

Tramos V y VI

[Fuenlabrada 2- Getafe 2]

Juan Carlos Díez Martín
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Director de Obra

Jesús M. Trabada Guijarro
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Jefe de Servicio de la Comunidad de Madrid

RESUMEN

El Contrato nº 4 de Metrosur, de 6,5 km. de longitud, discurre por los términos municipales de Fuenlabrada y Getafe. Incluye cuatro estaciones y una futura. Los 3,3 km. iniciales se ejecutan con tuneladoras, a continuación se construyen 1,9 km. a cielo abierto y los restantes por el método tradicional de Madrid.

ABSTRACT

The Contract 4 section of the Metrosur underground line runs 6.5 km through the Fuenlabrada and Getafe municipalities of Madrid and includes four stations and the provision for one future station. The first 3.3 km will be built by TBM, the following 1.9 km by the cut and cover method and the final section by the traditional Madrid method of excavation (hand-mined).

1. ANTECEDENTES

Metrosur es una nueva línea circular ferroviaria subterránea, que discurre por las zonas centrales urbanas de las poblaciones de Móstoles, Fuenlabrada, Getafe, Leganés y Alcorcón, interconectando las áreas de mayor densidad residencial y los principales equipamientos de rango metropolitano, universidades, hospitales, centros comerciales, instalaciones deportivas. Tiene 40 Km. de longitud y 27 estaciones, sirve a una población de un millón de habitantes y conecta en cinco puntos, uno en cada municipio, con tres líneas de cercanías de Renfe, y en Alcorcón con la línea 10 del metro, y a su través con toda la Red.

Dada su magnitud, se ha fragmentado en doce tramos para su estudio, y en seis para su licitación; el contrato 4 com-

prende los tramos V y VI y se adjudicó en Abril de 2.000 a NECSO ENTRECANALES Y CUBIERTAS.

El material móvil que se va a emplear en Metrosur es del tipo 6.000, el más moderno y de mayor capacidad, lo que condiciona las características geométricas mínimas de su trazado, y permite además evacuar más rápidamente los coches en caso de accidente

2. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

Tiene 6,5 km. de longitud, de los cuales 5,2 en Fuenlabrada y 1,3 en Getafe. Incluye cuatro estaciones completas, una de ellas con conexión con Cercanías de Renfe, y otra esbozada, además de doce pozos, de los cuales cuatro son de ventila-



ción, dos de bombeo, uno de ventilación y bombeo y cinco salidas de emergencia.

El trazado comienza en el piñón de salida de la estación F2, que da servicio a la Universidad Rey Juan Carlos. Cruza la M-506, y discurre por la calle Francia, donde está situada la estación F3. A continuación describe una curva y contracurva dirigiéndose a la estación de Renfe de Fuenlabrada, donde se ejecuta la estación F4, y el correspondiente Intercambiador. Atravesando el barrio antiguo de Fuenlabrada, al norte del primitivo Ayuntamiento, llega a la calle Miguel de Unamuno. En la confluencia con la Avda. de Venezuela se localiza la estación F5; la traza sigue por esa avenida, cruza la Avda. de la Hispanidad y sigue, campo a través, hacia Getafe. Antes atraviesa el arroyo Culebro, que se encauza, y el emplazamiento de la futura estación F6.

Ya en el término municipal de Getafe se cruza la M-50, y a continuación se ubica la estación G1. La traza continúa por el Sector 3 y termina en la Avenida de Arcas del Agua, junto al piñón de entrada de la estación G2.

El túnel discurre bajo zonas edificadas, con edificios de cuatro alturas, como máximo, y a profundidades considerables, entre 20 y 25 metros.

2.1. Geología y Geotecnia

La zona deprimida que ocupa la mayor parte de la provincia se denomina Cuenca de Madrid, y se enmarca dentro de la depresión del Tajo. Se halla rellena de importantes espesores de sedimentos de edad terciaria cuya naturaleza varía en función de su posición en la cuenca, pudiendo distinguirse tres tipos de facies:

- ▼ Facies Madrid compuesta por arenas arcóscicas de distintas granulometrías y arcillas pardas y marrones (arenas de miga y suelos tosquizos).
- ▼ Facies intermedia compuestas por arcillas marrones y verdes de alta plasticidad (peñuelas) con intercalaciones de niveles de arenas micáceas.

- ▼ Facies central, de tipo químico, constituida por yesos y margas yesíferas.

El trazado de este tramo se desarrolla en su totalidad sobre suelos tosquizos y arenosos pertenecientes a la facies Madrid. Una de las principales características de estos materiales es su estructura de posicionamiento, en la que no se puede hablar de diferentes estratos, sino de un conjunto de cuerpos lenticulares de distinta continuidad lateral que se acuñan entre sí, alternando cuerpos arenosos y arcillosos, lo que dificulta la correlación espacial entre varios puntos.

En este tramo predomina los suelos arcillosos sobre los materiales arenosos, aunque en ciertas zonas, estos últimos aparecen en proporciones considerables. Hay que destacar como aspectos particulares de este tramo: en primer lugar, la aparición de materiales tosquizos de alta plasticidad con propiedades semejantes a las arcillas verdes de tipo peñuela (aparición de lisos, alta plasticidad e indicios de sepiolita) sobre todo al final del tramo y, como segundo rasgo particular, presencia de espesores importantes de suelos arenosos de baja compactación correspondientes a los depósitos de "rampas areno-feldespáticas" en cotas elevadas.

