

Tramos XI, XII y I [Leganés-Alcorcón-Móstoles]

Manuel Herrera Álvarez

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Asesor Técnico de la Dirección General de Infraestructuras

Manuel Arnáiz Ronda

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Jefe del Servicio de Ampliación de Metro. Director de las obras del Tramo 2

RESUMEN

El tramo de Metrosur en construcción, de 9.637 m., discurre en subterráneo por los municipios de Leganés, Alcorcón y Móstoles, tiene su origen en la estación Leganés-6 y termina al comienzo de la estación Móstoles-1. Un primer tramo de 1.700 m. se construye a cielo abierto mediante pantallas de hormigón armado, y el resto se construye con tuneladora E.P.B. En el tramo se construyen 5 estaciones, y el trazado permite construir otras dos más en el futuro. El sistema de ejecución es a cielo abierto mediante pantallas de hormigón armado. Se hace referencia a los sistemas constructivos y se comentan aspectos geotécnicos y de auscultación.

ABSTRACT

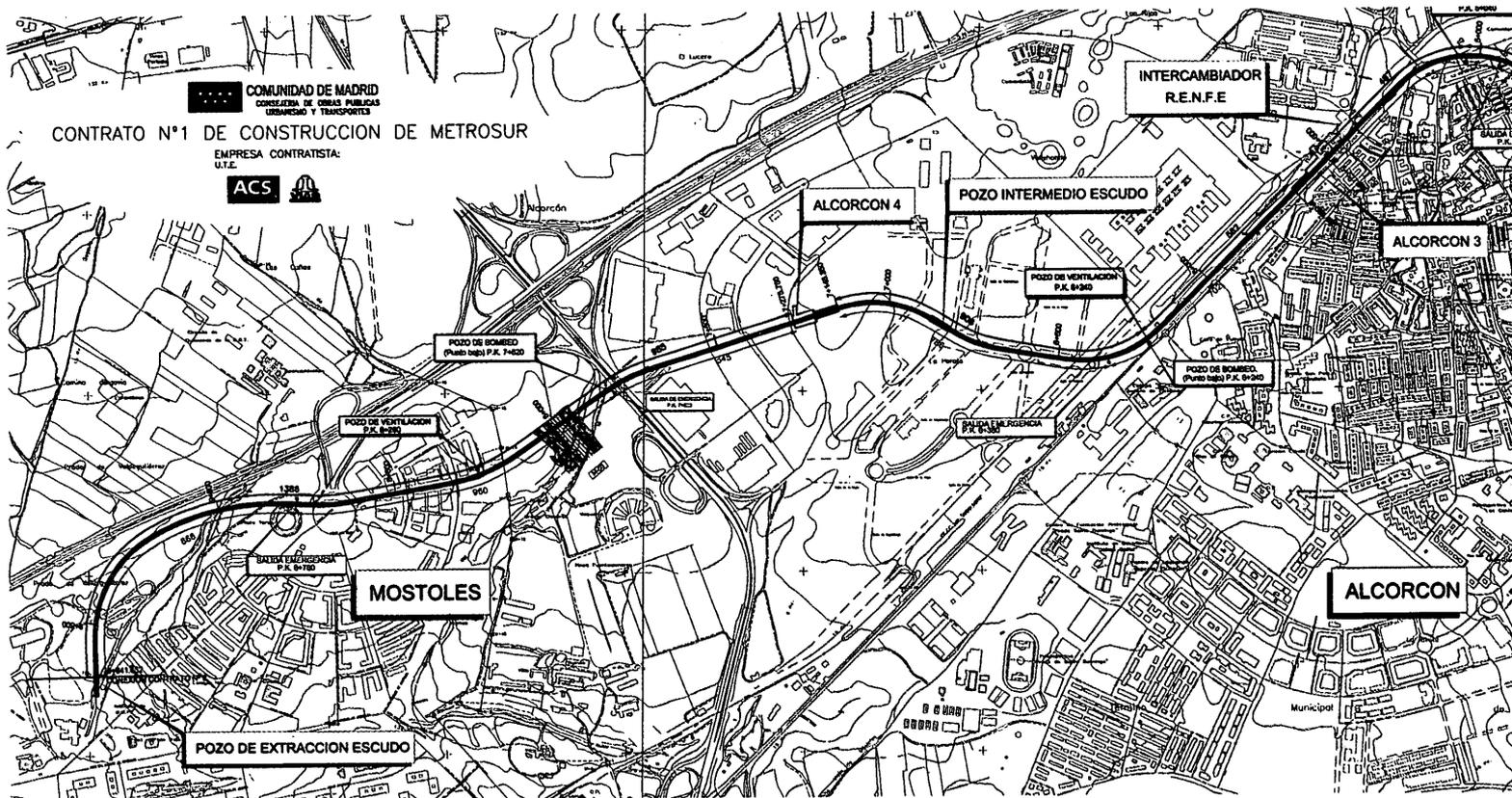
The 9,637 km long section of the Metrosur, the South Madrid Underground Line, running below the Madrid municipalities of Leganés, Alcorcón and Mostoles, starts off from the Leganés-6 station and finishes at the Mostoles-1 station. The first 1,700 m section is to be built by the cut and cover method using reinforced concrete diaphragm walls, while the remainder will be built by EPB. The sections include 5 stations and the possibility of a further two stations in the future. The article describes the construction methods employed and gives details of the geotechnical aspects and borings.

