

# CONTRATO 5. GETAFE

## CONTRACT 5. GETAFE

JESÚS TRABADA GUIJARRO. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
 Director de Area de Proyectos y Obras I. MINTRA. [admon@mintra.c.telefonica.net](mailto:admon@mintra.c.telefonica.net)  
 ANTONIO GONZÁLEZ JIMÉNEZ. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
 Director de Obra. MINTRA. [admon@mintra.c.telefonica.net](mailto:admon@mintra.c.telefonica.net)

**RESUMEN:** El Contrato 5 de Metrosur discurre en su totalidad en el término municipal de Getafe. La longitud del contrato es de 7.432 m, de los cuales 6.480 m corresponden a túnel ejecutado con tuneladora, 160 m son falso túnel ejecutado con carro encofrador, y 792 m corresponden a los recintos apantallados de las estaciones. En este contrato se han ejecutado 6 estaciones (dos de ellas son intercambiadores con la red de Cercanías), así como un total de 13 pozos interestaciones (pozos de ventilación, de bombeo y salidas de emergencia). La tuneladora fue especialmente diseñada para excavar a través de los yesos, cuya resistencia a compresión superaba los 150 kg/cm<sup>2</sup>. Las seis estaciones fueron construidas mediante el procedimiento cut-and cover, aunque para el recinto apantallado se utilizaron diferentes tecnologías dependiendo de la dureza de los terrenos de cada estación (pantalladora convencional, hidrofresa, pilotes entubados y pantalladora convencional ayudada por preforos).

**PALABRAS CLAVE:** GETAFE, TÚNEL, ESTACIONES, FERROCARRIL METROPOLITANO

**ABSTRACT:** Contract 5 of the Metrosur runs entirely through the municipality of Getafe. The contract section is 7,432 m long, 6,480 m of which being tunnel bored by tunnelling machine, 160 m being false tunnel built with sliding formwork and 792 m corresponding to the screen walled areas of the stations. The contract includes 6 stations (two of which serving as interchanges with the Metropolitan railway network) as well as 13 inter-station shafts (ventilation shafts, pump shafts and emergency exits). The tunnelling machine was specially designed to bore through chalks with a compressive strength of over 150 kg/cm<sup>2</sup>. The six stations were built by the cut-and-cover method, though different techniques were used for the screen wall area depending on the type of ground at each station. This ranging from conventional methods to hydrocutters, casing piles and conventional screen walls supported by shotcreting.

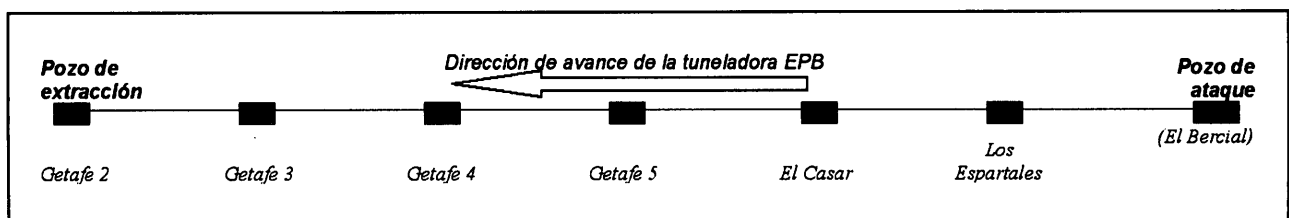
**KEYWORDS:** GETAFE, TUNNEL, STATIONS, METROPOLITAN RAILWAY

### DESCRIPCIÓN GENERAL

Las obras del Contrato 5 de Metrosur discurren en su totalidad en el término municipal de Getafe.

El Contrato 5 tiene una longitud de 7.432 m, incluye seis estaciones, trece pozos interestaciones de ventila-

ción, salidas de emergencia y pozos de bombeo. También comprende la superestructura de vía, el alumbrado y fuerza del túnel, la reposición de los servicios afectados y la restauración ambiental de las zonas en que la ejecución de las obras pudieran afectar al medio.



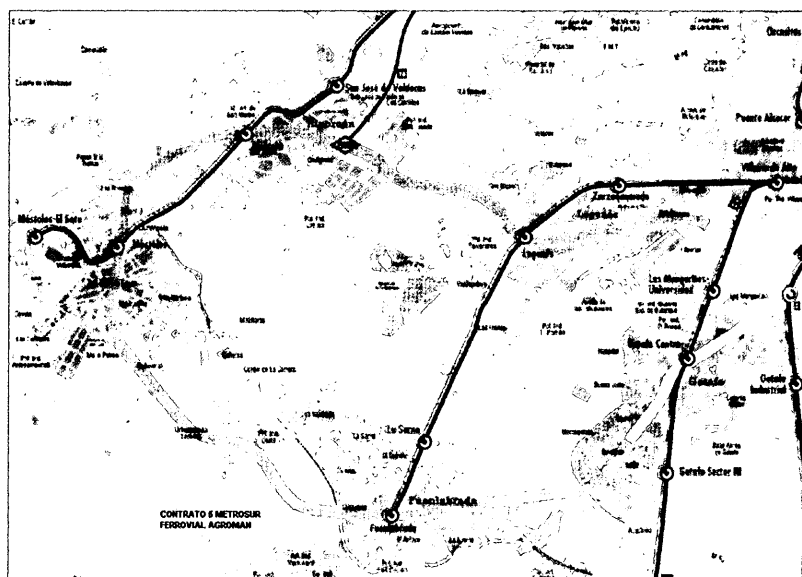


Figura 1. Plano de Situación.

La línea quedará equipada con vía doble electrificada con catenaria rígida. Todo el tramo es subterráneo, ejecutado con tuneladora de sección circular dejando un túnel con diámetro interior de 8,43 m.

Las principales magnitudes del proyecto son las reflejadas en el cuadro 1.

El plazo de ejecución del conjunto de las obras a las que se refiere el proyecto es de treinta meses.

El presupuesto de adjudicación (con IVA) de las obras es el siguiente :

Túnel de línea + superestructura de vía..	128.159.514 Euros
Estaciones + resto.....	95.920.817 Euros
<b>TOTAL.....</b>	<b>224.080.331 Euros</b>

### GEOLÓGIA Y GEOTECNIA

El trazado discurre por diferentes terrenos, siendo de especial importancia por su magnitud el paso por peñuelas, arcillas negras y yesos, de especial dureza, dando una resistencia a compresión de 130 a 150 kg/cm<sup>2</sup> discurrendo siempre bajo el nivel freático o atravesándolo, con una carga máxima aproximada de agua sobre clave de túnel de 14 m.

Entre los terrenos con que nos encontramos se encuentran los indicados en el cuadro 2.

CUADRO 1.