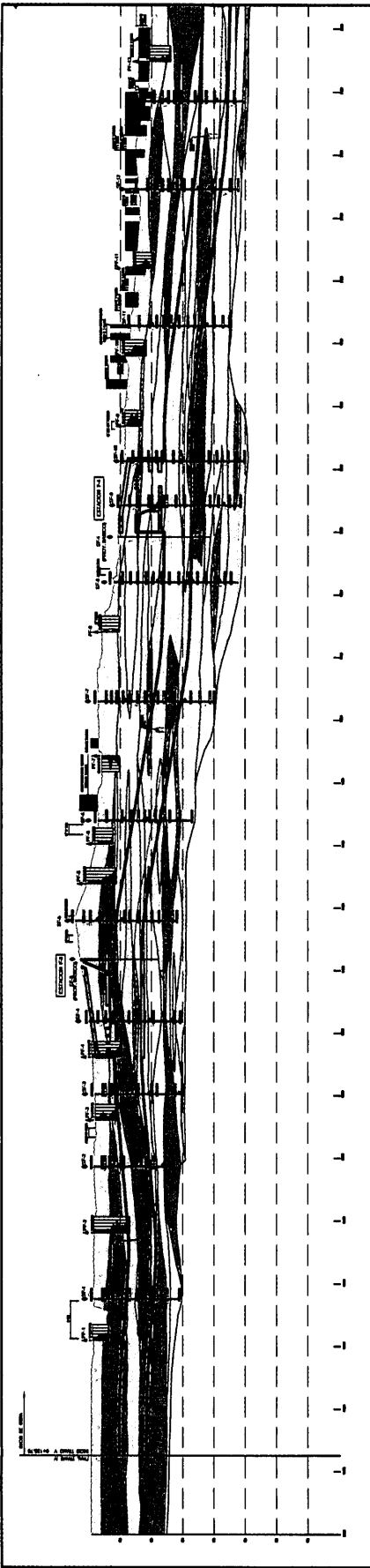
Sobre los materiales terciarios aparecen depósitos cuaternarios de tipo aluvial en zonas de vaguada, y rellenos antrópicos, en general de poco espesor, en las zonas urbanas y en sus proximidades.

Los terrenos afectados por el trazado objeto de este Proyecto son de edad mio-pliocuaternaria predominantemente, a excepción de los suelos cuaternarios (rellenos antrópicos, rellenos compactados y depósitos aluviales) que se han reconocido, de forma local, en algunas zonas del trazado.

Las unidades litológicas distinguidas son las siguientes:

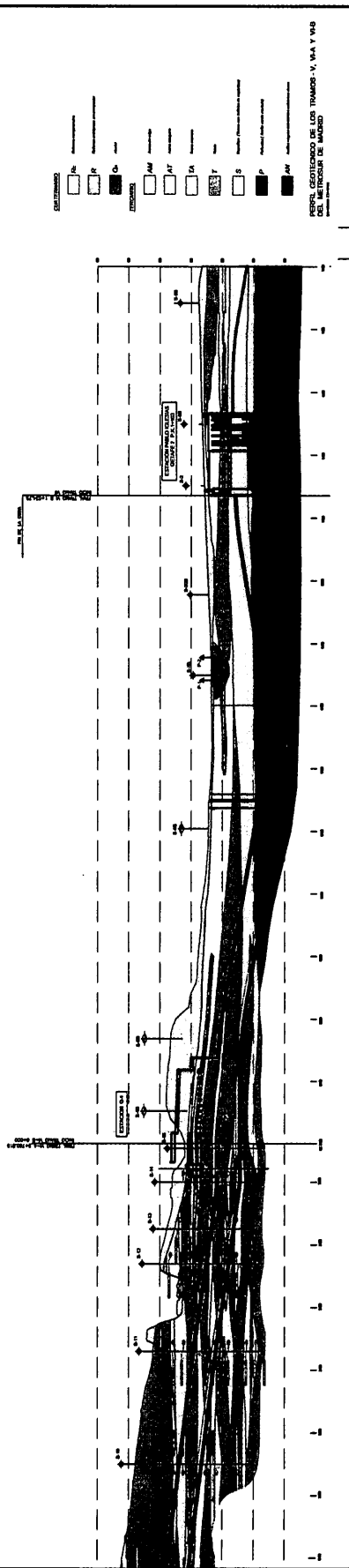
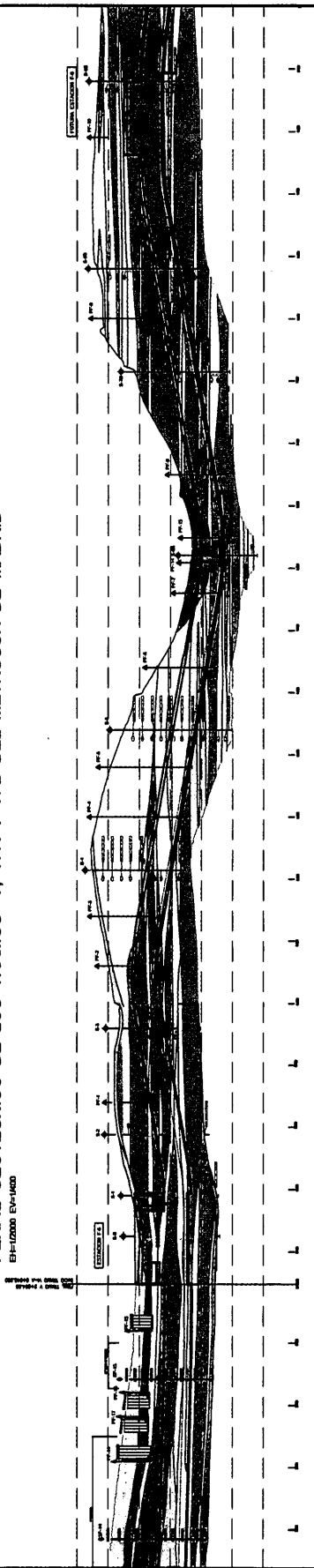
Cuaternario