1. INTRODUCCIÓN

Con el fin de mejorar las condiciones de transporte en la Zona Sur de la corona metropolitana de Madrid, que engloba a las poblaciones de Alcorcón, Móstoles, Fuenlabrada, Getafe y Leganés, con una población próxima al millón de habitantes, la Comunidad de Madrid, a través de la Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes, ha planeado la ejecución de una línea de Metro de configuración anular que una dichas poblaciones entre sí y conecte mediante intercambiadores con las líneas de Cercanías de RENFE y con la prolongación de la Línea-10 de Metro, a la infraestructura del transporte subterráneo y de superficie de Madrid y su área metropolitana. La longitud total de la línea subterránea de Metrosur es de 40,8 Km. y se ha dividido

en 12 tramos para su estudio y proyecto, adjudicándose las obras de construcción en 6 contratos distintos. El contrato 1 que nos ocupa, tiene una longitud de 9.637 m., que representa un 23,6% de la longitud total de Metrosur. Comprende, a excepción de Leganés - 6, todas las estaciones del municipio de Alcorcón, que cubrirán la demanda del 50 % de la población del municipio, que tiene en la actualidad 141.000 habitantes.

Las obras se adjudicaron a una UTE constituida por las empresas ACS y Vías y Construcciones. La primera ya construyó, entre otros, el tramo de ampliación de la Línea 9, entre Pavones y Puerta de Arganda. La tuneladora empleada para este contrato de Metrosur es la misma de la citada ampliación, lo que supone una ventaja en cuanto a la experiencia adquirida por el personal en su manejo. Esta experiencia anterior deberá reper-



cutir en una mejora de rendimientos, habida cuenta que el terreno a excavar es de características similares al de la Línea 9.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA OBRA

Este tramo de línea de Metrosur discurre por los municipios de Leganés, Alcorcón y Móstoles, comenzando en la estación de Leganés-6 (San Nicasio) y finalizando en la estación Móstoles-1 (Los Rosales), que pertenece al tramo contiguo.

2.1. Tunel de línea

Una primera parte de 1.726 m. de longitud, que comienza en la Estación Leganés-6 y termina en el Pozo de Ataque, se excava a cielo abierto ya que discurre fuera de la zona urbana consolidada. El resto se excava y reviste con tuneladora (7.911 m.).

2.2. Estaciones

Como parte de este contrato se construyen 5 estaciones, una de ellas doble, como enlace de la prolongación de la Línea 10 (Alcorcón-1), y otra de intercambio con la Línea de Cercanías de RENFE (Alcorcón-3).