UNIDAD		MEDICIÓN	MEDICIÓN TOTAL
m.	Longitud total	Túnel EPB Falso túnel Longitud de paso de estaciones	6,480 160 792 7,432
Kg.	Acero de armar	Pantallas y pilotes Dovelas de túnel Resto de obra	6,107,544 4,765,467 7,824,143 18,697,154
m <sup>3</sup>	Excavación	Pantallas y pilotes Túnel Resto de excavaciones	54,028 445,880 852,296 1,352,204
m.	Pilotes		6,571 6,571
m <sup>2</sup>	Pantallas		30,142 30,142
m <sup>3</sup>	Hormigón	Pantallas y pilotes Dovelas túnel Resto de hormigones	52,727 59,004 79,815 191,546
m.	Carril de 54 kg/m		29,444 29,444
Ud.	Tacos elásticos para 12.5 t	32,680	32,680
m <sup>2</sup>	Paneles tipo Vitrex para revestimiento de paramentos verticales de estaciones		6,550 6,550
m <sup>2</sup>	Panel de Italfilm para revestimiento de paramentos verticales de estaciones		19,000 19,000
m <sup>2</sup>	Pavimentos en vestíbulos y andenes		17,031 17,031

CUADRO 2.

Cuaternario	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rellenos antrópicos</li> <li>- Depósitos aluviales arcillo-arenosos</li> </ul>	
Terciario	- Facies Madrid	- Tosco y/o tosco arenoso
	- Facies de transición	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peñuelas reblandecidas: arcillas marrones, verdes y grisáceas. (Moderadamente firmes a firmes).</li> <li>- Peñuelas: Arcillas carbonatadas marrones, verdosas y grisáceas. (Duras).</li> <li>- Arenas y limos micáceos marrones y grisáceos.</li> <li>- Arcillas sepiolíticas blancas y rosáceas.</li> </ul>
	- Facies central	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arcillas negras con yesos</li> <li>- Yesos con aspecto masivo, cristalino y fibroso con niveles centimétricos de arcillas negras.</li> </ul>

## TÚNEL

### DESCRIPCIÓN DEL ESCUDO EPB

Por tratarse de terrenos constituidos por suelos y rocas blandas la excavación del túnel se realiza mediante máquina tuneladora escudo tipo EPB, que aplica la presión en el frente, manteniendo en presión las tierras excavadas y cuya misión principal es la de garantizar la estabilidad del frente del túnel y del tramo en el que se desarrollan las fases constructivas, confiando en minimizar los asentamientos en superficie.

El diámetro del túnel viene fijado por la explotación del metro. La situación pésima exige un diámetro interior de 8,43 m., con lo que, para la dovela tipo Madrid, de hormigón armado de 32 cm de espesor, se obtiene un diámetro de excavación de 9,38 m.

La tuneladora del Contrato 5 de Metrosur Mares del Sur es una EPB en propiedad que se estrena en esta obra y posee los últimos avances en este tipo de máquinas. Entre ellos se destacan su total automatización, su sistema de guiado láser, la instalación de una dovela base en el fondo del anillo, su cabeza de corte mixta con discos para corte de roca y teletransmisión automática de datos a la oficina de obra.

Se trata de un escudo de presión de tierras EPB con mamparo estanco diseñado para una presión operativa de 3 bar de la casa Herrenknecht.

Su peso es de 454 T y consta de una unidad de corte o rueda de corte, el cuerpo medio del escudo y la cola del escudo.

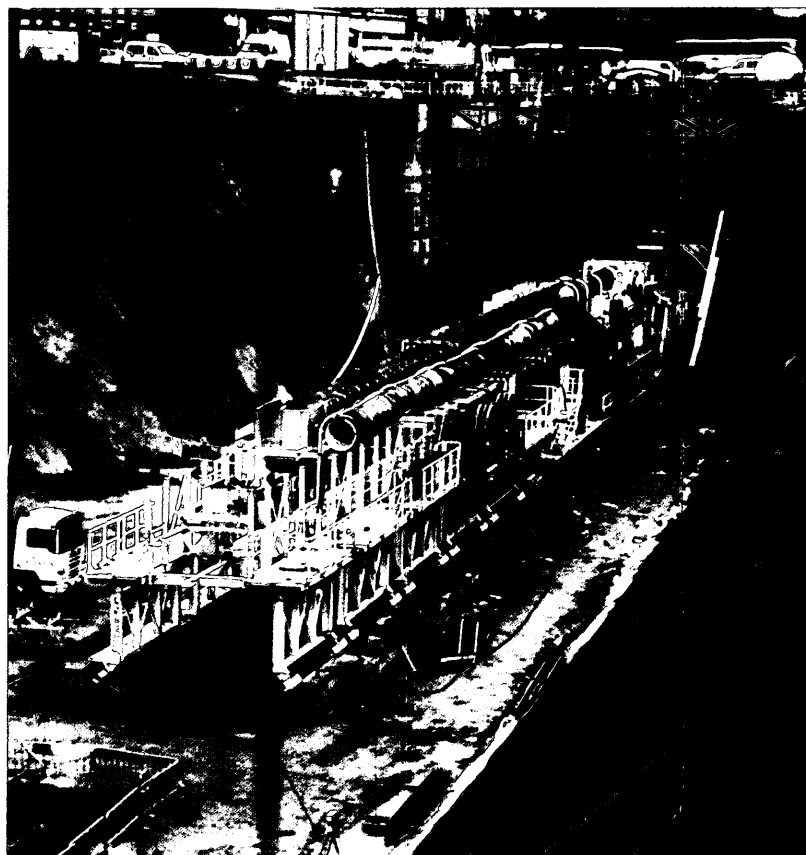
En la tuneladora cabe destacar diversos elementos que a continuación se explican someramente en el cuadro 3.

### EJECUCIÓN DEL TÚNEL. RENDIMIENTOS

La ejecución del completa de los 6.480 m de túnel y el cruce de 5 estaciones se realizó en 502 días calendario, de

CUADRO 3.

Cilindros de propulsión	13 parejas (26 cilindros) de 320 mm. de diámetro de pistón, fuerza total de empuje 10.000 T, velocidad de avance 0-80 mm./min.
Herramientas de corte	Rueda de corte provista de 196 dientes, 16 rastrillos periféricos, 21 discos dobles de 17 pulgadas y 2 copy cutter. (También perfora en roca).
Accionamiento rueda de corte	0-3 r.p.m. Par 20.236 kNm. Par inicial de arranque 24.000 kNm. con dos sentidos de rotación. Potencia instalada 2.800 kw. 17 motorreductores hidráulicos Rollstar G269. 17 piñones con doble alojamiento. Diámetro 5.000 mm.
Instalación eléctrica	alimentación en 15 Kv de tensión, potencia instalada 4.000 kw, 2 transformadores de 2.500 KVA cada uno.
Sistema de guiado	Sistema electrónico de láser ELS con objetivo activo colocado en camisa del escudo.
Sistema de extracción	Transportador sinfin helicoidal, extensible de carrera 1.500 mm., Diámetro exterior 1.000 mm., 22 hélices a distancia 630 mm., Capacidad de transporte 550 m³/h, potencia 400 kw. Cintas transportadoras de 1.200 mm de ancho con capacidad de 800 m³/h.
Sistema de inyección de mortero	6 conductos de inyección entre dovela y terreno (5'64 m3 aprox.). Potencia 45 kw.