- ▼ Rellenos compactados
- ▼ Rellenos antrópicos sin compactar
- ▼ Aluvial



PERFIL GEOTECNICO DE LOS TRAMOS - V, VI-A Y VI-B DEL METROSUR DE MADRID

ET-10200 ET-1400



LITOLOGIA	
	R1
	R2
	G1
	AM
	AF
	SA
	S
	S1
	S2
	S3
	S4
	S5
	S6
	S7
	S8
	S9
	S10
	S11
	S12
	S13
	S14
	S15
	S16
	S17
	S18
	S19
	S20
	S21
	S22
	S23
	S24
	S25
	S26
	S27
	S28
	S29
	S30
	S31
	S32
	S33
	S34
	S35
	S36
	S37
	S38
	S39
	S40
	S41
	S42
	S43
	S44
	S45
	S46
	S47
	S48
	S49
	S50
	S51
	S52
	S53
	S54
	S55
	S56
	S57
	S58
	S59
	S60
	S61
	S62
	S63
	S64
	S65
	S66
	S67
	S68
	S69
	S70
	S71
	S72
	S73
	S74
	S75
	S76
	S77
	S78
	S79
	S80
	S81
	S82
	S83
	S84
	S85
	S86
	S87
	S88
	S89
	S90
	S91
	S92
	S93
	S94
	S95
	S96
	S97
	S98
	S99
	S100

PERFIL GEOTECNICO DE LOS TRAMOS - V, VI-A Y VI-B DEL METROSUR DE MADRID

Perfil Geológico.

Mio-pliocuaternario

- ▼ Arenas de miga
- ▼ Arenas tosquizas
- ▼ Tosco arenoso
- ▼ Tosco
- ▼ Sepiolotas
- ▼ Yesos

Estas unidades litológicas están representadas en el perfil geológico-geotécnico de la figura.

2.2. Parámetros de trazado

Para aprovechar las características del material móvil de la serie 6000 es necesario que el trazado cumpla condiciones más estrictas que en el resto de la red; estas son:

- ▼ Radio de las curvas en planta ≥ 300
- ▼ Rampa máxima de la rasante ≤ 35 milésimas
- ▼ Acuerdo vertical mínimo Kv = 2.000
- ▼ Alineación en estaciones = Horizontal, recta L ≥ 115 m.
- ▼ Peralte máximo = 150 mm.
- ▼ Aceleración transversal sin compensar = 0 m/s²
- ▼ Aceleración transversal sin compensar, en casos excepcionales < 0,65 m/s²
- ▼ Variación de la aceleración transversal en la transición < 0,17 m/s³
- ▼ Variación de la aceleración transversal en la transición, en casos excepcionales < 0,20 m/s³
- ▼ Disposición de diagonales de talón de tangentes 0,14 en las estaciones y lado de las mismas que ha indicado Metro de Madrid
- ▼ Gálivos correspondientes al material móvil tipo 6.000
- ▼ Rampa de peralte <15 mm/m. excepcionalmente 2,0 mm/m.

2.3 Tramificación

En la obra pueden distinguirse tres tramos claramente diferenciados, en el sentido creciente de los PK.

Los 3.300 m. iniciales, entre el nuevo hospital y la avenida de circunvalación, discurren a más de 20 metros de profundidad y bajo el núcleo urbano de Fuenlabrada. Se ejecutarán con tuneladora, el método más seguro, con contención completa del terreno, incluso el frente, y menores asientos. En este tramo se sitúan tres estaciones, la F3, F4 y F5, así como cuatro pozos.

La máquina se introducirá fuera del casco urbano, junto a la avenida de circunvalación con acceso por rampa y bien comunicada. Trabajando de oeste a este, y se extraerá junto a la F2, en la zona del Hospital.

A continuación, y hasta la M-50, se atraviesan 1.850 m. de terrenos rústicos; el túnel se ejecuta a cielo abierto. Este tramo cruza el arroyo Culebro, que previamente hay que desviar, e incluye la futura estación F6, de la que sólo se ejecuta la caverna, postergando su terminación hasta que se urbanice la zona.

Por último, desde la M-50 hasta el final de la obra, 1.325 m. de túnel que se ejecuta por el método tradicional de Madrid. En este tramo se construye la estación G1 y dos pozos.

2.4. Estaciones

Los criterios formales de diseño aplicables a las estaciones del tramo, se apoyan en la idea fundamental de la ordenación espacial. Se trata de crear un orden para que el usuario tenga una referencia física que le permita ubicarse dentro del mundo "oscuro y subterráneo" donde la orientación parece quedar atrofiada. La elección de los acabados y la iluminación se funden en este intento.

Para las bocas de acceso se diseña un pabellón de cristal con perfilera de acero inoxidable que alojará la escalera fija y las escaleras mecánicas. Este pabellón y el correspondiente al ascensor para personas de movilidad reducida, serán objeto de un estudio especial en la búsqueda de la imagen corporativa de MetroSur, como hitos referencias en superficie.

En cualquiera de los casos, se persigue la transparencia como idea fundamental intentar evitar la situación traumática de llegar a la calle sin visión. Por ser piezas especialmente comprometidas con el entorno urbano se ha buscado una disposición poco agresiva.

En la F4 se prevé el intercambio con la estación de cercanías de Renfe. Para facilitararlo, se proyecta un vestíbulo bajo el haz de vías, accesible desde los andenes.