El trazado permite construir en el futuro otras dos estaciones, situadas una entre Leganés-6 y el límite del término munici-

pal de Leganés, y otra en Móstoles. Se han dejado para su futura implantación sendos tramos de trazado recto y horizontal.

Las estaciones de Metrosur se han diseñado de modo que, localizándose de manera que den una adecuada cobertura a la demanda, se puedan construir a cielo abierto. La construcción a cielo abierto permite un control más adecuado de los plazos y costes de la obra y, sobre todo, minimiza sus incertidumbres.

Siguiendo criterios análogos a los de la Ampliación del Metro de Madrid, se potencia la funcionalidad de las estaciones, huyendo de los largos corredores de interconexión e integrando prácticamente todas las necesidades de la estación en un único volumen que se ejecuta y excava entre pantallas de hormigón armado. En esta misma línea, las estaciones se diseñaron lo más someras posibles, de 14 a 16 metros de profundidad desde cota de vía. La profundidad viene condicionada por el paso del escudo arrastrado, y por una cobertera mínima de tierras a su entrada y salida de la estación. El arrastre del escudo también condiciona la cota del vestíbulo (unos 7 m. por encima de cota de vía).

2.3. Subestaciones eléctricas

En conjunto se dispondrán 3 subestaciones eléctricas, una se sitúa en el Pozo de Ataque y las restantes se integran en las estaciones Alcorcón-1 y Alcorcón-3.

2.4. Servicios afectados

Como servicio afectado cabe destacar el desvío del ferrocarril militar que discurre paralelo y coincidente con la traza en sus primeros 500 m. desde la estación Leganés-6. Este desvío se restituirá una vez terminadas las obras de la citada estación y del tramo de túnel correspondiente.

En todas las estaciones existen servicios afectados, siendo de singular importancia los de la estación Alcorcón-1, dada su complejidad por la gran cantidad de servicios y su imbricación en la doble estación. Presenta, por tanto, esta estación una dificultad añadida al ser necesario, con carácter previo a su construcción, desviar gran cantidad de servicios (agua, gas, electricidad, saneamientos, etc.) y llevar a cabo diversos desvíos de tráfico que permitan la realización de las diferentes fases de obra.

2.5. Pozos de ataque y extracción de tuneladora

Existe un pozo de ataque de la tuneladora, situado a unos 1.700 m. del origen del tramo, en el término municipal de Leganés. Se prevé un segundo pozo a unos 5000 metros del primero para reducir distancias de transporte de materiales durante la ejecución del túnel. La extracción de la tuneladora se realizará por un pozo de mucha menor dimensión, antes de llegar a la estación Móstoles -1, ya del siguiente contrato.

3. TÚNEL DE LÍNEA

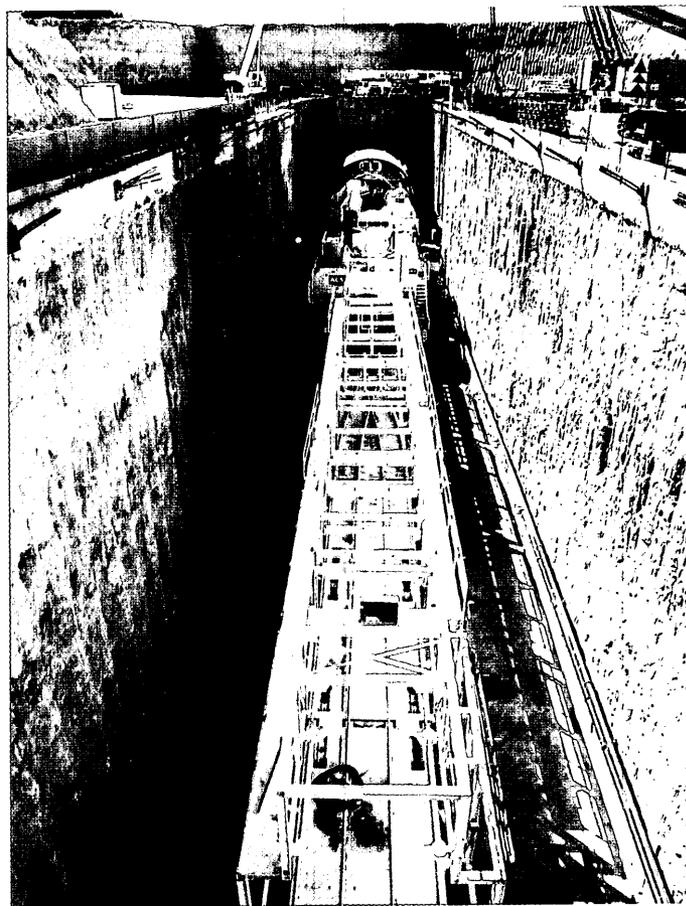
El tramo de túnel ejecutado con tuneladora (escudo E.P.B.) se excava en sección circular de 9,38 m. de diámetro, y se reviste con anillos de 8,43 m. de diámetro interior, formados por 7 dovelas de hormigón armado de 0,32 m. de espesor. El hueco entre cara exterior de los anillos y la sección excavada se inyecta con mortero de cemento.

