual del túnel; resultan así 6 cambios de método en 2.400 m de túnel. Esta compartimentación obliga a coordinar las actividades y tiempos en los entronques y permite controlar mejor el error acumulado en el trazado, al dividirlo.

En particular el subtramo III-B contiene 275 m de túnel entre pantallas y la estación de Loranca; el subtramo IV-A, 413 m de túnel por método tradicional y el subtramo IV-B, 270 m de túnel entre pantallas, 1.273 m de túnel a cielo abierto y la estación de Hospital de Fuenlabrada.



Plano de situación.

2. ENTORNO

2.1. COMUNICACIONES

El tramo 4 está situado en el eje Fuenlabrada – Móstoles, al sur del anillo de Metrosur. Este eje se enmarca en una zona en la que las vías comunicación más importantes son de tipo radial; cuatro por carretera (M-409, M-407, R-5 y Avda. Móstoles) y dos de ferrocarril (cercañas C5), frente a la M-506 y M-50 transversales.

El eje Móstoles – Fuenlabrada produce por lo tanto una compensación en el sistema de comunicaciones ofreciendo una vía de comunicación transversal, disminuyendo el im-

pacto de las vías radiales y proponiendo el resto de posibilidades de la línea de Metrosur.

A un nivel superior de detalle, los subtramos III-B y IV-A están situados en la urbanización Loranca, barrio residencial satélite de Fuenlabrada en el límite municipal con Móstoles. El subtramo III-B atraviesa un importante área de servicios en el corazón del barrio, mientras el subtramo IV-A discurre por la zona más antigua, con las afecciones que veremos más adelante.

Respecto al anillo, están situados en las inmediaciones de las Cocheras de Metrosur, lo que induce la necesidad de dos diagonales de vías en la estación de Loranca para la gestión del material móvil.

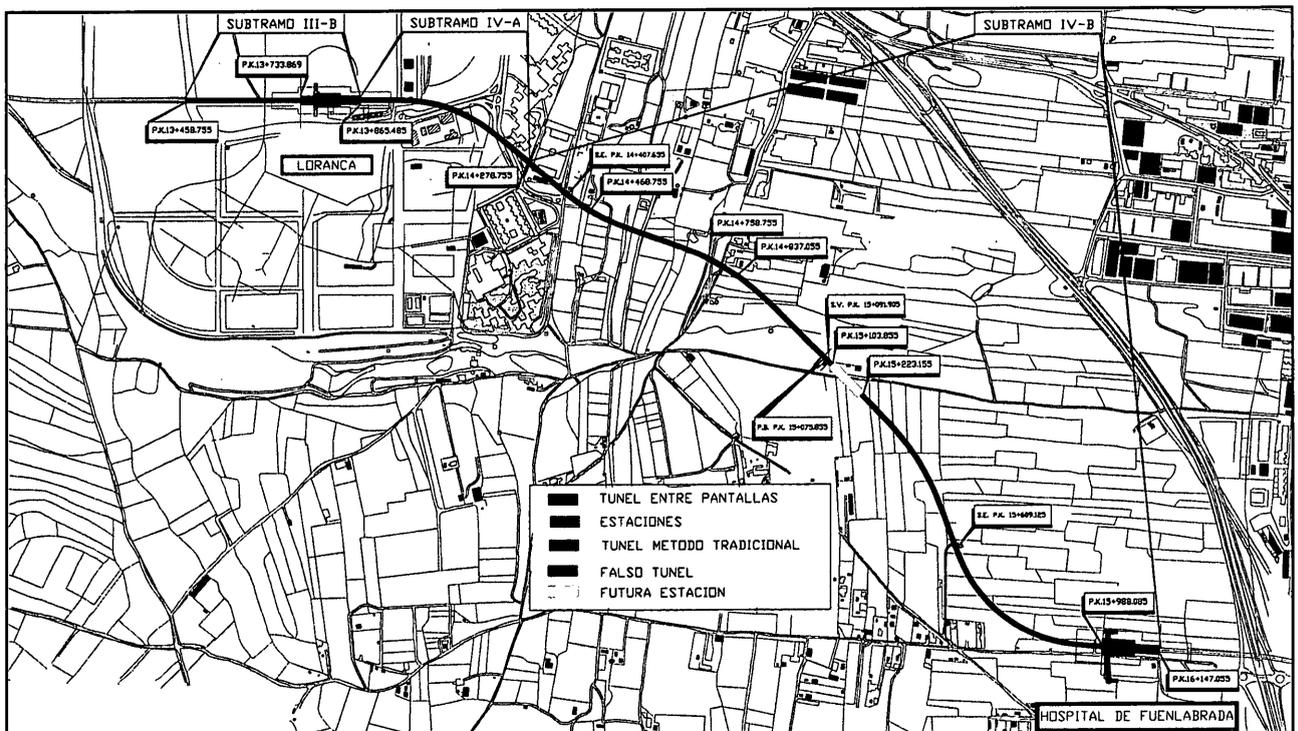
El subtramo IV-B enlaza la urbanización de Loranca hacia el casco urbano de Fuenlabrada, en una zona que actualmente es campo abierto y sobre la que se está construyendo un hospital, una universidad y se prevén actuaciones urbanísticas inmediatas.

2.2. ESTACIÓN Y ENTORNO

2.2.1. Estación de Loranca

El Metro emerge al exterior a través de las estaciones, creándose un espacio donde debe producirse la acomodación de los elementos necesarios del servicio a las circunstancias particulares del entorno.

La estación de Loranca se sitúa en un espacio abierto limitado por parques y jardines en el lado sur (que se prolon-



A la derecha,
Túnel tradicional
desde estación de
Loranca.

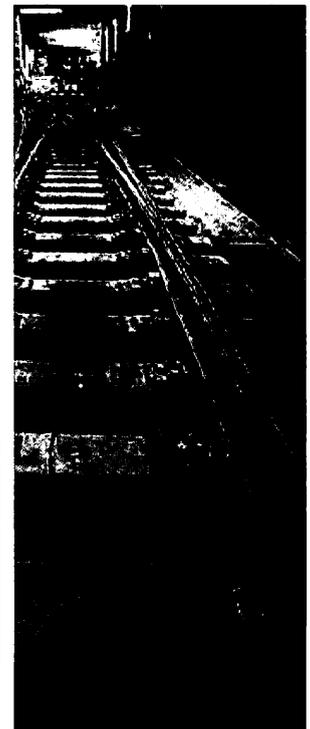
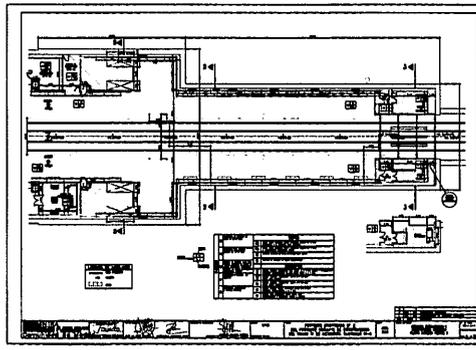
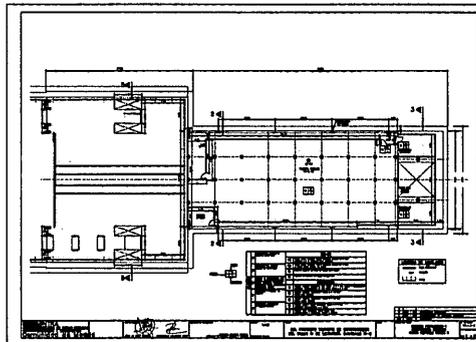
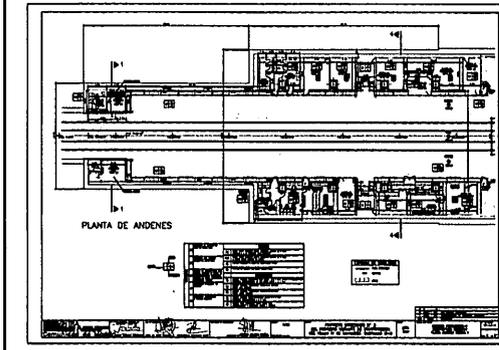
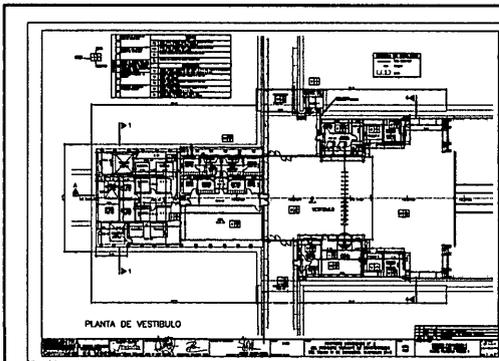