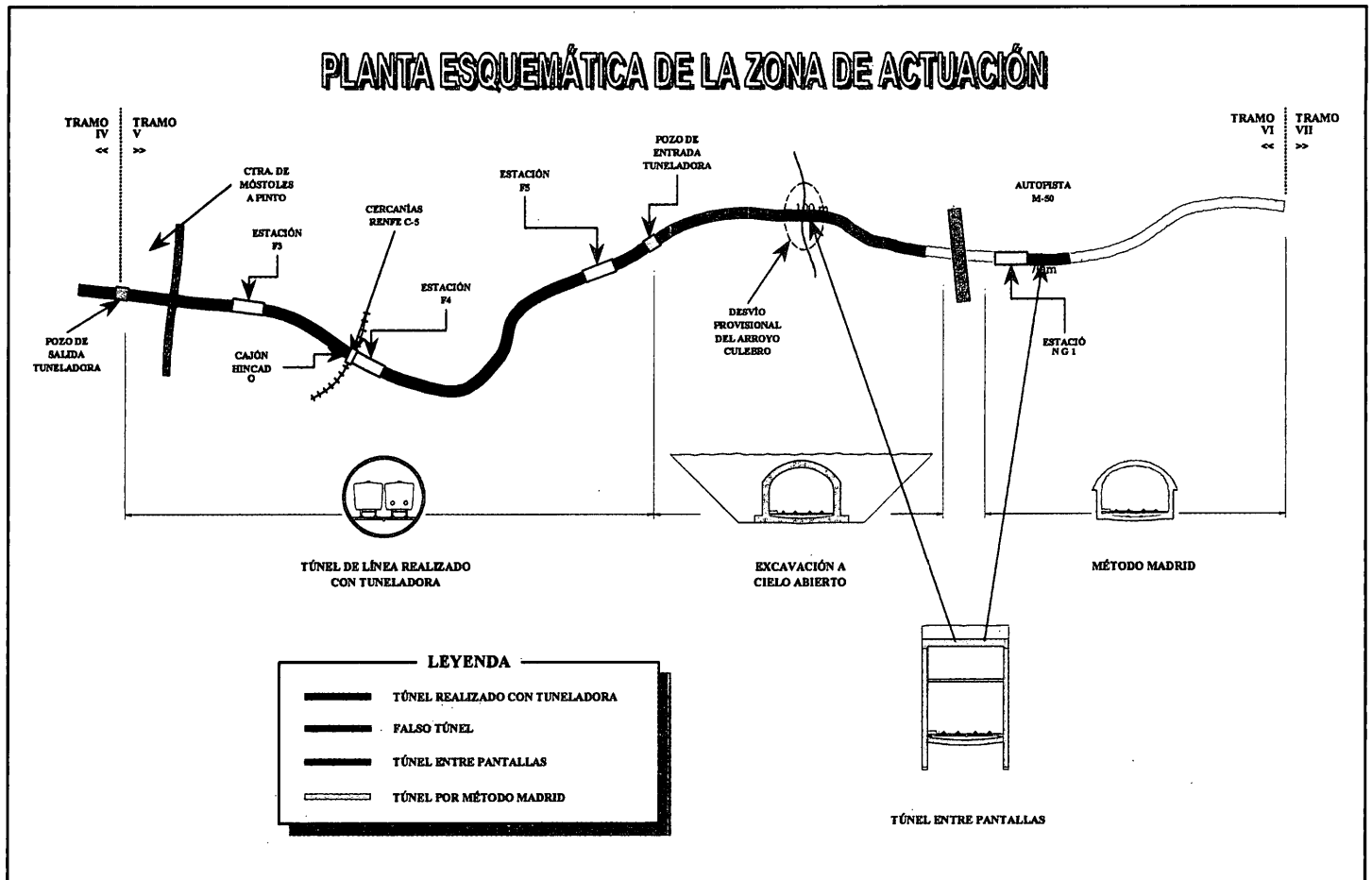
2.5. Tratamientos y Auscultación

Los tratamientos procuran evitar asientos excesivos en lugares delicados, generalmente edificios. En este tramo se proyectan cinco pantallas de micropilotes, tres barreras de Jet-grouting y tres compensaciones de asientos, además de vallados diversos, rigidización de conducciones, auscultaciones especiales y conservación de taludes.

Excepto estos últimos, en el tramo a cielo abierto, todos los demás se prevé ejecutarlos en el casco de Fuenlabrada.

La auscultación permite conocer los movimientos, niveles freáticos y otros datos que nos definen el comportamiento de la estructura y sus posibles desviaciones respecto a lo previsto.

Son, fundamentalmente, hitos de nivelación en superficie, regletas en edificios, clavos de convergencia en túneles, extensómetros en las armaduras traccionadas de un par de secciones en cada estación, piezómetros donde se prevé agua y células de presión en contrabóvedas y soleras.



Se auscultan todos los edificios afectados por las obras, todas las estaciones y secciones de túnel cada 400 m. aproximadamente

2.6. Principales unidades

Resumimos a continuación las principales unidades de obra a ejecutar.

Túnel con tuneladora	3.300 ml.
Túnel artificial	1.750 ml.
Túnel tradicional de Madrid	1.325 ml.
Dovelas	14.000 ud.
Excavación	2.000.000 m ³
Relleno	1.350.000 m ³
Columna de terreno tratado	4.700 ml.
Inyecciones de consolidación	2.800 m ³
Pantallas	65.000 m ³
Pilotes	1.600 m ³
Pilares prefabricados	1.700 ml.
Hormigón	205.000 m ³
Acero en redondos	17.700 Tn.
Acero en perfiles	380 Tn.

Carril	26.100 ml.
Taco elástico	31.000 ud.
Grava cemento bajo vía	53.000 m ³
Paneles de revestimiento	11.000 m ²

2.7. Presupuesto, plazo y programa

El presupuesto de licitación asciende a 26.076.566.673 Ptas. Y el de adjudicación a 25.103.910.736 ptas., con una baja del 3,73%.

El plazo de ejecución de la obra es de 30 meses, a partir de la firma del acta de replanteo, el 24 de Mayo de 2.000; las obras deben terminar, pues el 24 de Noviembre de 2.002.

Para controlar el desarrollo de la obra, se ha redactado un programa de trabajos con los rendimientos siguientes de las principales unidades de obra.

Túnel con tuneladora	350 m/mes
Túnel tradicional de Madrid, por frente	40m/mes
Túnel a cielo abierto	100 m/mes
Pantallas, por equipo	80 m ² /día
Hinca de cajón	1 mes
Superestructura	700 m/mes

3. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

3.1. Túnel con tuneladora

El túnel tiene sección circular de 8,43 m. de diámetro libre y, 9,07 m. de diámetro exterior, con siete dovelas de 0,32 m de espesor y 1,50 m de longitud por anillo.

Se utilizará la máquina "La Paloma" marca HERRENK-NECHT, esta tuneladora esta preparada para trabajar en régimen cerrado, es decir, controlando en todo momento la presión en el frente. De esta manera se evitan descompresiones del terreno y los consiguientes asientos en superficie.