El tramo de túnel excavado a cielo abierto se construye mediante muros-pantalla y bóvedas superior e inferior. La distancia horizontal entre paredes interiores de pantallas es de 7,80 m., y el gálibo entre las claves de la bóveda superior y la contrabóveda inferior es de 6,50 m.

Los gálibos de ambos tipos de secciones son suficientes para la circulación de trenes de la serie 6.000 en doble vía.

El trazado de la vía responde a los criterios de diseño establecidos por Metro de Madrid para material móvil tipo 6.000, y a los condicionantes debidos a aspectos tales como:

- ▼ La situación de las estaciones.
- ▼ Las características geotécnicas del terreno.
- ▼ La compatibilidad con las condiciones de trazado de los tramos contiguos y en su conexión con los mismos.
- ▼ El cruce de la línea 10 sobre Metrosur en la estación Alcorcón-1.



Tuneladora "La Almudena" en el pozo de ataque.

▼ Los aspectos funcionales, tales como facilitar el acceso desde el exterior a los usuarios del sistema Metro, disponiendo los andenes a una cota lo más cercana a la superficie de la calle. También se ha tratado de minimizar los recorridos de los usuarios en los intercambios entre Metrosur y línea 10 y entre Metrosur y Cercanías de RENFE.

▼ La estructura urbana y en particular la situación y características de la cimentación de los edificios próximos a la traza.

▼ Los servicios existentes.

Los criterios de diseño empleados han sido:

▼ Radio de las curvas en planta ≥ 300 m., excepcionalmente 280 m.

▼ Rampa máxima de la rasante ≤ 35 milésimas.

▼ Acuerdo vertical mínimo $K_v = 2.000$ m.