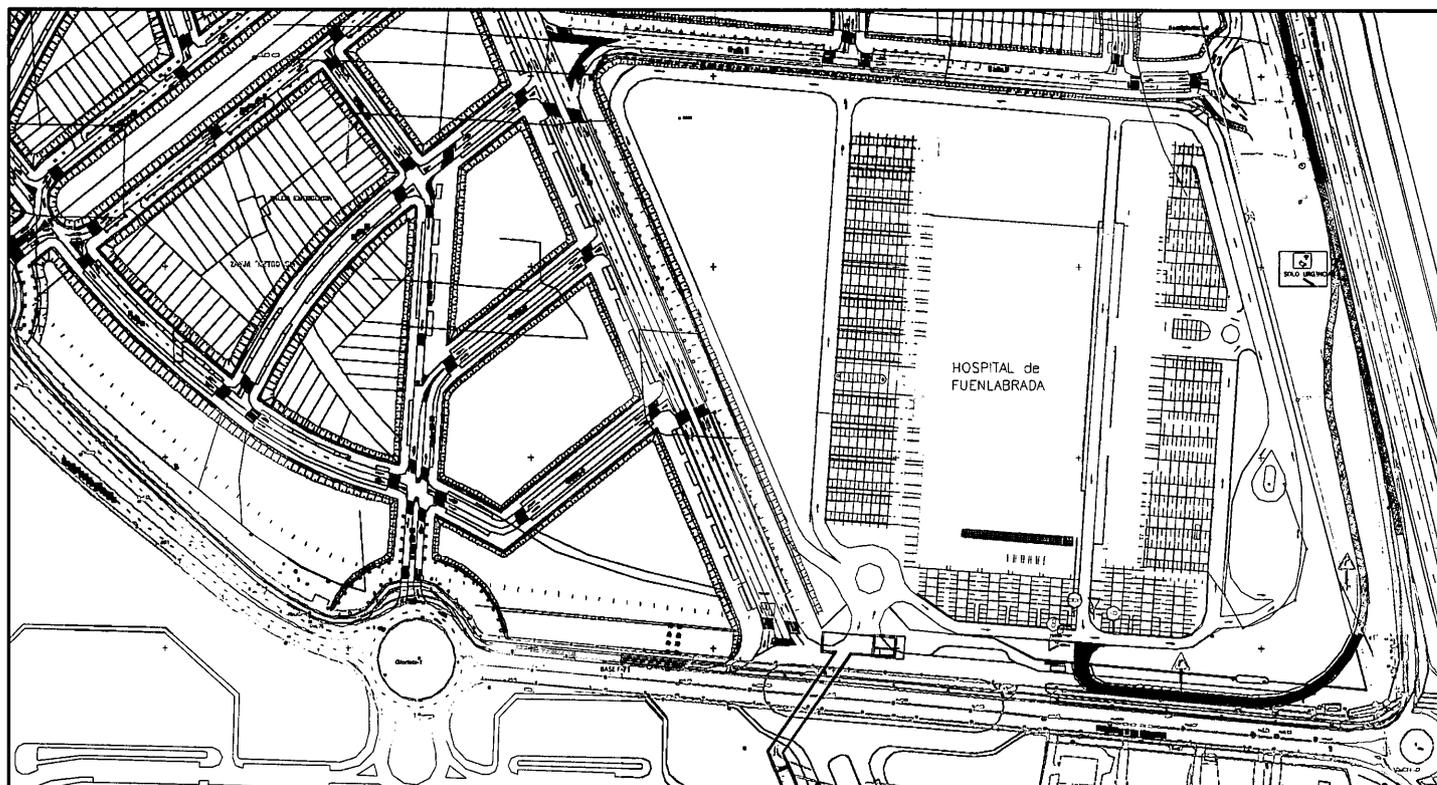
gan con la calle Pablo Iglesias con ancha mediana ajardinada), y un área de servicios adyacente en el lado norte.

Los detalles arquitectónicos son notables: un centro de salud con módulo central tronco-cónico, la Junta de Distrito con fachada acristalada y un centro comercial con altura limitada (2 niveles). Entre estos elementos se sitúa un espacio plaza al que accede el cañón norte de la estación, y en el que prevalece el uso peatonal por su pavimento y mobiliario.

La accesibilidad es muy elevada, con unos andenes a una profundidad de 14 m respecto a la superficie exterior. Los cañones de viajeros se han dispuesto de forma que se accede de forma rápida y sencilla al área de servicios por un lado y a la calle Pablo Iglesias por otro, limitando las dimensiones de los techos por su proximidad al centro co-

Estación de
Loranca. Plantas
y diagonal
de vías.





mercial y con un perfecto encaje de su estructura metálica y acristalada en el entorno arquitectónico de la plaza.

Estación de Hospital de Fuenlabrada. Entorno.

2.2.2. Estación de Hospital de Fuenlabrada

A pesar de que todo el subtramo IV-B discurriría en campo abierto en el momento de su ejecución, los condicionantes del entorno han sido tanto o más fuertes que si se tratara de suelo urbano consolidado, ya que no solo había que respetar los elementos proyectados; el desconocimiento de su definición o ubicación exacta impedía la toma de decisiones, afectando en muchos casos al ritmo y distribución de los trabajos.

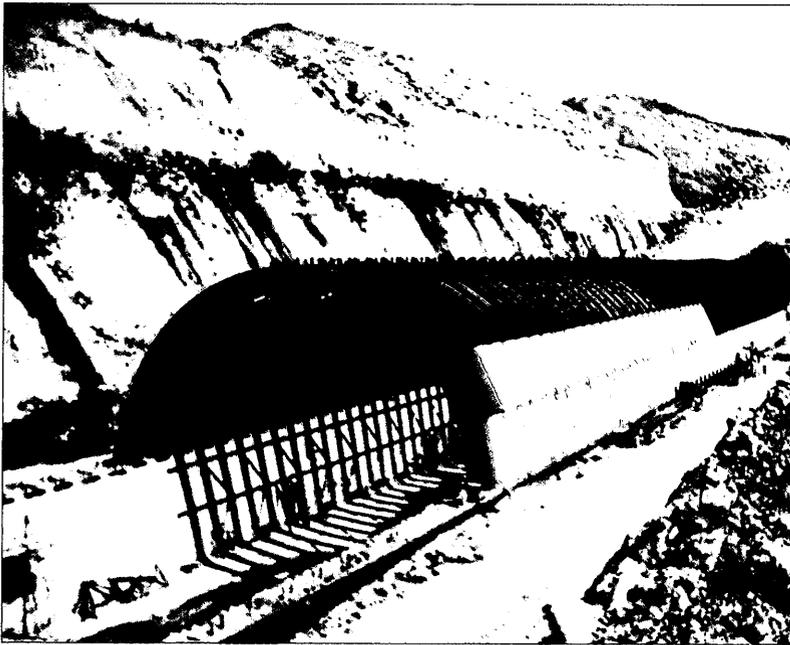
Esta circunstancia se ha hecho más patente en la estación, donde conflúan 3 planes urbanísticos; el de hospital, universidad y urbanización para uso residencial y deportivo.

El entorno de la estación es por tanto un importante centro de servicios educativos y sanitarios; cuenta con:

- Instituto con 1.100 plazas, parcela de 2,3 has y 5.000 m² edificados.
- Universidad Rey D. Juan Carlos I, con 4.000 plazas, parcela de unas 50 has y edificados en la actualidad 6 módulos, donde se imparten distintas disciplinas como Periodismo, Publicidad y Relaciones Públicas, Ingeniería de Telecomunicaciones, Comunicación Audiovisual, etc.
- Hospital con 420 plazas y 68.000 m² edificados.