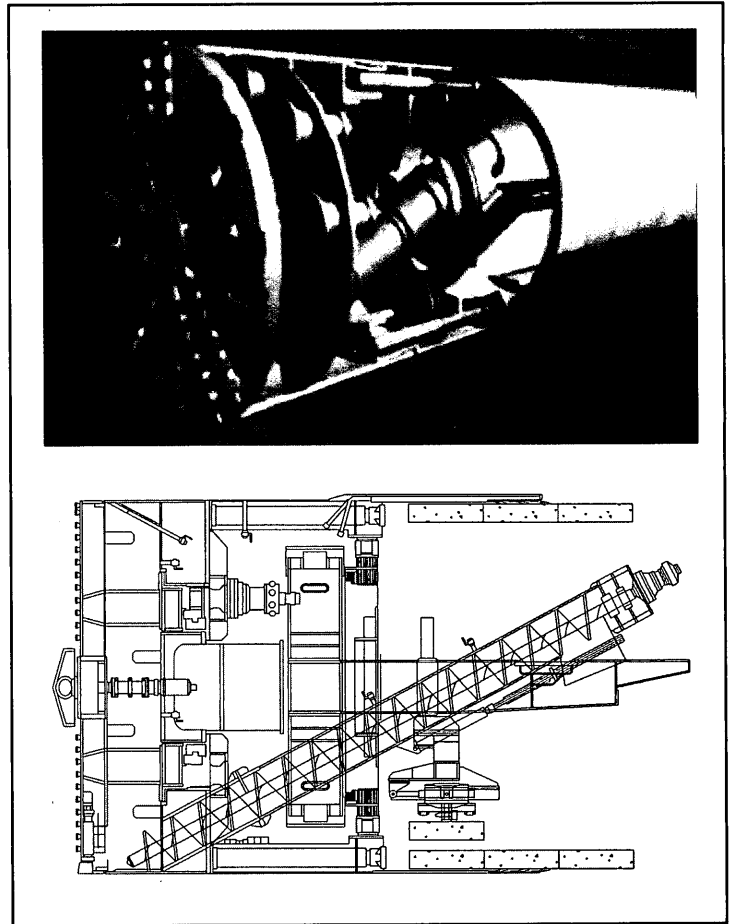
La corona frontal desmenuza el terreno al girar con sus dientes y discos, y lo mezcla con espuma para hacerlo más manejable. De la cámara de presión se extrae con un tornillo sin fin, que vierte en una cinta y esta a su vez en vagones sobre vía, que sale al exterior. Allí vuelcan el escombro en un foso, de donde se lleva a vertedero con camiones.

Las dovelas se fabrican, por el procedimiento de "carrusel" en planta, con curado al vapor y control total de calidad.

Las principales características de la tuneladora son las reflejadas en el Cuadro 1.

3.2. Túnel a cielo abierto

Se comienza abriendo la excavación en desmonte desde el pozo de entrada de la tuneladora en sentido contrario a ésta (dirección a Getafe) y en fase constructiva inmediatamente posterior se ejecuta la obra del túnel al cielo abierto. El volumen total de excavación es de 1.300.000 m³.

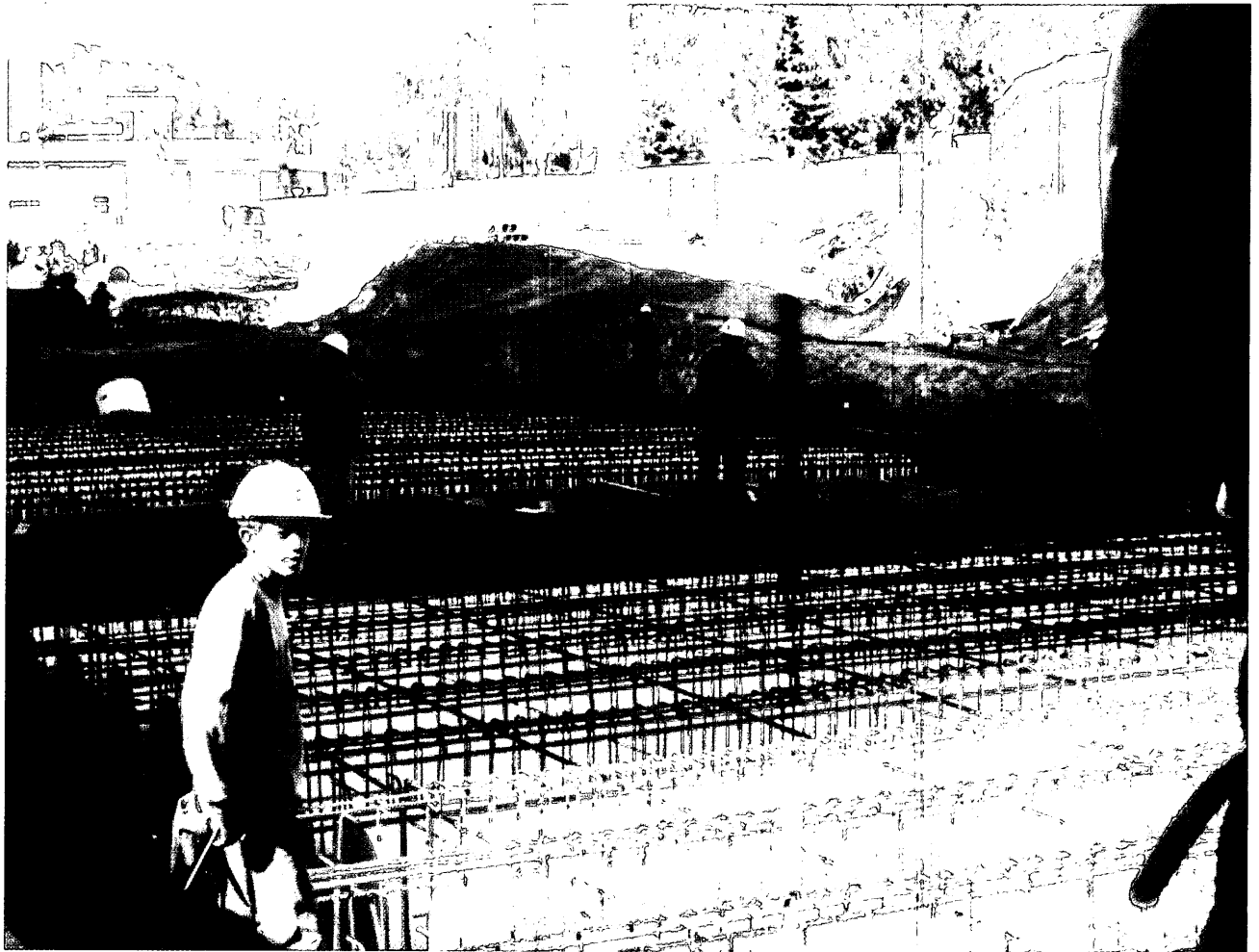


Tuneladora "La Paloma".