Figuras 2 y 3. Frente de la tuneladora y área para implantación tuneladora.

Figura 4. Montaje rueda de corte.

los cuales 398 días se utilizaron en perforación y 104 días en el cruce de las estaciones. La tuneladora comenzó a trabajar el 17 de octubre de 2000, y finalizó el 2 de marzo de 2002. El avance medio diario ha sido de 12,9 m/día calendario, mientras que los avances máximos han sido de 34,5 m/día, 199,5 m/semana y 772,5 m/mes. (Cuadro 3 y Figura 5).

El tiempo efectivo que la EPB estuvo produciendo, es decir perforando o colocando anillos, representó el 58,7 % del total (36,3 % y 22,4 % respectivamente). (Cuadro 4).

La tuneladora comenzó la excavación el 17 de octubre de 2000 en el pozo de ataque de El Bercial cercano a donde se ubica la estación Getafe 8. Una playa de vías fue construida y en superficie se habilitó una zona para el alma-

CUADRO 3.

	TRAMO						TOTAL
	POZO ATAQUE-G7	G7-G8	G8-G5	G5-G4	G4-G3	G3-G2	
FECHA INICIO	17-oct-00	04-mar-01	27-abr-01	06-ago-01	22-oct-01	09-ene-02	17-oct-00
FECHA FIN	11-feb-01	09-abr-01	15-jul-01	29-sep-01	15-dic-01	02-mar-02	02-mar-02
DURACIÓN TÚNEL (días calendario)	118	37	80	55	55	53	398
DURCIÓN PASO DE ESTACIONES (días calendario)	20	17	21	22	24	0	104
ANILLOS	586	503	955	759	792	725	4320
LONGITUD (m)	879	754,5	1432,5	1138,5	1188	1087,5	6480
AVANCE MEDIO (anillos por día calendario)	4,966	13,595	11,938	13,800	14,400	13,679	8,606
AVANCE MEDIO ( metros de túnel por día calendario)	7,449	20,392	17,906	20,700	21,600	20,519	12,908
MAX 1 DÍA (m)	28,5	34,5	31,5	30,0	31,5	33,0	34,5
MAX 7 DÍAS (m)	158,0	187,5	196,5	174,0	199,5	178,5	199,5
MAX 31 DÍAS (m)	550,5	645,0	612,0	690,0	772,5	697,5	772,5

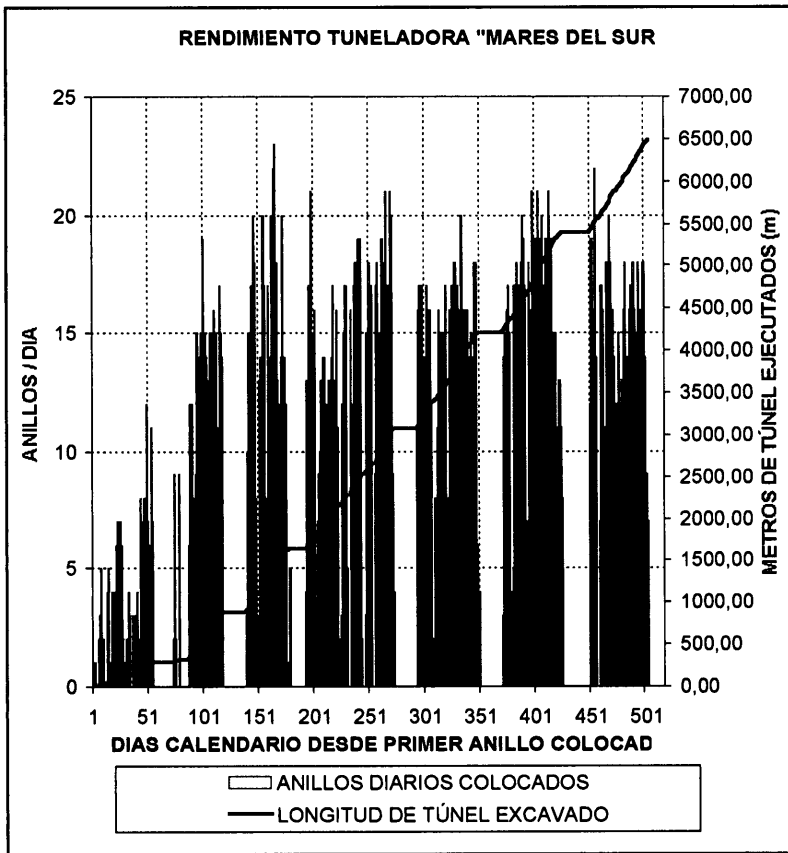


Figura 5. Rendimientos de la tuneladora.

cenamiento de los anillos de dovelas. También se ubicaron el resto de instalaciones necesarias para la ejecución del túnel (planta de mortero, sistema de ventilación del túnel, refrigeración del circuito de agua de la tuneladora y algunas más). En este pozo se habilitó un foso de descarga del es-

combro procedente del frente de excavación, desde donde se cargaba en camiones y se transportaba a vertedero. La tuneladora continuó perforando hasta alcanzar la última estación (Getafe 2) el 2 de marzo de 2002, donde fue desmontada en tan sólo 39 días calendario.

Una vez que la tuneladora finalizó el túnel, y a la vez que era desmontada se procedió a la limpieza del túnel y al desmontaje de la vía doble auxiliar que servía de soporte para los trenes de desescombro. Esta operación se realizó en 43 días calendario. Inmediatamente se procedió al extendido y compactado de una capa de grava cemento de una altura de 1,30 m aproximadamente. En 39 días calendario se fabricaron, extendieron y compactaron 155.000 toneladas de grava cemento. (Cuadro 5).

**REVESTIMIENTO**

El revestimiento del túnel está formado por anillos tipo Madrid constituidos por siete dovelas trapeziales diferentes, seis de ellas de 2/13 del desarrollo y la de cierre o clave troncocónica de 1/13 del desarrollo.