Vista aérea zona entronque túnel artificial con estación de Fuenlabrada 2.



Para dar acceso a la universidad, se ha diseñado y construido un cañón de viajeros que pasa por debajo del Camino del Molino, con lo que se disminuyen las interferencias entre los tráficos rodado y peatonal. El trazado del cañón se hizo oblicuo respecto a la estación y con un quiebro final, para lograr un perfecto desembarco en la acera exterior de la parcela de la universidad.

La salida al hospital se cambió al lado sur, emergiendo así en el exterior del vallado de la parcela del hospital; esto obligó a la creación de un nuevo módulo a nivel de vestíbulo en el nexo de unión de los dos cañones de viajeros. En este módulo se incorporó el ascensor para disminuir la ocupación superficial, en una zona en la que se preveía una vía de entrada al hospital.

Se ha producido entonces una adaptación de la obra al entorno, en coordinación directa con el Ayuntamiento de Fuenlabrada y los equipos técnicos de las distintas actuaciones, obteniendo una estación perfectamente adaptada a las necesidades, en este caso futuras, y lista para dar servicio a estudiantes, usuarios del servicio sanitario y residentes en las urbanizaciones planificadas en la zona contigua.

2.2.3. Futura Estación

De las urbanizaciones a realizar en la zona, la primera tiene una extensión de 52,2 has y contendrá 1.850 viviendas unifamiliares y colectivas, con 58.000 m² de zonas verdes y 46.000 m² para equipamiento público; contará con una gran zona polideportiva y la recuperación de la laguna de Fregacedos, que dará lugar a un gran parque público.

Al otro lado de la traza del túnel se construirá una segunda urbanización de 26 has, 750 viviendas y 55.000 m² de zonas verdes.

Para dar servicio a esta futura demanda y en el centro de gravedad de las dos urbanizaciones, se ha dispuesto un módulo de túnel artificial con las dimensiones y elementos necesarios que faciliten posteriormente la construcción de una estación: longitud de 120 m en recta horizontal, anchura entre hastiales de 8,60 m y bóveda desmontable formada por losas prefabricadas sobre cerchas metálicas cubiertas con geotextil.

La zona queda lista para realizar, en un futuro, pantallas exteriores en perímetro de la futura estación, excavación interior, desmontaje de bóveda, y losas de 120 m sobre los actuales muros de hastial para conformar los andenes. Para la losa de vestíbulo es posible que se utilice cimbra; en cualquier caso será necesario proteger el interior de la sección con una camisa de chapa o similar para evitar cualquier desprendimiento sobre las vías.

3. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS

3.1. MÉTODOS EN SUBTRAMOS III-B Y IV-A

Se han empleado los métodos propios de una zona urbana consolidada: pantallas para túnel y estación del subtramo III-B y método tradicional de Madrid en el IV-A, con las longitudes que aparecen en el cuadro 1.

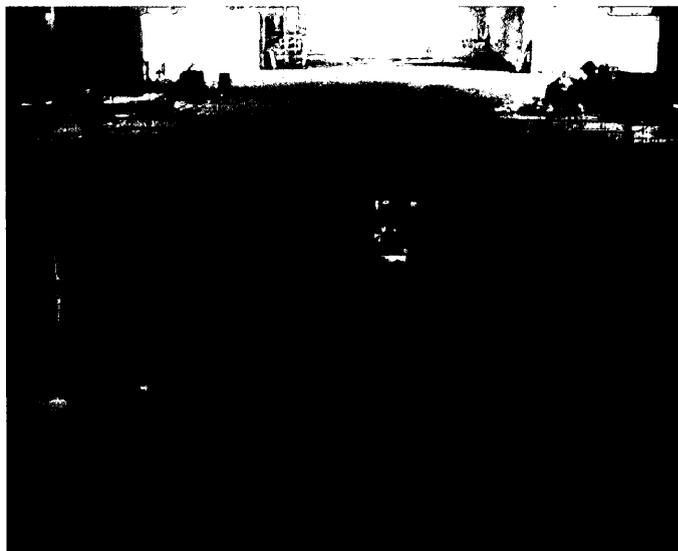
3.1.1. Subtramo III-B. Túnel entre Pantallas

Se realiza entre pantallas con un ancho de 8,2 m y una longitud de 275 m en recta, discurrendo por debajo de la calle Alegría hasta la estación de Loranca. La simplicidad de la sección permitió alcanzar rendimientos altos en los primeros meses de obra.

El procedimiento es el acostumbrado: Preparación de la superficie, murete guía previo a la ejecución de las pantallas laterales, excavación entre pantallas hasta nivel inferior de losa superior, descabezado de pantallas, ejecución de losa superior incluso viga de atado y posteriormente excavación bajo losa para terminar con contrabóveda sobre el terreno.

CUADRO 1.

SBT.	ELEMENTO	M. CONSTRUCTIVO	LONGITUD (M)
III-B	Túnel	Pantallas	275,11
	Estación	Pantallas	131,62
IV-A	Túnel	Método Madrid	413,27



En este caso la excavación se realizó en su mayor parte accediendo desde el nivel superior invirtiendo la rampa de la estación, y el resto desde el nivel de contrabóveda de la estación extrayendo el material por la rampa de acceso al túnel.

Para valorar el rendimiento alcanzado se puede utilizar como criterio el m² de pantalla ejecutada cada mes, que figura en el cuadro 2.

Como se puede observar, en los primeros 4 meses se construyó el 97,4%, con una media de 2.096 m²/mes y un máximo de 4.064 m². Por otra parte, la existencia de servicios de gas y telefonía originó un desfase temporal en la terminación de las pantallas, que hubieron de construirse al cabo de 9 meses como bataches desde el interior de la excavación.

3.1.2. Subtramo III-B. Estación

Se realiza entre pantallas, el módulo central de losa superior con vigas pretensadas de 29.6 m de longitud, 1.85 m de canto y losas prefabricadas con losa superior de compresión in situ. El resto de losas superiores y de

vestíbulo son aligeradas. Incluye además una subestación con losa portante en la inferior de planta de cables y 8 pilas – pilote que soportan el vestíbulo.

El perímetro de la estación es un polígono de 12 lados por lo que el rendimiento alcanzado fue inferior al del túnel: media de 1.843 m²/mes en los primeros cuatro meses y máximo de 2.800 m²/mes. Se produce un pequeño desfase temporal por la finalización del cañón norte de viajeros. (Cuadro 3).

3.2. MÉTODOS EN SUBTRAMO IV-A

Este túnel arranca en la estación de Loranca, está surcado por la rampa de acceso a 70 m en el margen derecho, cambia su sección de 8,20 m a 7,80 m a 142 m de la estación y 14 m más adelante posee una curva de radio 300 y 97 m de longitud; finaliza en recta a 413 m de la estación en el entronque con el subtramo IV-B.

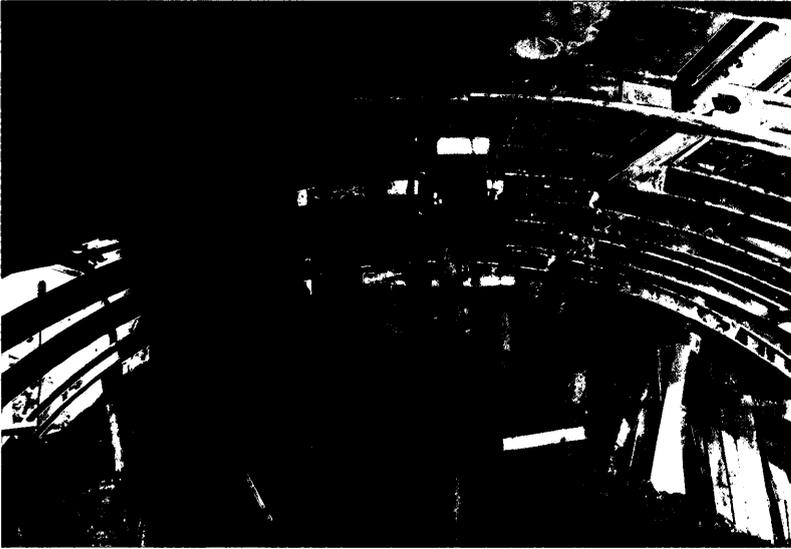
El procedimiento constructivo empleado es el Método Tradicional de Madrid, que se describe a continuación.