CUADRO 1.

DENOMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN		OBSERVACIÓN
Tipo, modelo o serie	EPB / OPEN MODE		
Diámetro de excavación	mm	9360	Con herramientas nuevas
Potencial total	KW	3250	
Longitud total	mm	8025	+ 725 mm rueda de corte
Radio de curvatura min. m	250		
Articulaciones	Nº	1	
Back - up. Longitud	mm	57.000	Depende del tren de alimentación
Peso total/TBM&Back - up	t	1350	
Herramientas de corte	Nº	150	
Herramientas de gálibo	Nº/		
Mm		3 unidades. / 10-20-30-40	Hidráulicas / mecánicas
r.p.m.	4,1		
Empuje total	to	10.000	
Longitud de desplazamiento mm		2000	

Ferralla de losa.



Las fases de construcción del túnel son:

- ▼ 1º Ejecución de losa de solera.
- ▼ 2º Ejecución de hastiales mediante encofrado marco tradicional.
- ▼ 3º Ejecución de la bóveda mediante carro de encofrar.

Finalmente y a medida que se cierra la construcción del túnel, se realizarán las operaciones de relleno y restitución del terreno.

3.3. Método tradicional de Madrid

El tramo final se ejecutará por el método tradicional de Madrid, método artesano e histórico, ahora “relegado” a los puntos especialmente difíciles y a aquellos tramos de longitud relativamente pequeños en zonas urbanas en las que las repercusiones del montaje y desmontaje de tuneladora no permiten su uso, y no es posible la ejecución a cielo abierto.

La sección es similar a la anterior, pero se ejecuta en tres fases, que son bóveda, hastiales y solera.

▼ Bóveda: esta fase, que es la más comprometida e importante, también se subdivide en otras dos: galería de avance (mina de dos metros de altura y un metro de ancho, sujeta y entibada con puntales, longarinas y tabla) y ensanche (igualmente entibado totalmente y con los mismos medios, hasta llegar a la sección completa del tercio superior de la sección, que se corresponde con la parte curva). Sin retirar las sujeciones, se hormigona, con bomba, desde el exterior.

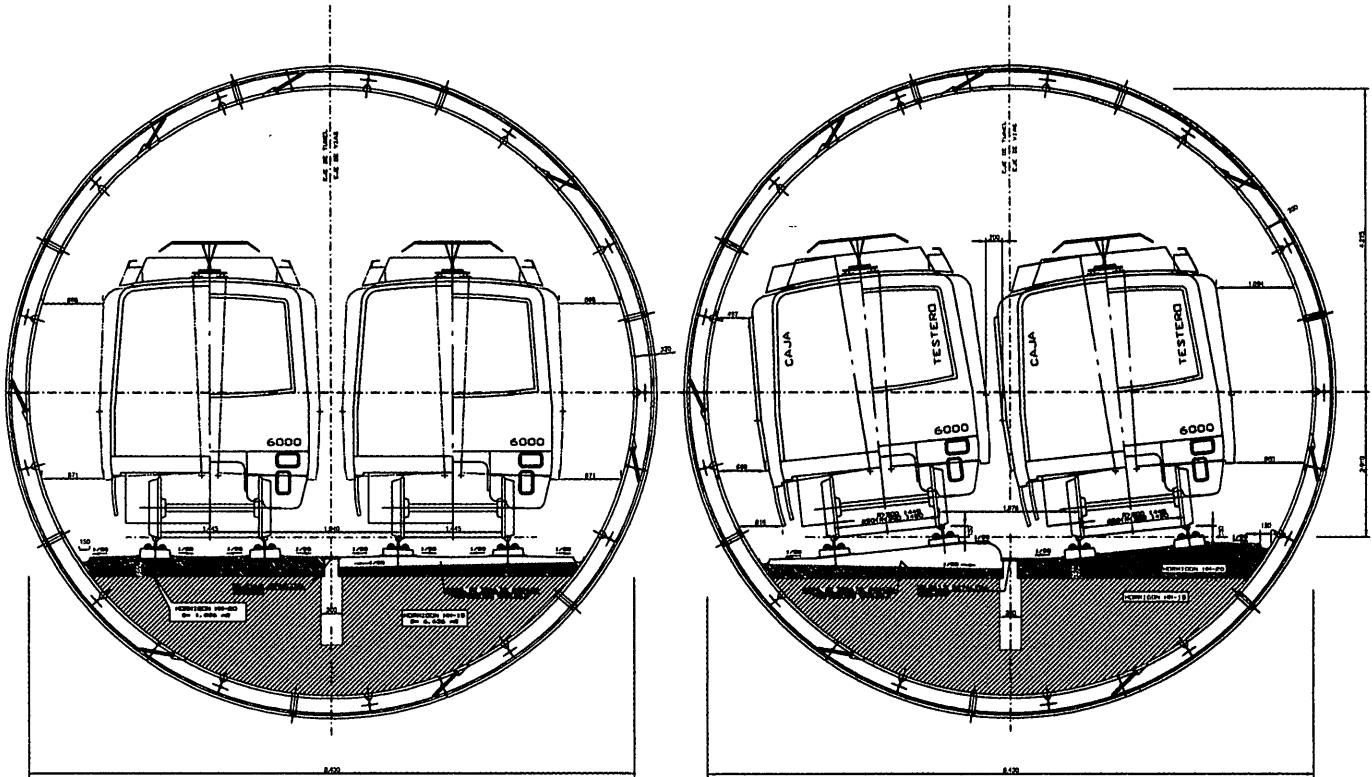
▼ Hastiales: ejecutados contrapeados entre sí y con los módulos de bóveda, excavando por bataches verticales y hormigonando cada uno independientemente de los demás. Previamente se ha retirado (en zanja) las tierras centrales, para su posible ejecución a nivel.