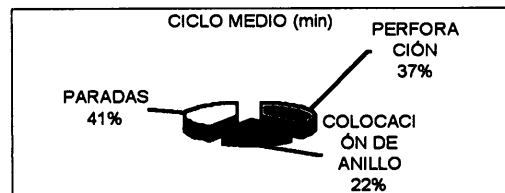
**CUADRO 5.**

	FECHA INICIO	FECHA FIN	DÍAS CALENDARIO
ULTIMO CALE EPB		02-Mar-02	
DESMONTAJE EPB	03-Mar-02	10-Abr-02	39
LIMPIEZA DE TÚNEL Y RETIRADA VÍA AUXILIAR	03-Mar-02	14-Abr-02	43
EXTENDIDO Y COMPACTADO GRAVA CEMENTO	05-Abr-02	13-May-02	39
MONTAJE Y HORMIGONADO DE VÍA DEFINITIVA	06-Jun-02	20-Sep-02	107

**CUADRO 4.**

LONGITUD TRAMO (m)	TRAMO	PRODUCCIÓN EPB				PARADAS (min/avance)				PARADAS TOTALES (min/avance)
		TIEMPO MEDIO DE PERFORACIÓN (min/avance)	TIEMPO MEDIO COLOCACIÓN ANILLO (min/avance)	CINRTA TRANSPORTADORA	LIMPIEZA MORTERO	MANTENIMIENTO DE VÍA	DESCARRILAMIENTO	AVERÍAS PLANTA DE MORTERO	OTROS	
879	POZO DE ATAQUE- G7	66,80	42,70	3,67	2,90	14,82	0,00	0,61	155,82	177,82
754,5	G7-G6	40,46	29,40	1,78	1,06	2,83	1,35	0,54	28,70	36,26
1432,5	G6-G5	41,06	29,24	0,98	1,25	10,20	5,39	0,24	30,12	48,18
1138,5	G6-G4	52,04	26,20	0,88	0,38	4,24	1,65	0,00	24,80	31,95
1188	G4-G3	46,96	26,52	1,22	0,56	4,02	3,24	0,00	17,99	27,03
1087,5	G3-G2	45,23	27,30	2,70	0,30	4,76	2,80	0,17	20,20	30,92
6480	TOTAL	48,19	29,73	1,75	1,01	6,88	2,70	0,23	42,18	54,75

CICLO MEDIO (min)		
PRODUCCIÓN EPB	77,00	58,78%
PERFORACIÓN	48,00	36,64%
COLOCACIÓN DE ANILLO	29,00	22,14%
PARADAS	54,00	41,22%
TOTAL CICLO	131,00	100,00%



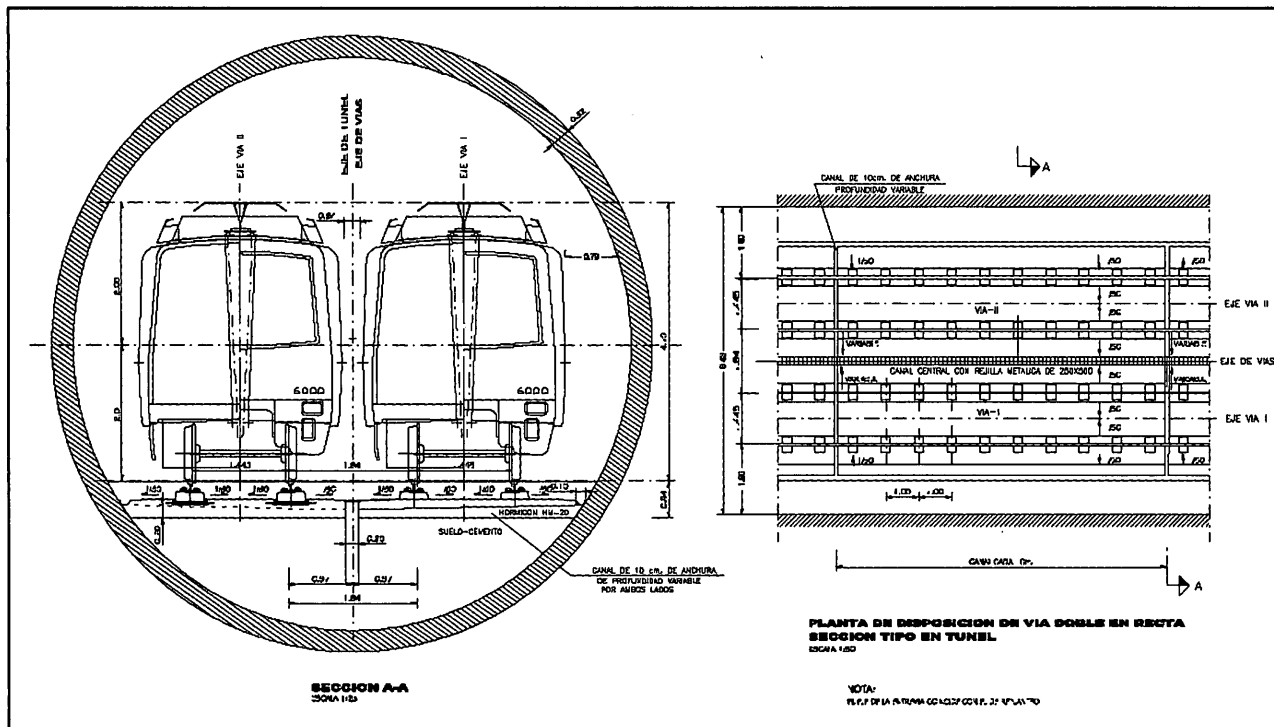


Figura 6. Sección transversal del túnel.

La tipología de la dovela adoptada ha sido la prefabricada de hormigón armado de 0,32 m de espesor con longitud media de 1,5 m. (varía entre 1,459 m. y 1,542 m.)

La unión entre anillos se realiza a través de 13 bulones de acero cincado equidistantes, es decir, separadas  $27,692^\circ$  entre sí, con dos bulones por dovela con excepción de la dovela llave que lleva uno solo.

**SUPERESTRUCTURA**

La superestructura de vía proyectada se corresponde con los criterios establecidos por Metro de Madrid para trenes formados por coches tipo 6.000.

Se trata de vía en placa con carril de 54 kg/m naturalmente duro, apoyado sobre tacos de hormigón armado recubiertos, en sus caras interior y laterales, con un elastómero del tipo Corkelast. Estos tacos tendrán que soportar una carga de 12,5 tm por eje, y su sujeción con el carril será del tipo SKL-1.

La longitud de vía sencilla colocada ha sido de 14.665 m, montada y hormigonada en 107 días calendario ( desde el 6 de junio hasta el 20 de septiembre de 2002) llegando a utilizarse hasta tres equipos simultáneos. Se utilizaron 29.330 m de carril UIC-54 en barras de 18 m de longitud, 30.500 bloques tipo SKL-1, 4 aparatos de vía, 1.684 soldaduras aluminotérmicas de carril y 15.130m<sup>3</sup> de hormigón.