CUADRO 2.
Subtramo III-B. Túnel

MES	m ² PANTALLA	% ACUM.
jun-00	678,6	7,9
jul-00	4.064,3	55,1
ago-00	3.051,0	90,5
sep-00	590,2	97,4
jun-01	70,8	98,2
jul-01	70,8	99,1
oct-01	81,6	100,0
TOTAL	8.607,3	

CUADRO 3.
Subtramo III-B. Estación

MES	m ² PANTALLA	% ACUM.
jul-00	1.208,4	16,0
ago-00	2.573,8	50,2
sep-00	2.799,6	87,4
oct-00	790,6	97,9
ago-01	160,4	100,0
TOTAL	7.532,8	



3.2.1. Método Tradicional de Madrid

Método tradicional de Madrid.

Lo más característico de este método es la ejecución del anillo de bóveda. Comienza con una galería de ataque en la clave de la sección (2,5 m x 1,5 m), que se reviste longitudinalmente en su parte superior con tablas y longarinas, apoyadas cada metro en secciones perpendiculares al avance, consistentes en puntales verticales extremos sobre los que se apoyan los transillones.

Una vez hecha esta galería concluye el momento más crítico, y por repeticiones sucesivas del método avanzando hacia los lados y hacia abajo, se avanza en tres o cuatro pases hasta cubrir 2,5 m.

Con la bóveda revestida de madera se procede a la colocación del encofrado, recuperando las longarinas y hormigonando.

A unos 25 m del frente (para no afectar a su estabilidad) se amplía la excavación hasta borde superior de contrabóveda y exterior de hastial, en lo que se denomina la destroza.

Los bataches se ejecutan sustituyendo un tomo de tierras lateral de 90 cm por hormigón (2,5 m de largo y 3,7 m de alto), excavando a mano con martillo y encofrando a una cara. Cada batache apoya dos bóvedas. En la misma sesión se hormigona un hastial a cada lado, pero como no pueden permanecer excavadas a la vez las dos bases de una misma bóveda, el desfase mínimo necesario entre bataches será de 2 módulos.

Si la semana ha transcurrido de forma normal se habrán hormigonado 5 anillos de 2,5 m y progresado la destroza proporcionalmente, por lo que el sábado la contrabóveda puede avanzar 13 m para descansar el domingo y el lunes transitar sobre un hormigón suficientemente fraguado.

El trabajo lo lleva a cabo un equipo de unas 12 personas: 2 o 3 con martillo neumático, 2 o 3 con palas, otros tantos co-

locando la entibación, 2 en hastiales, 1 peón para labores auxiliares o sustituciones y 1 capataz. Se requiere que el capataz tenga mucha experiencia y una presencia continua en el tajo para dar una respuesta rápida ante situaciones imprevistas que puedan darse. En días laborables se trabajaba en tres turnos de 8 horas, medio día en sábados y descanso en domingo.

En cuanto a maquinaria, una retro pequeña saca las tierras hasta la zona de destroza, y una retroexcavadora normal hace la destroza, extrayéndose el material en camiones.

3.2.2. Rendimientos

El criterio de avance es el número de anillos de bóveda o su longitud total en un mes ya que, una vez hormigonado este elemento, concluye el momento más crítico para la estabilidad de la sección.

En condiciones normales se realizaban bóvedas de 2,5 m y medios anillos cuando el terreno presentaba dificultades.

Las mayores complicaciones se presentaron al principio y al final de la obra; en la noche del 29 de septiembre de 2000 comenzaron a oírse ruidos entre las maderas del entablonado de la bóveda 108 (en el tramo rampa- estación) y el equipo abandonaba el frente en unos segundos. Se había llegado a una cavidad del terreno y al excavar la bóveda se produjeron desprendimientos del terreno. La bóveda se inyectó posteriormente desde superficie y se ejecutaron 3 anillos de 1,25 hasta cubrir la zona.

Posteriormente y cuando solo faltaban unos metros para terminar el túnel apareció una capa saturada de arenas en clave que producía socavaciones en la arena y desprendimientos lajosos en el tosco contiguo, por lo que hubo que realizar pases de 1,25 m en 11 ocasiones.

El ritmo alcanzado figura en el cuadro 4.

La media mensual es de 17 anillos o 41,3 m/mes, próxima a 1 bóveda por día de trabajo, ritmo que por otra parte es el que se ha seguido cuando las condiciones lo permitían,

CUADRO 4.
Subtramo IV-A. Túnel Método Madrid. 2000

MES	Nº ANILLOS	AVANCE (m)	% ACUM.
Sep-00	16	40,0	9,7
oct-00	20	46,6	21,0
nov-00	18	45,0	31,8
dic-00	17	40,0	41,5
ene-01	21	52,5	54,2
feb-01	22	55,0	67,6
mar-01	21	52,5	80,3
abr-01	13	32,5	88,1
may-01	21	39,0	97,6
jun-01	4	10,0	100,0
TOTAL		413,1	

CUADRO 5.

ELEMENTO	MÉTODO CONSTRUCTIVO	LONGITUD (M)
Túnel	Pantallas	268,50
	Artificial	1.273,30
	Artificial – futura estación –	119,30
	Pozos de Ventilación y Bombeo	48,23
Estación	Pantallas	158,97
TOTAL		2.688,3

con 3 turnos de 8 horas por día y 5,5 días de trabajo semanales. En cinco de los diez meses de trabajo se mantuvo el óptimo de 1 anillo día.

3.3. MÉTODOS EN SUBTRAMO IV-B

En general se ha empleado el método de túnel artificial, propio de extensiones en campo abierto, construyendo pantallas al final de la zona urbana de Loranca, en un tramo de 80 m con edificaciones próximas y en la estación de Hospital de Fuenlabrada, según el cuadro 5.

3.3.1. Túnel entre Pantallas

Se emplea en 2 tramos; uno de 190 m que arranca en el subtramo IV-A, bajo el campo de fútbol, con pantallas de 0.80 m, ancho de túnel 7.80 m, profundidad media de las pantallas 21.0 m y losa superior de 0.80 m; y otro de 80 m que pasa junto a las instalaciones de Aceitunas Barruz con análoga sección y profundidad media de pantallas de 22.5 m.

Los rendimientos obtenidos en las pantallas del campo de fútbol figuran en el cuadro 6.

La media mensual es de 1.421 m²/mes, siendo el rendimiento de los tres últimos meses doble (63 %) que en los tres primeros. El ritmo se vió mermado por la gran cantidad de servicios existentes en la zona.

CUADRO 6.
PANTALLAS P.K. 14+278 A 14+468

MES	m ²	% ACUM.
feb-01	217,6	3,0
mar-01	743,9	13,5
abr-01	1.684,3	37,1
may-01	1.539,6	58,6
jun-01	1.469,5	79,2
jul-01	1.482,8	100,0
TOTAL	7.137,7	

CUADRO 7.

PANTALLAS P.K. 14+758 A 14+837

MES	m ²	% ACUM.
nov-00	320,4	9,3
dic-00	1.182,5	43,7
ene-01	1.062,1	74,6
feb-01	875,1	100,0
TOTAL	3.440,1	

En las pantallas próximas al área de Barruz el esquema es el que refleja el cuadro 7.