▼ Solera: ya sin problemas ni peligros, hormigonándose tramos de unos cinco o seis módulos.

3.4. Estaciones

La ejecución de las estaciones comienzan antes del paso de la tuneladora. Con esto se consiguen varias ventajas: ejecutar los forjados contra el terreno con el consiguiente ahorro

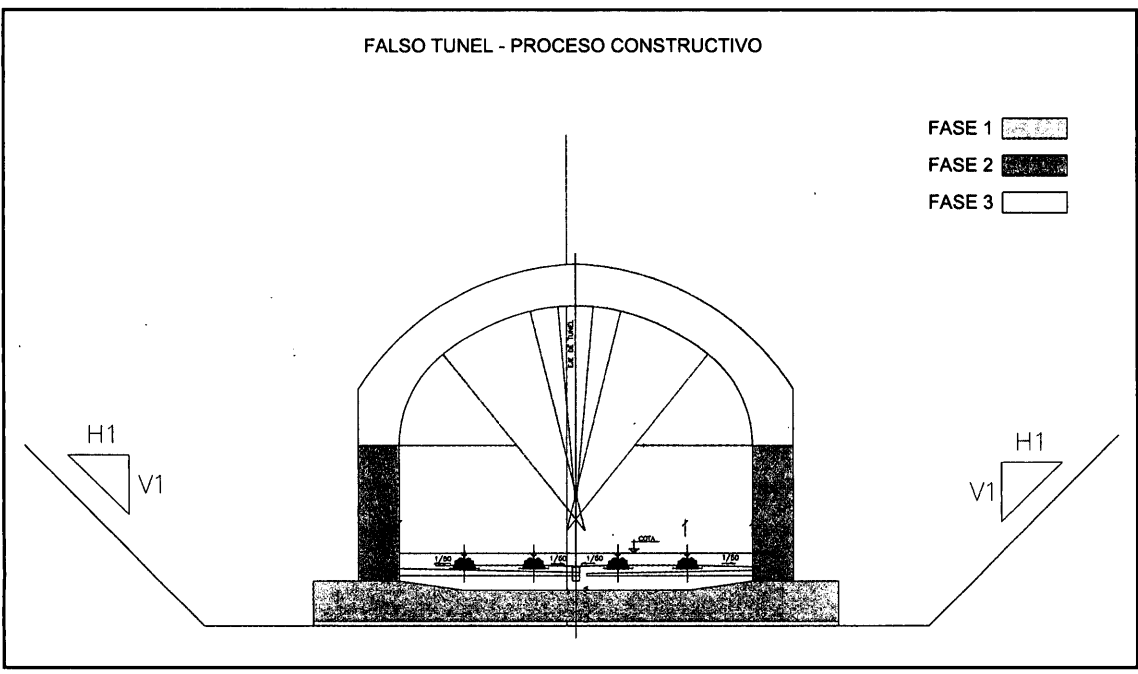
SECCION TUNEL DE LINEA - TUNELADORA



SECCION "A-A" EN RECTA
ESCALA 1:25

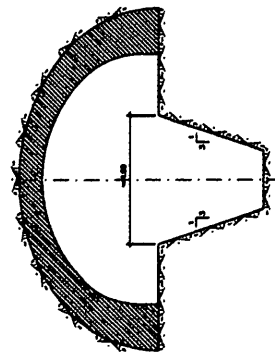
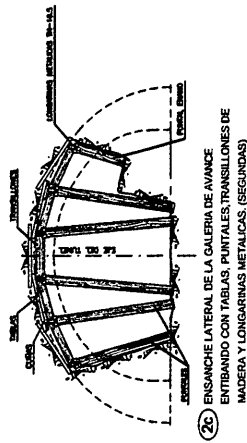
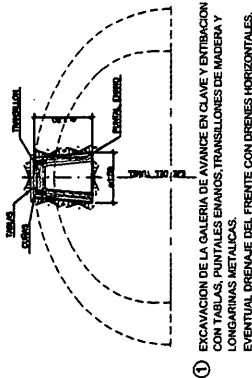
SECCION "A-A" EN CURVA
ESCALA 1:25

FALSO TUNEL - PROCESO CONSTRUCTIVO

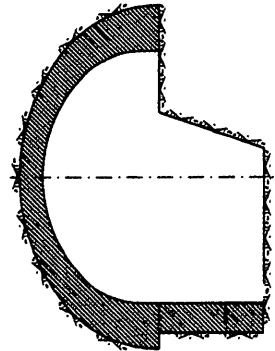
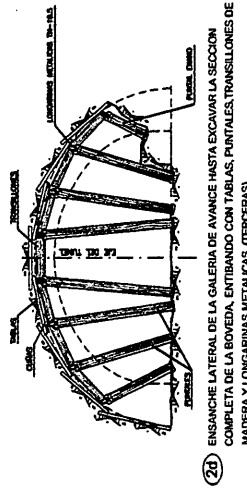
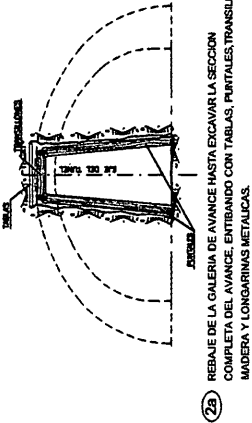
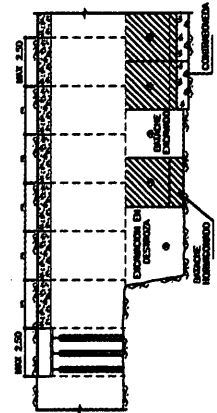