**ESTACIONES**

El Contrato 5 de Metrosur incluye seis estaciones : Conservatorio (Getafe 2), Alonso de Mendoza (Getafe 3), Getafe

Figura 7. Túnel acabado.





Figuras 8 y 9.  
Estaciones de  
El Casar y  
Getafe Central.

Central (Getafe 4), Juan de la Cierva (Getafe 5), El Casar (Getafe 6) y Los Espartales (Getafe 7).

## ARQUITECTURA

La distribución de todas las estaciones del tramo es similar contando todas ellas con una planta de vestíbulo y otra inferior de andenes. Todas cuentan con uno o dos accesos desde la calle al vestíbulo dotados cada uno con una escalera fija, una pareja de escaleras mecánicas y un ascensor. La longitud media de las estaciones es de 130 m. con una longitud de andenes de 115 m. Todas ellas están dotadas de 1 salida de emergencia y de pozos de ventilación.

Existen dos estaciones a lo largo de todo el trazado que presentan singularidades por proyectarse para tener acceso desde ellas tanto a la red de metro como a la red de cercanías, La estación El Casar (RENFE C-3) y la estación Getafe 4 (RENFE C-4). Además dichas estaciones están dotadas de subestaciones eléctricas.

La estación El Casar se trata de un intercambiador de vestíbulo compartido para acceder a RENFE, lo que obliga a alinear la estación lo más cerca posible del trazado de la línea de cercanías y con una orientación paralela a la misma. En un nivel intermedio entre la estación de cercanías y el andén de metro se sitúa un vestíbulo que funciona de intercambiador entre ambas líneas a la vez que da acceso desde el exterior.

La estación de Getafe-4, forma parte del conjunto del intercambiador de Getafe-Cercanías. El eje de vías de Metro sur se sitúa transversalmente al eje de vías de Cercanías, y a cota

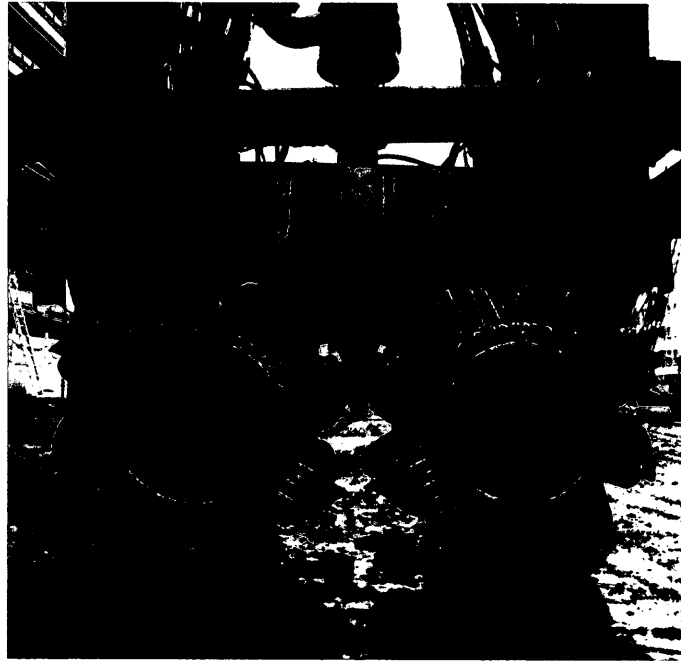
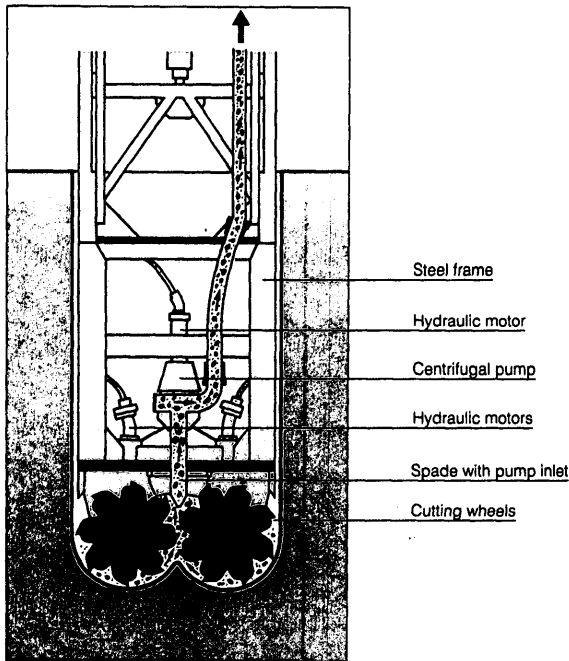
inferior. La estación se proyecta con un vestíbulo situado sobre vías, en un nivel intermedio con respecto a los andenes de la estación de Cercanías. El acceso al vestíbulo se realiza directamente desde los andenes de Cercanías, mediante dos núcleos enfrentados de escaleras. Desde el nivel de vestíbulo, el acceso a los andenes se realiza también de forma directa, mediante dos núcleos de comunicación vertical.

## ESTRUCTURA

La ejecución de las estaciones comienza antes del paso de la tuneladora. Con esto se consiguen varias ventajas: ejecutar los forjados contra el terreno con el consiguiente ahorro de los cimbrados, ejecución de la losa de cubierta en breve espacio de tiempo para así restituir el servicio de las calles ocupadas y, principalmente, evitar que la tuneladora pase excavando y colocando revestimiento que debería ser demolido durante la excavación de la estación.

El procedimiento de ejecución de las excavaciones es el denominado "CUT AND COVER" y consta de las siguientes fases:

1. Ejecución de las pantallas
2. Ejecución de la losa de cubierta
3. Excavación hasta nivel de vestíbulo
4. Ejecución de vestíbulo
5. Excavación hasta nivel de contrabóveda
6. Ejecución de la contrabóveda
7. Andenes y acabados



Figuras 10 y 11. Cuchara Hidrofresa. Esquema de trabajo y Ruedas cortadoras.

## RECINTOS APANTALLADOS

Los recintos se ejecutan con diversos procedimientos según el tipo de terreno que se encuentre en cada caso.

- HIDROFRESA (ESPARTALES Y G5)

Este método de excavación es empleado cuando en el subsuelo aparecen terrenos duros como yesos, que es el caso de las estaciones Espartales y Getafe 5.

El sistema de excavación consiste en ir reduciendo constantemente el tamaño del material a excavar e irlo mezclando con la suspensión de bentonita. Posteriormente la mezcla es bombeada por medio de un sistema de tuberías a la planta desarenadora y ésta volverá a ser utilizada posteriormente hasta que los sucesivos usos la inutilicen.

La bentonita mantiene las tierras y evita los derrumbamientos además no se mezcla con el agua por lo que no permite su entrada por medio de posibles filtraciones que aparezcan en las paredes excavadas.