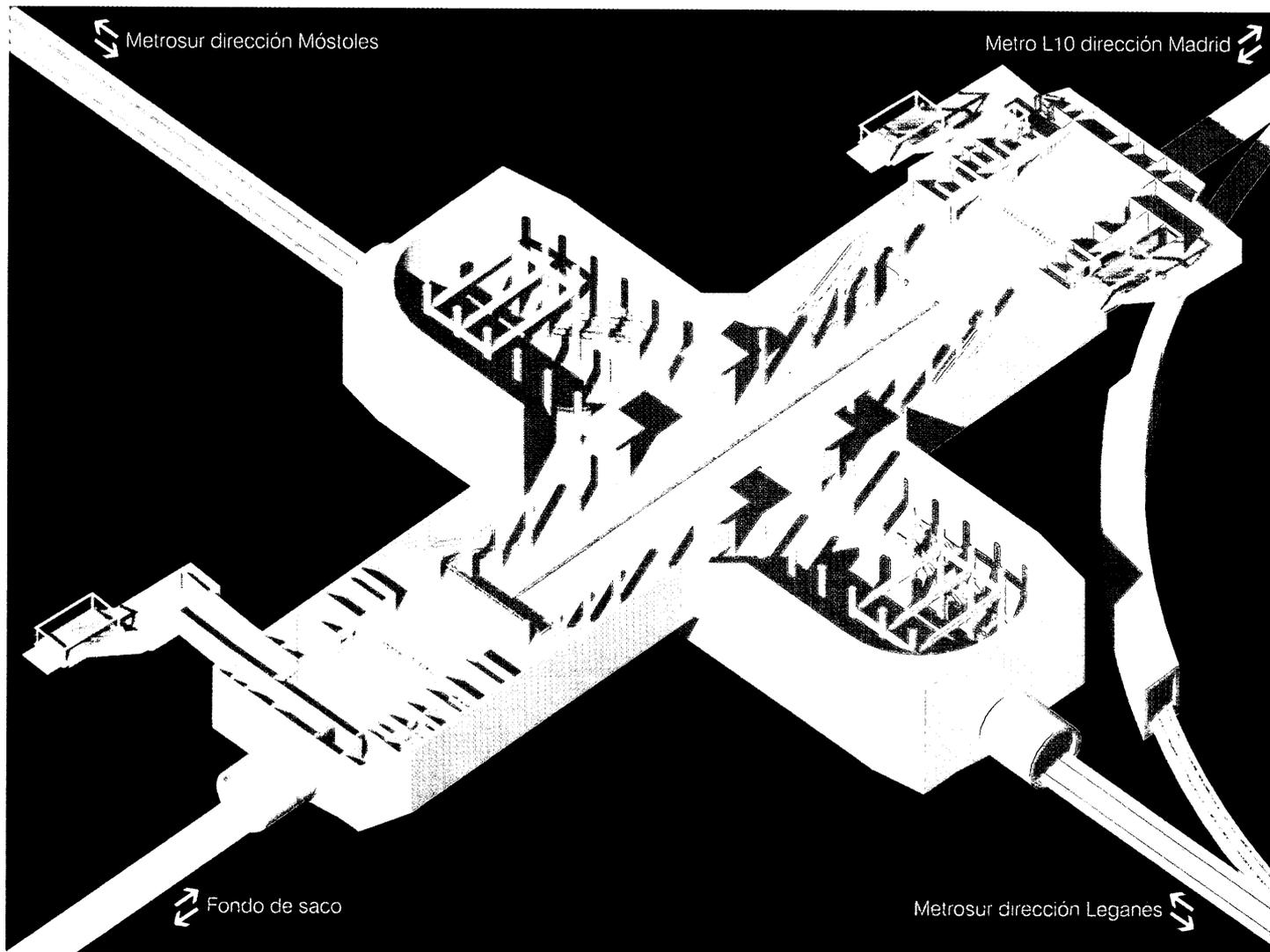
▼ Alineación en estaciones: horizontal, recta, $L \geq 115$ m.

▼ Peralte máximo 150 mm.

▼ Aceleración transversal sin compensar: 0 m/s^2 , excepcionalmente $\leq 0,65$ m/s^2 .

▼ Variación de la aceleración transversal en la transición: $< 0,17$ m/s^3 , en casos excepcionales $< 0,20$ m/s^3 .

▼ Disposición de diagonales de talón de tangente 0,14 en las estaciones y lado de las mismas que ha indicado Metro de Madrid.



Vista general estación Alcorcón 1.

- ▼ Gálbos correspondientes al material móvil tipo 6.000.
- ▼ Rampa de peralte $\leq 1,5$ mm/m, excepcionalmente 2 mm/m.

4. ESTACIONES

Estación de Leganés-6

Se sitúa en el límite del barrio de San Nicasio, en una zona poco poblada pero en proceso de expansión urbanística.

Tiene dos accesos desde la calle a un vestíbulo subterráneo que forma el primer nivel de la estación.