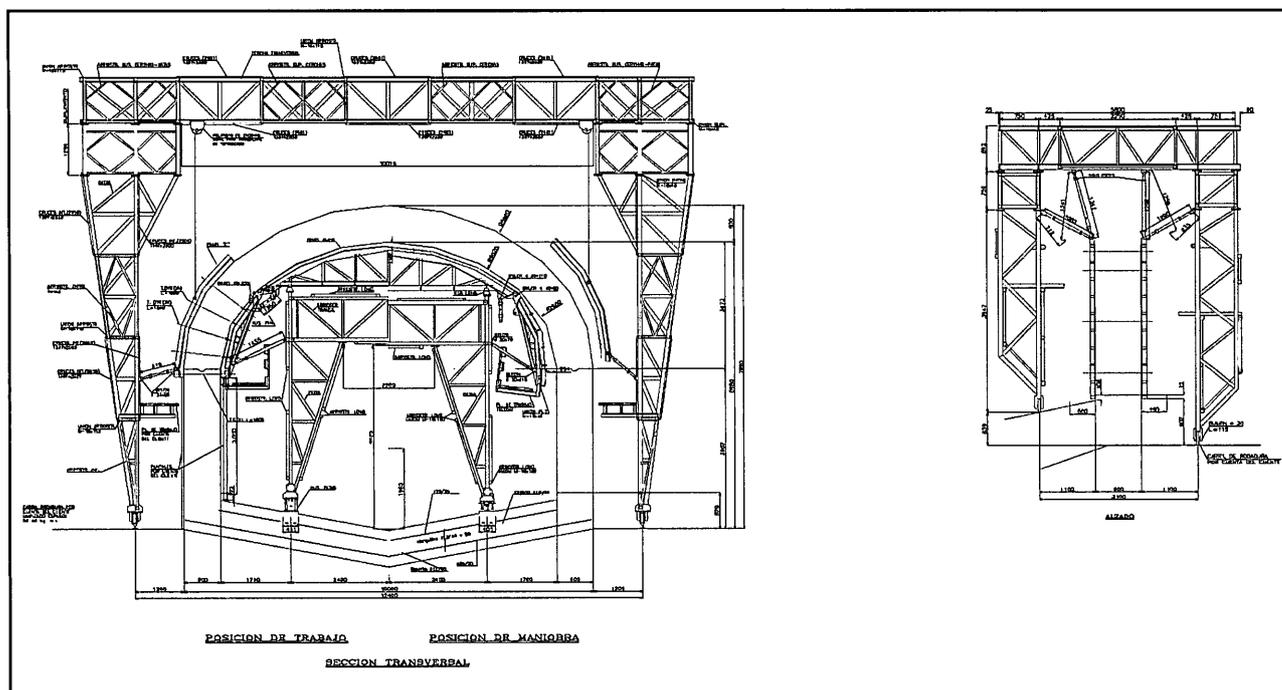
Con media aún inferior de 860 m²/mes debido a la aparición de un yacimiento arqueológico que retrasó el inicio y continuación de los trabajos, y a la existencia de niveles de arenas de hasta 5 m de potencia con gran cantidad de agua, que obligó al uso de lodos bentoníticos.

3.3.2. Túnel a Cielo Abierto

El método seguido ha sido excavación en trinchera hasta base de túnel, y ejecución in situ de contrabóveda, hastiales y bóveda. Para la construcción de bóvedas se disponía de carro interior deslizante, sobre el que se colocaba el enco-



Túnel a cielo abierto.



Pórtico y carro deslizantes para ejecución de túnel a cielo abierto.

frado interior, armaduras y tapes laterales, y pórtico grúa exterior deslizante para el izado de elementos.

Para evaluar el avance utilizamos como parámetro la bóveda construida, por analogía con el túnel por método tradicional. La longitud de los módulos es algo superior a 10 m. El ritmo de ejecución ha sido el que se ve en el cuadro 8.

En marzo de 2001 se observa el primer descenso de rendimiento, y se debe a la adaptación del carro de 8,20 a 7,80 m; en junio y julio se trasladan pórtico y carro para

salvar el tramo de futura estación y pozos de extracción y bombeo. Una vez desplazados se consiguió el máximo rendimiento (próximo a 1 bóveda/día). En septiembre de 2001 disminuye el avance debido a un nuevo traslado para salvar 80 m de pantallas.

3.3.3. Estación

En la estación se pueden considerar 2 fases diferenciadas; una la construcción del perímetro a principio de la obra, con altos rendimientos y otra la de los cañones de viajeros, que se van realizando a medida que se avanza en la definición del entorno.

- En el primer caso el esquema es el representado en el cuadro 9.

La media mensual es de 2.384 m² pantalla/ mes, la más elevada si se consideran tramos independientes; de esta manera se concluye la estación en 3 meses.

CUADRO 8.

MES	Nº BÓVEDAS	AVANCE (m)	% ACUM.
nov-00	6	60,8	4,8
dic-00	8	80,1	11,1
ene-01	9	91,1	18,3
feb-01	10	101,3	26,2
mar-01	7	71,4	31,9
abr-01	12	122,9	41,5
may-01	18	184,4	56,0
jun-01	3	30,7	58,4
jul-01	5	51,4	62,4
ago-01	18	185,0	77,0
sep-01	4	33,8	79,6
oct-01	16	164,8	92,5
nov-01	9	85,2	99,2
feb-02	1	10,2	100,0
TOTAL		1273,1	

CUADRO 9.

MES	m ² PANTALLA	% ACUM.
ago-00	2.280,3	31,9
sep-00	2.925,9	72,8
oct-01	1.946,6	100,0
TOTAL	7.152,8	

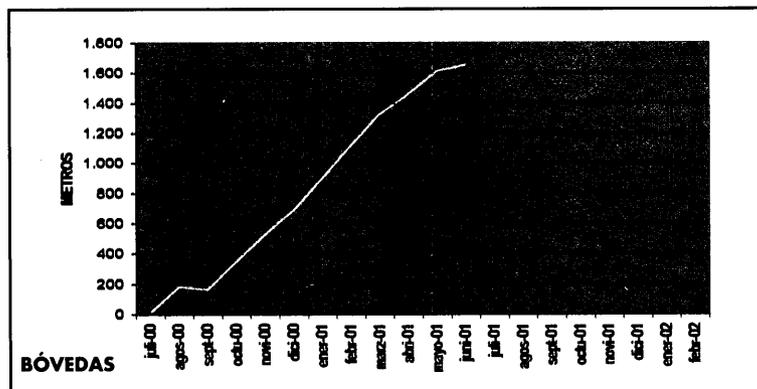
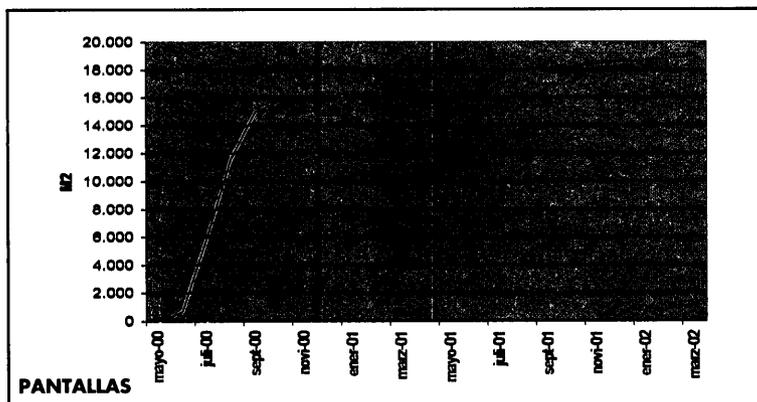
CUADRO 10.

MES	m ² MURO	% ACUM.	ELEMENTO
ago-01	210,0	17,3	CAÑÓN UNIVIDAD.
oct-01	196,0	33,4	
nov-01	224,8	51,9	CAÑÓN HOSPITAL
dic-01	157,9	65,0	
ene-02	92,1	72,5	
feb-02	105,9	81,3	
mar-02	227,5	100,00	
TOTAL	1.214,2		

• En el caso de los cañones de viajeros se construyen muros desde losa inferior. La salida a hospital da lugar a un *prevestíbulo* anexo a la estación (dos fases de ejecución en altura); el cañón de la universidad requiere una longitud de 63 m bajo el Camino del Molino para salvarlo (Cuadro 10).

3.4. CONCLUSIONES

Las conclusiones más interesantes se pueden obtener agrupando todo lo anterior en pantallas y bóvedas:



• PANTALLAS: el ritmo conseguido en el subtramo III-B es 3 veces superior al del IV-B, ya que en los 4 primeros meses se construyen en III-B 15.000 m², cifra que tarda más de 12 meses en conseguirse en IV-B.

• BÓVEDAS: el ritmo en IV-B es 2 veces superior al de IV-A en cuanto a metros ejecutados, ya que la intersección (unos 210 m) se alcanza con algo más de 3 meses en el primero y 7 en el segundo.