Una compleja bomba centrífuga localizada inmediatamente encima de las ruedas cortadoras remueve todo lo excavado y envía la mezcla de suelo y bentonita a la denominada planta desarenadora para su limpieza y ésta volverá a ser utilizada posteriormente hasta que los sucesivos usos la inutilicen.

- CUCHARA CONVENCIONAL (G2)

Este método de excavación se emplea cuando en el subsuelo aparecen terrenos de mediana resistencia como es el

caso del tosco. El sistema consiste en el guiado de la cuchara por medio de cables que sirven para su izado, descenso y apertura de la misma.

En las capas duras de terreno se emplea el trépano. Dicho elemento está equipado con unos dientes en su parte inferior y se acopla a la cuchara en sus laterales para ser izado y soltado y de este modo romper la capa dura para posteriormente extraer el terreno con la cuchara.

- PILOTADORAS CON ENTUBACIÓN (EL CASAR)

Este método de excavación se emplea cuando en el subsuelo aparecen terrenos duros como yesos pero en las capas superiores el terreno es blando y poco cohesivo con tendencia al desmoronamiento. Su ventaja principal radica en su elevado rendimiento.

Para evitar el desmoronamiento del terreno en los primeros metros (5 m.) se entuba con camisa metálica recuperable y una vez pasada la zona de rellenos antrópicos no es necesario ningún tipo de revestimiento.

- PANTALLA CONVENCIONAL CON PREFOROS (G3 y G4)

Este método de excavación combinada se emplea cuando en el subsuelo aparecen terrenos duros como yesos.

Primero se realizan dos o tres preforos con pilotadora para romper columnas de terreno duro en cada módulo de pantalla para posteriormente facilitar la excavación de la cuchara convencional.



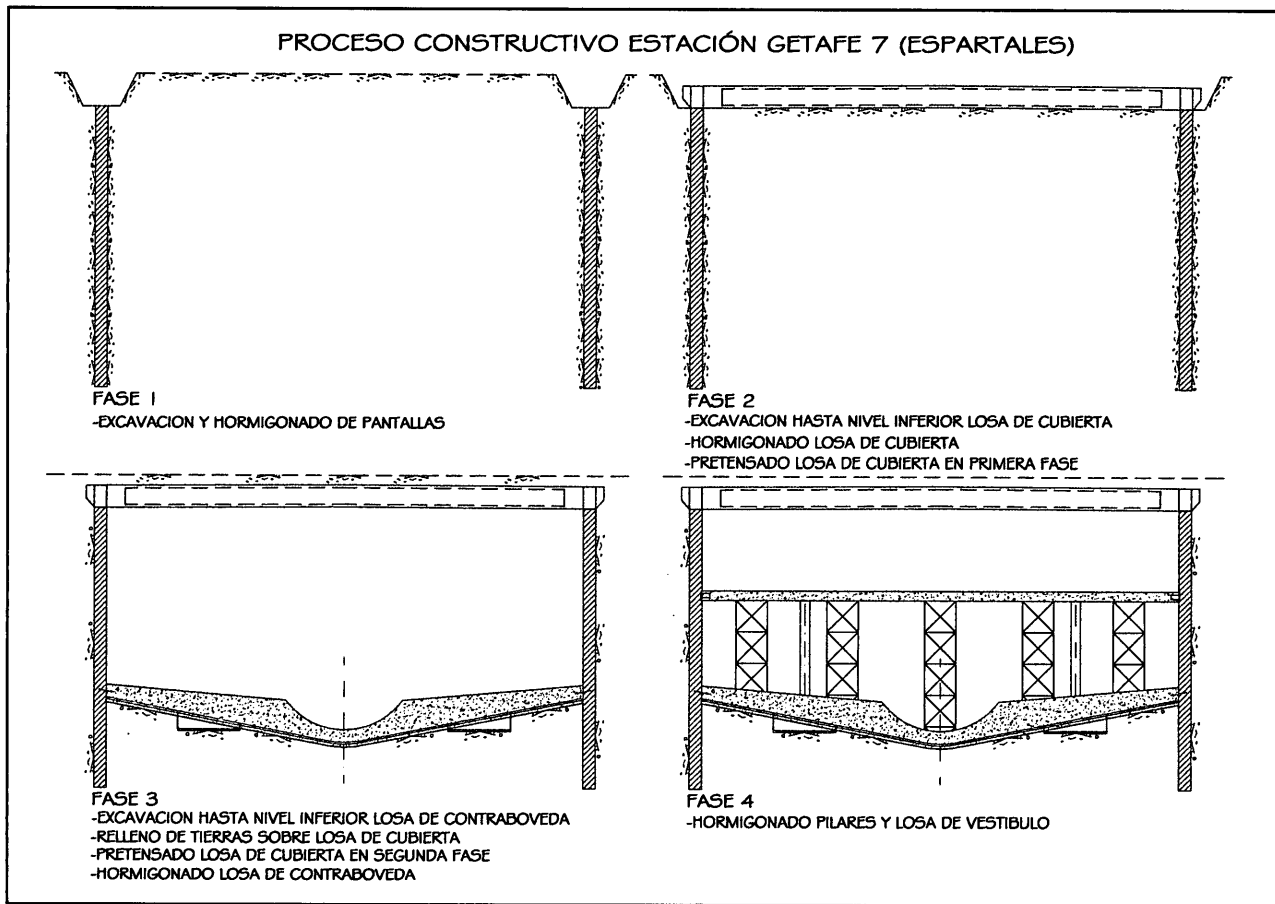


Figura 12.

En el caso particular de esta estación se emplean lodos tixotrópicos por existir en el subsuelo una capa de arenas saturadas de agua consiguiendo así la contención del terreno.

pacio más diáfano en el interior de las estaciones. En algunos casos éste espacio no se encuentra totalmente libre por construirse tirantes metálicos que sujetan el vestíbulo colgando de la losa superior (son los casos en que no se constru-

### EJECUCIÓN DE LOSA DE CUBIERTA

Una vez construido el recinto de pantallas se ejecuta la losa de cubierta contra el terreno empleando encofrado plano formado por entablillado de madera machihembrado.

- LOSAS ARMADAS (Zona estrecha)

La ejecución de las losas de cubierta de las zonas estrechas de las estaciones se ejecutan armadas y aligeradas consiguiendo así reducir su peso propio y el canto de la misma.

- LOSAS POSTESADAS (Zona ancha)

Este método se emplea en las zonas anchas de las estaciones para poder eliminar las pilas-pilotes que soportarían el forjado debido a sus grandes luces. Así se consigue un es-

Figura 13.  
Estación de  
Espartales.