- FASE 1
- FASE 2
- FASE 3

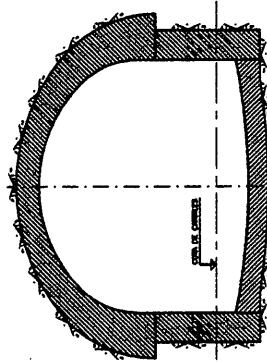
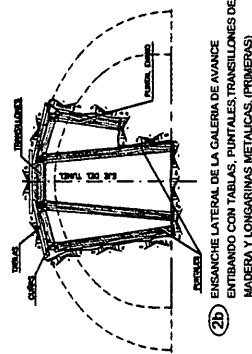
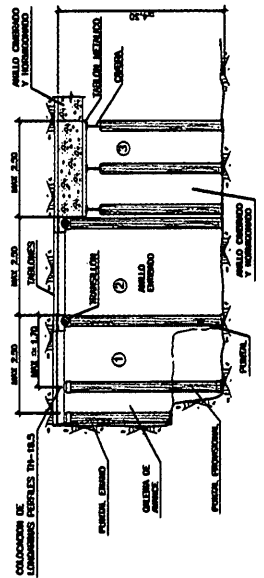
METODO TRADICIONAL DE MADRID



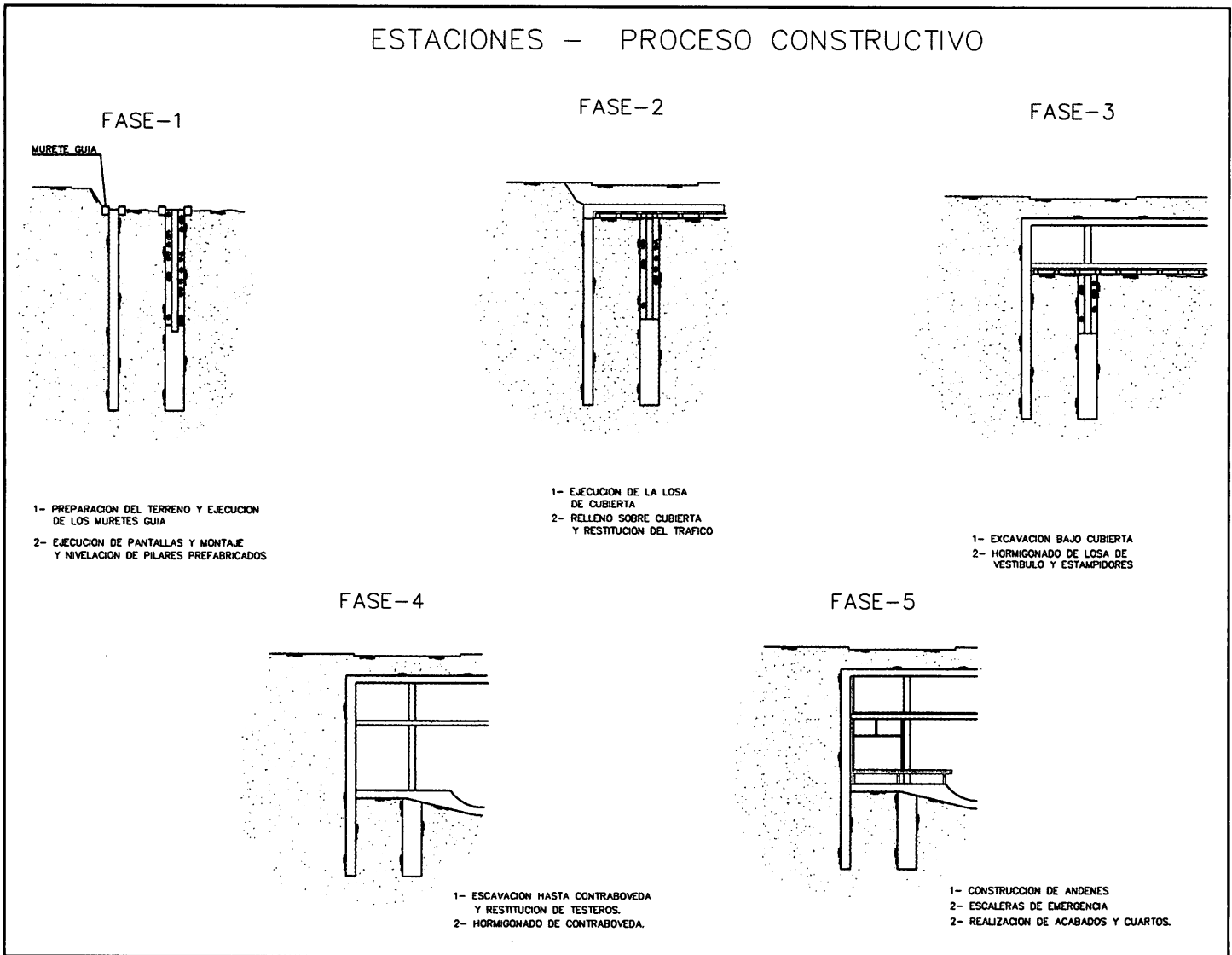
4 EXCAVACION EN DESTROZA



5 EXCAVACION Y HORMIGONADO DE LOS HASTIALES POR BATACHES CONTRAPEADOS DE ANCHO MAXIMO 2,50m. INYECCION DEL TRASDO.



ESTACIONES – PROCESO CONSTRUCTIVO



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.

FICHA TÉCNICA

DIRECCIÓN DE OBRA	Juan Carlos Diez Martín. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos Ángel Vila Fondevila. Ingeniero Técnico de Obras Públicas
CONSTRUCTORA	NECSO. Jefe de Obras: Santiago Serrano Pérez. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
ASISTENCIA TÉCNICA	PROSER/PROINTEC Jefe de unidad: Joaquín Castro Bermejo