Este hecho se debe a diferencias inherentes al propio método constructivo, ya que por el método belga se construyen anillos de 2.5 m en el mejor de los casos, mientras que los módulos de falso túnel son de 10 m. Esto se pone de manifiesto de la forma siguiente:

Si multiplicamos por 4 los metros de "belga" (igualamos longitudes) obtenemos la línea amarilla del gráfico, que con la rosa nos sirve para comparar los rendimientos si consideramos solo módulos, independientemente de la longitud.

Se observa entonces que la pendiente es algo mayor en el túnel por método tradicional, por lo que el ritmo de construcción de módulos de bóveda es mayor en IV-A.

4. ADAPTACIÓN A LA REALIDAD

4.1. ACTUACIONES EN SUBTS. III-B Y IV-A

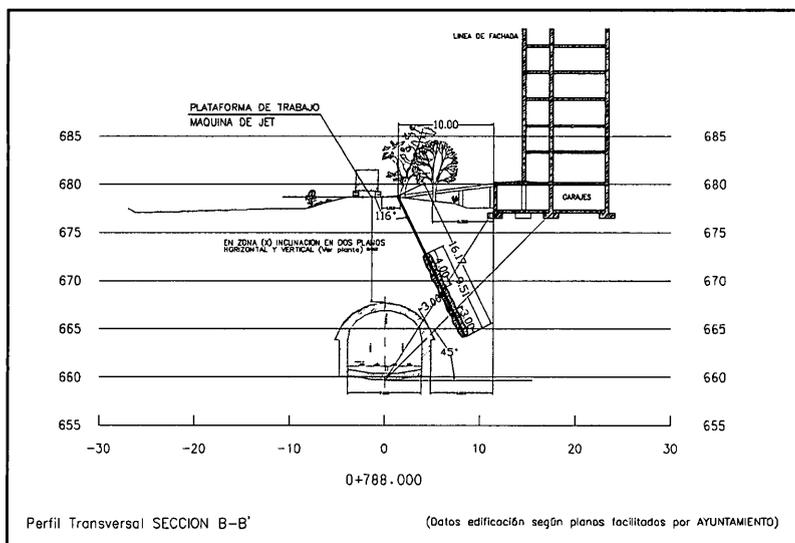
Durante la obra se ha formado un equipo entre Dirección de Obra, Metro de Madrid, Empresa Constructora, Asistencia Técnica, Control de Calidad, Instrumentación, etc. que con reuniones semanales exponía y debatía las situaciones planteadas en la obra o previstas.

De esta manera se han detectado, valorado y resuelto problemas "en tiempo real" cuya detección o solución posterior hubiera sido costosa y difícil.

En abril de 2001 comenzó a observarse en algunas pantallas de la estación una fisuración superior a la esperada, mientras los inclinómetros alcanzaban deformaciones superiores a la de referencia. Se estableció un periodo de observación en el que el fenómeno no remitía; se recurrió entonces a la ayuda de asesores y un mes después comenzaron a construirse refuerzos de pantalla en las zonas de cuartos técnicos y subestación (contrafuertes de 0,5 x 0,5 m² de sección cada 5 m). La etapa de lluvias del invierno había puesto de manifiesto niveles freáticos muy superiores a los de años anteriores como se pudo observar con la instalación de piezómetros, y las sollicitaciones locales eran superiores a las previstas.

En otros casos se han tomado medidas de tipo preventivo, ante una situación especial.

En el subtramo IV-A existía un edificio muy próximo a la traza; el túnel por método belga pasaba a una distan-



cia mínima en planta de 6 m. Para evitar cualquier afectación se adoptaron las medidas siguientes:

- Tratamiento de jet grouting entre túnel y edificio. Desde el jardín contiguo se realizaron 10 columnas de jet cada 1,25 m a 26° respecto a la vertical, y 3 extremas en abanico. Las columnas, de 16 m de profundidad, llegaban a una distancia mínima de 3 m respecto al túnel, que tiene una cobertura sobre la bóveda en esta zona de unos 11 m. Para no comprome-

Tratamiento de jet-grouting. Sección P.K. 0+788.

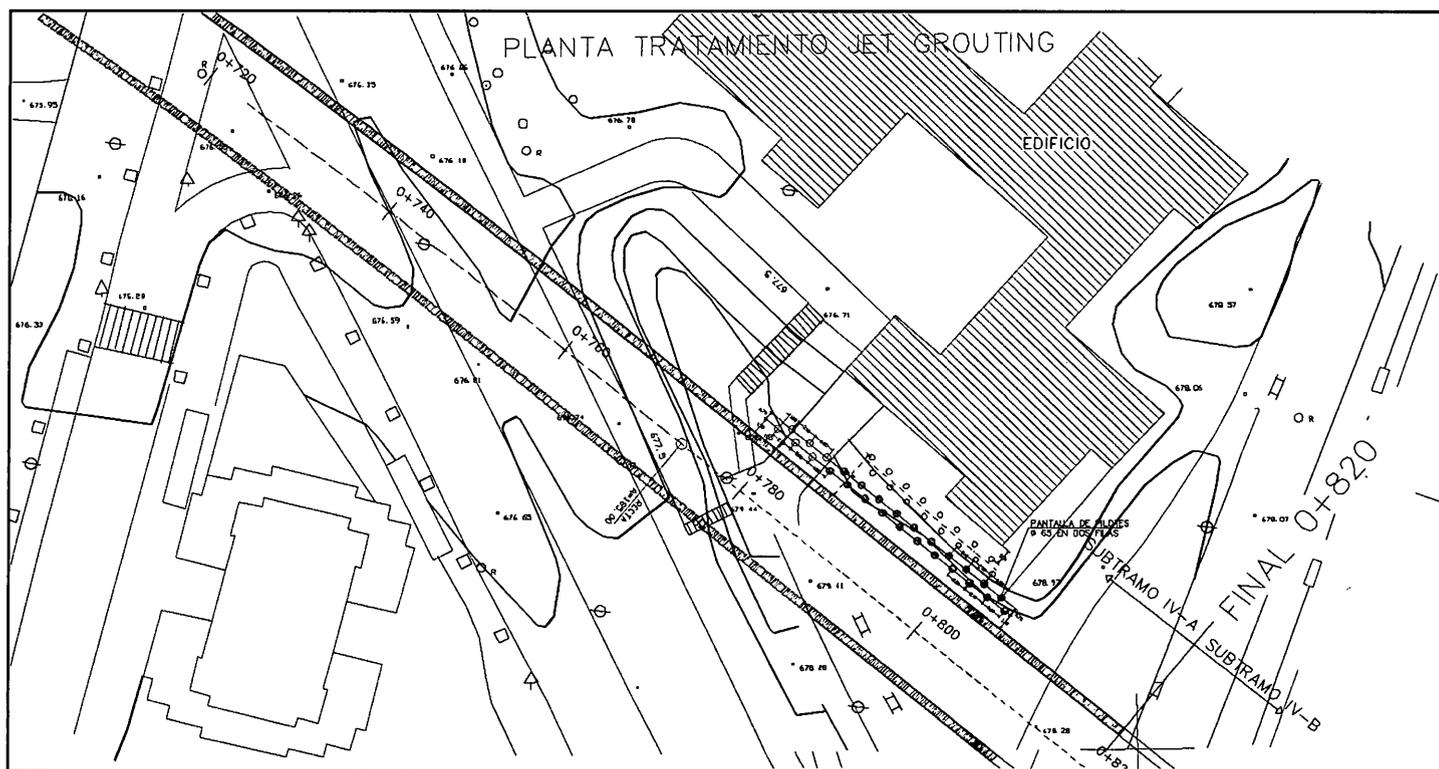
Tratamiento de jet-grouting. Planta general.

ter su estabilidad, el frente de excavación estaba a más de 50 m mientras se realizaban estas operaciones.

- Con el túnel ya construido tuvo lugar una segunda inyección, ya desde el interior, con 2 filas de 10 taladros separados 2,5 m; una en clave con taladros verticales, y otra también en bóveda a mitad de distancia entre clave y cabeza de hastial con una inclinación de 45°. El solape con la zona de jet era de unos 8 m.

Estas medidas tienden a evitar que cualquier movimiento del terreno producido durante o después de la ejecución afecte al edificio, pero se trataba de aislarlo al máximo posible. Se pensó en dar un paso más actuando contra la vibración que produce el paso de trenes.