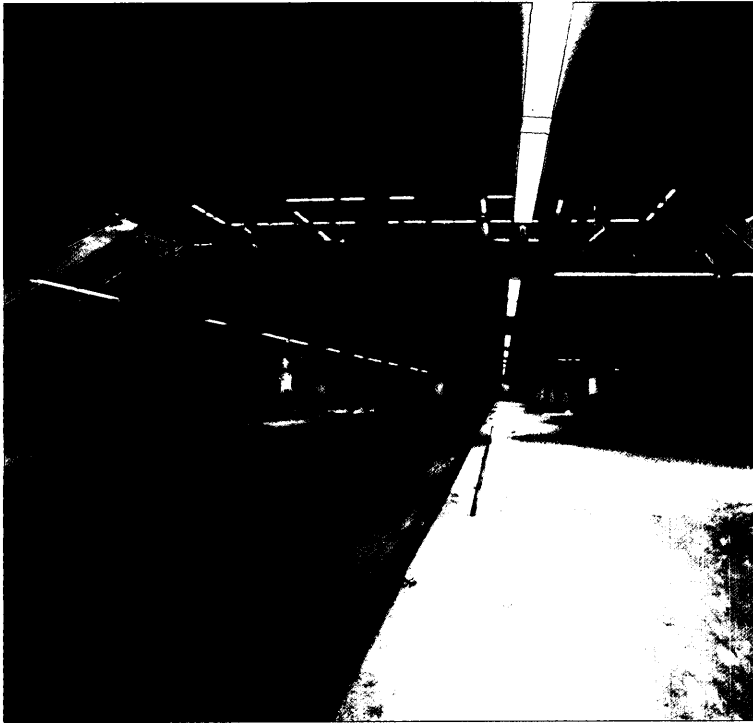


Figura 14.  
Estación de  
El Casar.

yen pilares cimentados en al contrabóveda para apoyar el vestíbulo).

### EJECUCIÓN VESTÍBULOS Y CONTRABÓVEDA

En aquellas estaciones en que se prevé el paso inmediato de la tuneladora o en el caso en que ésta no pueda pasar por el espacio entre contrabóveda y vestíbulo el vaciado se realiza hasta cota de contrabóveda para construcción inmediata de ésta y se espera el paso de la tuneladora. Posteriormente se construye la losa del vestíbulo apoyada en pilares cimentados en la contrabóveda.

Es el caso de la estación de Espartaes (Getafe 7).

En aquellas estaciones en que el paso de la tuneladora no sea inmediato y siempre que ésta pueda pasar por el espacio entre contrabóveda y vestíbulo se vaciará hasta cota de vestíbulo y se procederá a la construcción de éste contra el terreno. El vestíbulo se sujeta mediante tirantes metálicos que cuelgan de la losa superior. Posteriormente se realiza el vaciado hasta cota de contrabóveda para construcción de ésta y se espera el paso de la tuneladora.

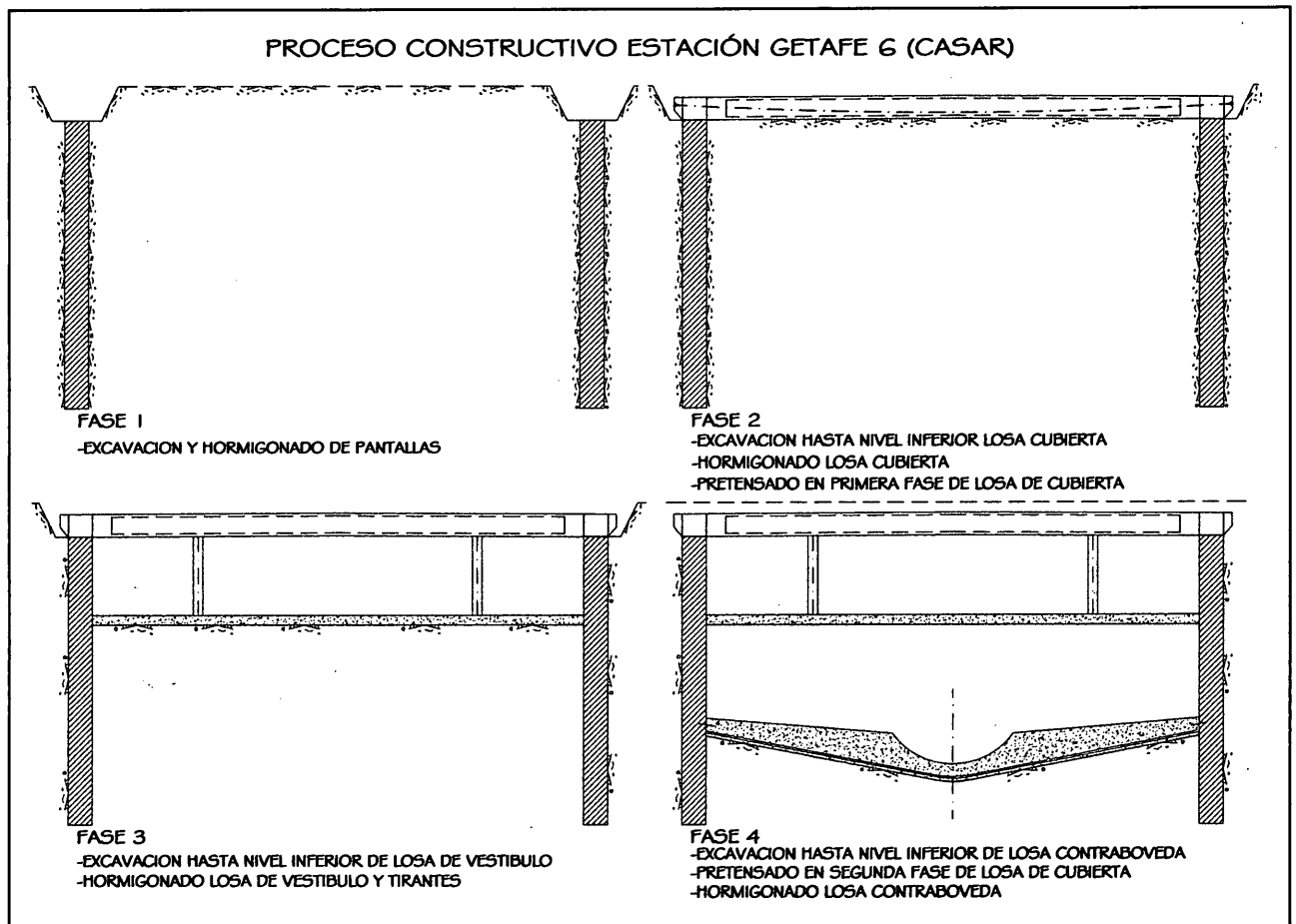


Figura 15.

CUADRO 6.