Desde el vestíbulo se accede a la zona lateral de andenes, mediante un cuerpo de escaleras formado por una escalera fija entre dos escaleras mecánicas.

Se ha tratado de minimizar recorridos y encajar las dependencias de forma que se tenga una visión unitaria del espacio

interior de la estación. Se vuelve a recurrir a la percepción de la doble altura que permite observar de una vez el funcionamiento de los tráficos.

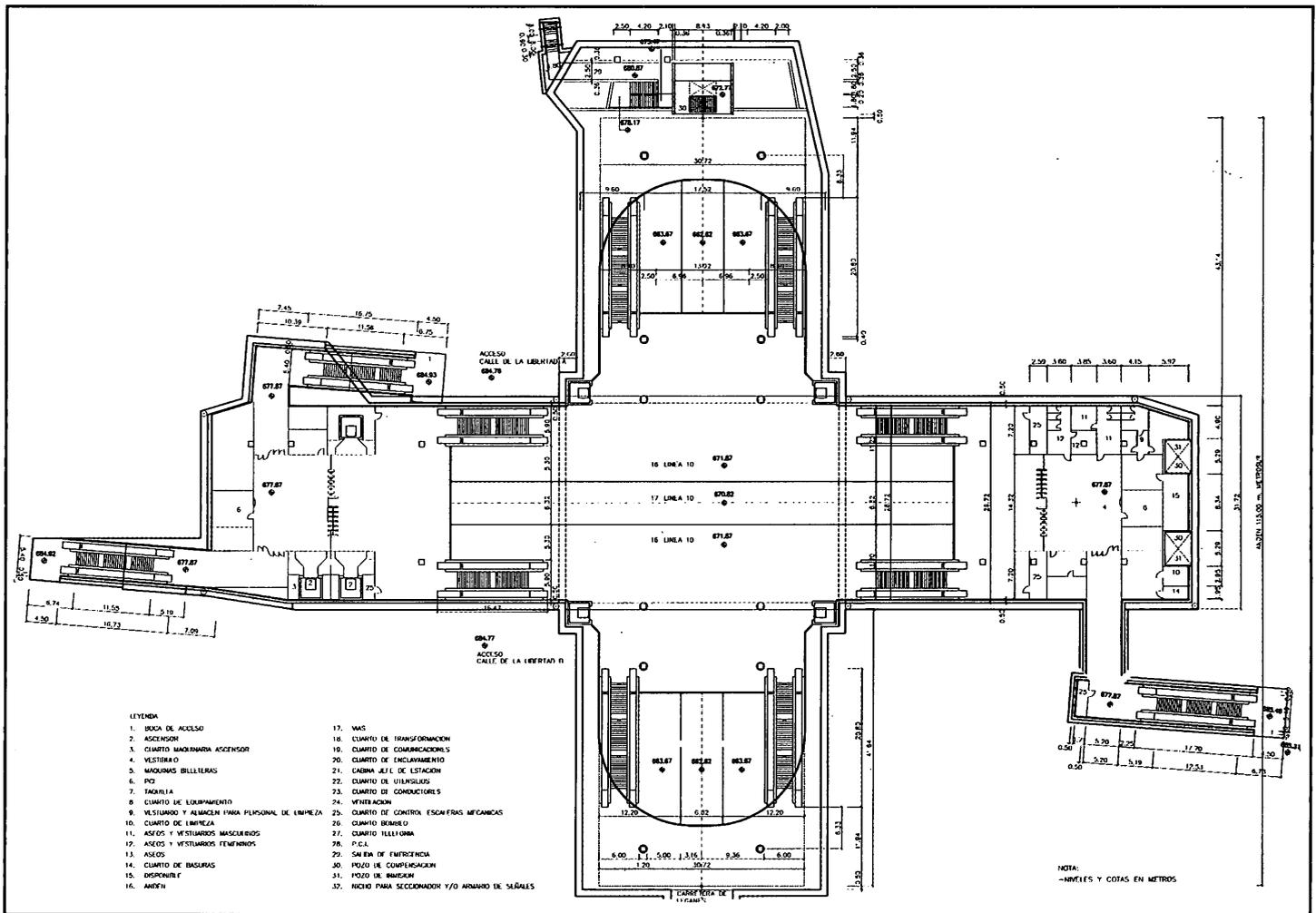
La solución enterrada es necesaria por situarse bajo la vía del ferrocarril militar a Cuatro Vientos. Para su construcción es necesario el desvío provisional del ferrocarril militar.