- Finalmente se adoptó como solución la colocación de una manta elastomérica, que se había utilizado con buenos resultados en tramos puntuales de la red de Metro muy próximos a edificios. La novedad de la solución llevó a su consideración por especialistas de Metro y finalmente se dispuso entre los P.K. 14+220 y 14+278 una manta Sylomer de 250 mm de espesor, con bandas extremas de transición de 125 mm, y una losa armada entre taco y manta con 2 entramados de 12 a 20 separados 25 cm entre sí y a una distancia de unos 7 cm de los tacos.

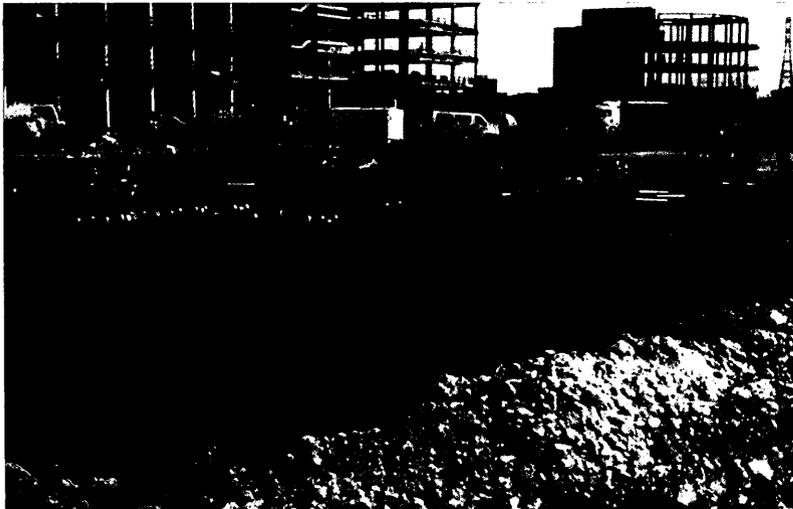




4.2. ACTUACIONES EN SUBTRAMO IV-B

Ya se han comentado las modificaciones llevadas a cabo en los cañones de viajeros para adaptarse al entorno proyectado de la estación.

Entre las actuaciones de adaptación a las circunstancias de la obra figura la realización de un módulo anexo a la salida de la estación para extraer la tuneladora La Paloma, que operó en el tramo contiguo. Se trata de un recinto rectangular de 21 x 19 m² realizado con pantallas de 1 m de espesor



y un estampidor central continuo que da lugar a un hueco elipsoidal (poligonal) a 12.5 m sobre base de contrabóveda.

La salida de emergencia fue otro elemento a modificar en la estación, de forma que la boca exterior saliera fuera del vallado de la parcela del hospital, con un recorrido mínimo para los casos de emergencias. Se diseñó por lo tanto al final de la estación, en el lado sur, saliendo perpendicular a la valla, con descansillo una vez sobrepasada esta y tramo final paralelo al vallado hasta el exterior.

La propia sección descrita de la futura estación constituye una modificación de lo proyectado para adaptar a necesidades previstas.

5. VÍA

Los 2.689 m de vía doble y 2 diagonales se han montado empleando los siguientes parámetros geométricos y tolerancias: Distancia de hastial a cara activa del carril, ancho de vía (+/- 3 mm), flecha en planta (+/- 3 mm en cuerda de 10 m), cota en cabeza de carril (+/- 2 mm) y peralte (+/- 2 mm), todos ellos referidos a piquetes cada 5 m, salvo en curva de radio 300 m que se controlaron cada 1m.

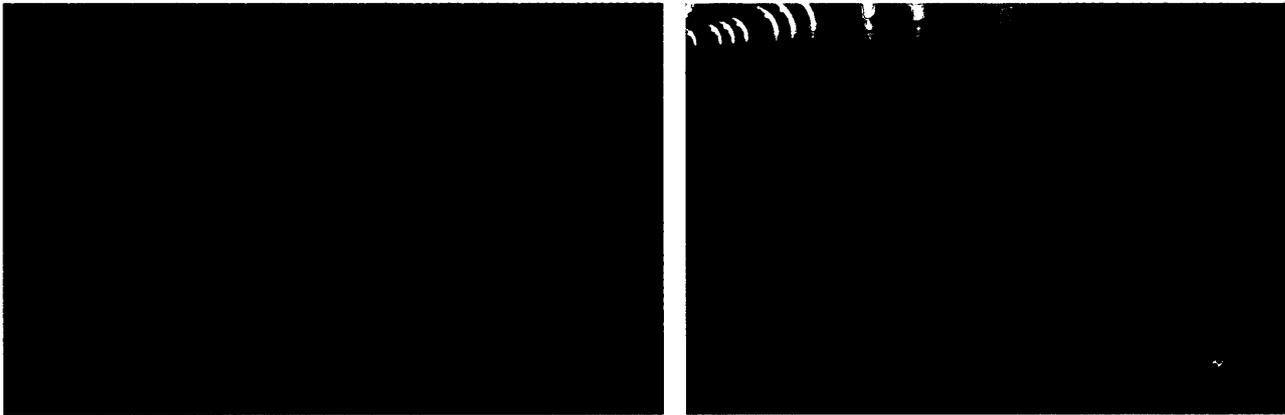
5.1. VÍA EN SUBTRAMOS III-B Y IV-A

Los subtramos III-B y IV-A tienen la singularidad de poseer dos diagonales de vías (a la entrada y salida de la estación), que permiten al material móvil las maniobras necesarias para el acceso a cocheras.

Los 820 m de vía doble y diagonales que componen los dos subtramos se construyeron en menos de 2 meses, llevándose a cabo por el mismo equipo el montaje, hormigonado y soldadura de vía. El tramo medio por día de hormigonado fue de 74 m y el máximo de 116 m. En el cuadro 11 se puede ver el resumen por meses.

CUADRO 11.

MES	VÍA	LONGITUD	
OCTUBRE	IZQUIERDA	275 m	
	DERECHA	60 m	
TOTAL OCT		335 m	(4 d)
NOVIEMBRE	IZQUIERDA	261 m	
	DERECHA	513 m	
TOTAL NOV		774 m y 1 Diagonal	(11 d)
DICIEMBRE	IZQUIERDA	274 m	
	DERECHA	237 m	
TOTAL DIC		335 m y 1 Diagonal	(8 d)