	GETAFE 2		GETAFE 3		GETAFE 4	GETAFE 5		GETAFE 6		GETAFE 7		
<b>MUROS PANTALLA</b>												
TIPO	PANTALLADORA CONVENCIONAL		PANTALLADORA CONVENCIONAL CON PREFOROS		X	HIDROFRESA		PILOTES ENTUBADOS		HIDROFRESA		
FECHA INICIO	21/08/00		08/08/00			26/09/00		15/09/00		21/07/00		
FECHA FIN	29/11/00		17/11/00			07/12/00		05/11/00		14/09/00		
DIAS CALENDARIO	100		101			72		51		55		
VOLUMEN	6280,00 m2.		9927,30 m2.			7785,50 m2.		5178,06 ml.		6150,10 m2.		
<b>LOSA DE CUBIERTA</b>												
TIPO	POSTESADA	ARMADA	POSTESADA	ARMADA	X	POSTESADA	ARMADA	ARMADA	POSTESADA	ARMADA	POSTESADA	ARMADA
FECHA HORMIGONADO	20/01/01	23/11/00	27/01/01	21/12/00		03/02/01	22/02/00	18/12/00	07/10/00	27/10/00	01/10/00	10/10/00
VOLUMEN	1266,40 m2.	2176,50m2	1228,00 m2.	2237,50m2		1296,00 m2.	2137,80 m2	1348,68 m2.	1839,52 m2.	1410,70 m2.	1671,00 m2.	1282,10 m2.
<b>LOSA DE VESTIBULO</b>												
TIPO	ARMADA		ARMADA		ARMADA	ARMADA	X	ARMADA		ARMADA		
FECHA HORMIGONADO	18/05/01		18/05/01		09/04/01	03/05/01		25/01/01	11/05/01			
VOLUMEN	1159,00 m2.		1157,50 m2.		1019,10 m2.	1190,80 m2.		1163,64 m2.	1271,50 m2.			
<b>CONTRABOVEDA</b>												
TIPO	ARMADA		ARMADA		ARMADA	ARMADA	X	ARMADA		ARMADA		
FECHA INICIO	17/07/01		23/06/01		13/08/01	20/06/01		12/03/01	18/12/00			
FECHA FIN	10/08/01		08/08/01		21/09/01	14/07/01		05/04/01	07/02/01			
VOLUMEN	3442,90 m2.		3465,50 m2.		2801,46 m2.	3213,70 m2.		2710,00 m2.	2703,10 m2.			
<b>ANDENES</b>												
FECHA INICIO	20/11/01		28/11/01		13/05/02	27/12/01	X	13/09/01		12/07/01		
FECHA FIN	26/07/02		02/04/02		06/07/02	28/02/02		04/12/01	15/10/01			
DIAS CALENDARIO DESDE INICIO PANTALLAS HASTA FINAL CONTRABOVEDA	354		365		165	291	202		201			

Es el caso de las estaciones de El Casar (Getafe 6), Getafe 5, Getafe 3 y Getafe 2.

Las fases de construcción de la obra civil de las estaciones se encuentra en el cuadro. La ejecución del recinto apantallado se realizó en una media de 70 días calendario por estación, y como media fueron necesarios 8 meses desde el comienzo de los muros pantalla hasta la finalización de la contrabóveda.

**AUSCULTACIÓN**

**OBJETO**

Para el control de movimientos es necesario un sistema de auscultación que permita tener un conocimiento suficiente del modo en que el terreno, estructuras e instalaciones responden a las operaciones que se están realizando con el fin de calibrar la seguridad de la excavación durante la ejecución de las obras. Para instalar todos estos sensores se reali-



Figura 16. Estación de Conservatorio.

**CUADRO 7.**

87 Bases de nivelación .....	Referencia (fuera de la zona de influencia)
1.143 Regletas.....	Asientos verticales en edificios
693 Hitos de nivelación .....	Asientos verticales en superficie de terreno
25 Inclínómetros (1.064 m de tubería inclinométrica).....	Desplazamientos horizontales en profundidad
101 Extensómetros de varillas (1.799 m de varilla).....	Desplazamientos verticales en profundidad
25 Piezómetros (980 m de tubería piezométrica) .....	Situación del nivel freático
188 Extensómetro de cuerda vibrante .....	Tensión real de trabajo de elementos estructurales
68 Célula de presión total de cuerda vibrante.....	Presión total sobre elementos estructurales

**CUADRO 8.**

TRAMO	ASIENTO SUPERFICIAL (mm)		MAXIMO ASIENTO EN SUPERFICIE (mm)		MAXIMA DEFLEXION DEL TERRENO PROXIMO AL TÚNEL (mm)	MAXIMA DEFLEXION DE LOS MUROS PANTALLA (mm)
	MAXIMO	MINIMO	ASIENTO	PROFUNDIDAD (m)	(mm.)	(mm.)
VII	-7	+ 6	-8	14	10	21
VIII	-56	-0,4	-4	22	10	13
IX	-152	-1	-68	8	6	8

zaron 140 sondeos a destroza con una longitud total de perforación de 4.061 m.

**INSTRUMENTACION**

La instrumentación realmente colocada y la finalidad de cada sensor se muestran en el cuadro 7.

Todos los instrumentos se instalaron antes del comienzo de las excavaciones para poder leer los movimientos que se producen cuando el frente de excavación se va aproximando al punto de ubicación del aparato.

**RESULTADOS OBTENIDOS**

Para poder llevar a cabo un correcto seguimiento y control de los movimientos de terreno, todos los sensores fueron distribuidos en 36 secciones de subsidencia, 7 secciones de túnel y en 12 secciones de estación. Una sección de control continuo de túnel fue monitorizada cada 30 minutos, para fines académicos.

Los resultados más relevantes obtenidos de la auscultación se pueden resumir en el cuadro 8. ■

**FICHA TÉCNICA**

PROMOTOR	MINTRA (Madrid, Infraestructuras del Transporte) Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes Comunidad Autónoma de Madrid	CONSTRUCTORA :	FERROVIAL-AGROMAN Juan Manuel Sánchez Alonso <i>Ingeniero de Caminos, C. y P.</i> Juan A. Marín Ródenas <i>Ingeniero de Caminos, C. y P.</i>
AUTOR DEL PROYECTO	MINTRA, PROINTEC, GINPROSA.	ASISTENCIA TÉCNICA:	GEOCONSULT. EUROCONTROL. INTEMAC.
DIRECCIÓN DE OBRA :	Antonio González Jiménez <i>Ingeniero de Caminos, C. y P.</i>	CONTROL DE CALIDAD :	IBERINSA. EUROCONSULT. ITC-SYNCONSULT
ASESOR GEOTÉCNICO :	Jose María Rodríguez Ortiz <i>Ingeniero de Caminos, C. y P.</i>	PRESUPUESTO	224.080.331 Euros
		PRESUPUESTO DE INSTALACIONES	25.100.031 Euros
		PLAZO DE EJECUCIÓN	30 meses