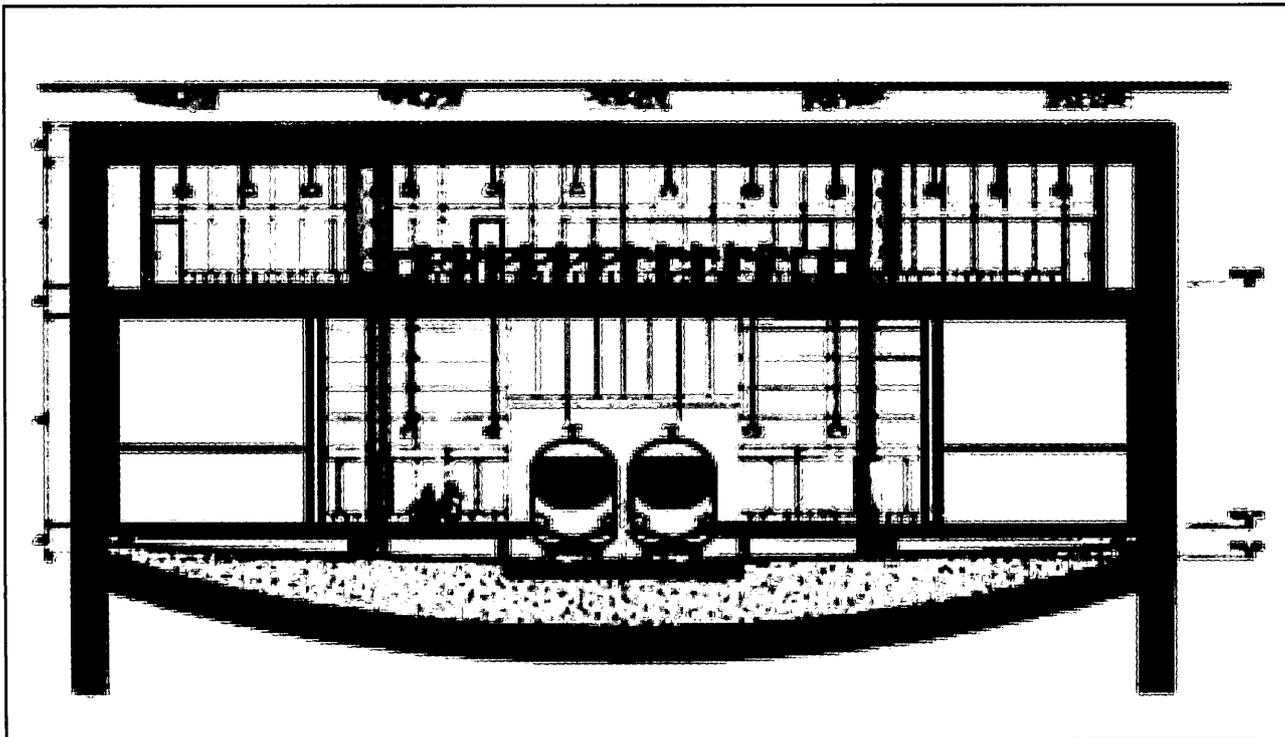
5.2. VÍA EN SUBTRAMO IV-B

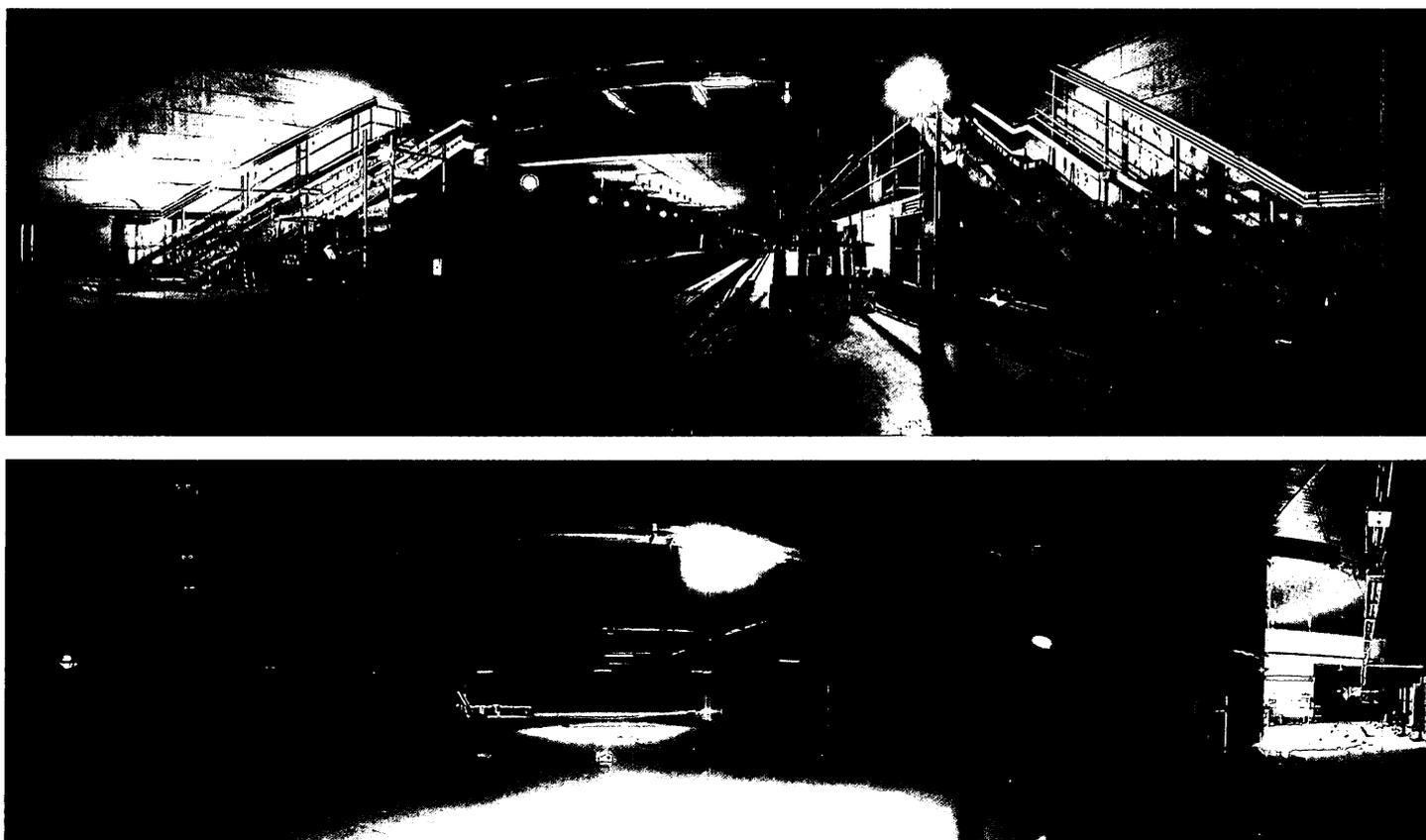
En este subtramo se han ejecutado 1.869 m de vía doble, desde la conexión con el subtramo IV-A hasta el pozo de salida de la tuneladora, en la estación de Hospital de Fuenlabrada.

El montaje, hormigonado y soldadura fue llevado a cabo por equipos distintos. La media de metros por día de hormigonado es de 65 m/día, con una evolución del rendimiento que pasa de los 53 m/día en enero de 2002 a 64 en febrero, 67 m en marzo y 75 m/día en abril. El tramo más largo ejecutado fue de 105 m. El resumen mensual puede observarse en el cuadro 12.

CUADRO 12.

MES	VÍA	LONGITUD	
ENERO 02	IZQUIERDA	440 m	
	DERECHA	355 m	
TOTAL ENE		795 m	(15 d)
FEBRERO 02	IZQUIERDA	454 m	
	DERECHA	314 m	
TOTAL FEB		768	(12 d)
MARZO 02	IZQUIERDA	585 m	
	DERECHA	615 m	
TOTAL MAR		1200	(18 d)
ABRIL 02	IZQUIERDA	390 m	
	DERECHA	585 m	
TOTAL ABR		975	(13 d)





Estación de Loranca. Abajo, estación de Hospital de Fuenlabrada.

6. CONCLUSIÓN

La conclusión que debe extraerse de lo anterior es que, partiendo del proyecto inicial y con las decisiones adoptadas en obra durante el desarrollo de los trabajos, se ha construido de forma satisfactoria un tramo de Metro-

sur de 2.689 m que incluye 2 estaciones, adaptado a los condicionantes del entorno actual y planificado, según los plazos establecidos (si bien se ha visto posteriormente ampliado para adaptarse al conjunto de la obra de Metro-sur) y sin incidencias destacables en lo relativo a seguridad. ■

FICHA TÉCNICA

PROMOTOR	MINTRA (Madrid, Infraestructuras del Transporte) Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes. Comunidad Autónoma de Madrid	CONSTRUCTORAS	OHL José María Cuellar Fernández, <i>Ingeniero de Caminos, C. y P.</i> SACYR Fernando Evangelio Gamero <i>Ingeniero Técnico de Minas.</i> José María Saiz Aguado, <i>Ingeniero Técnico de Obras Públicas.</i>
AUTOR DEL PROYECTO	MINTRA, EUROESTUDIOS	ASISTENCIA TÉCNICA	INTECSA-INARSA, S.A. Eduardo Alcolea Martínez, <i>Ingeniero de Caminos, C. y P.</i>
DIRECCIÓN DE OBRA	José María Díaz Retana, <i>Ingeniero de Caminos, C. y P.</i> Petronila Navarro Sanz, <i>Ingeniero Técnico de Obras Públicas.</i>	CONTROL DE CALIDAD	ICAES
ASESOR GEOTÉCNICO	Carlos Oteo Mazo, <i>Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.</i>	PRESUPUESTO	68.359.182 Euros
ASESOR TUNELADORA	Felipe Mendaña Saavedra, <i>Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.</i>	PRESUPUESTO INSTALACIONES	23.255.816,87 Euros
		PLAZO DE EJECUCIÓN	31 meses.