En cuanto a su estructura, está delimitada por un recinto apantallado de 0,80 m. de espesor, con una longitud de 129,4 m. y anchura máxima de 33,80 m. sin contar con los accesos, siendo la anchura mínima de 18,60 m.

La losa superior de la estación está prevista para una carga de tierras de 1,3 m. y carga de tráfico ferroviario.

Estación Alcorcón-1

Es esta la estación más singular del contrato, por tratarse de una estación doble donde se produce el intercambio entre las lí-



Solución B' estación Alcorcón 1. Planta general. Vestibulos.

neas de Metrosur y Línea-10, formándose una tipología en cruz, en la que la línea profunda corresponde a Metrosur, pasando por encima de ella la Línea-10.

El lado de la cruz correspondiente a la línea de Metrosur supone una longitud total de 128 m. , y una profundidad de rasante variable entre 22,13 y 22,55 m. respecto al nivel de la superficie, mientras que el lado correspondiente a la Línea-10 tiene una longitud total de 120 m. , y una profundidad de rasante variable entre 13,52 y 14,10 m. respecto al nivel de la superficie.

La estructura se resuelve mediante un recinto entre pantallas continuas de hormigón armado, de 0,80 de espesor, con cubierta plana a base de una losa constituida por vigas prefabricadas. El recubrimiento de tierras sobre la cubierta es variable entre 0,80 y 1,50 m., de altura, con el fin de permitir el paso sobre ella de servicios urbanos.

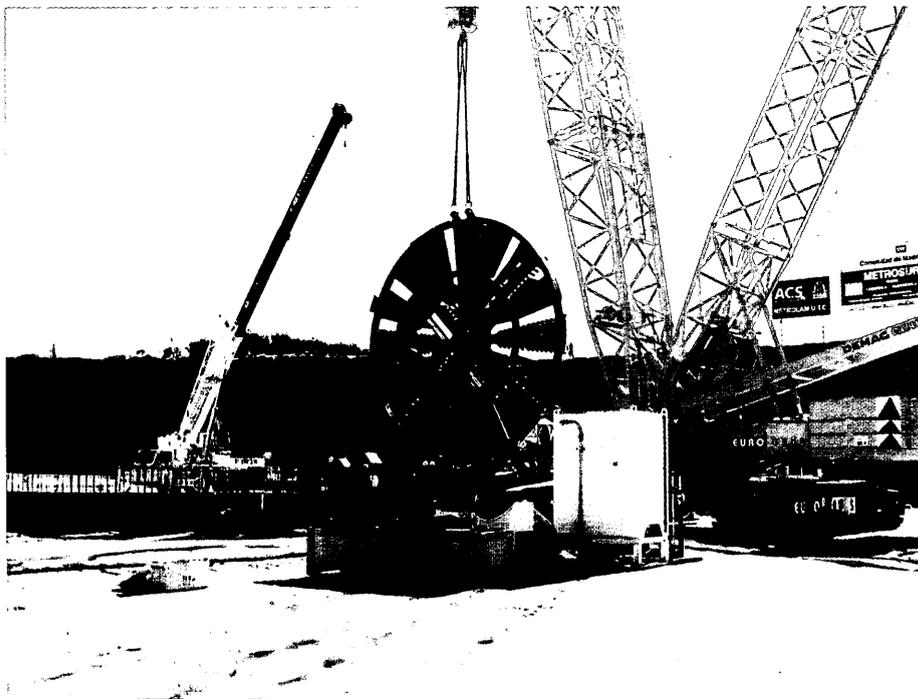
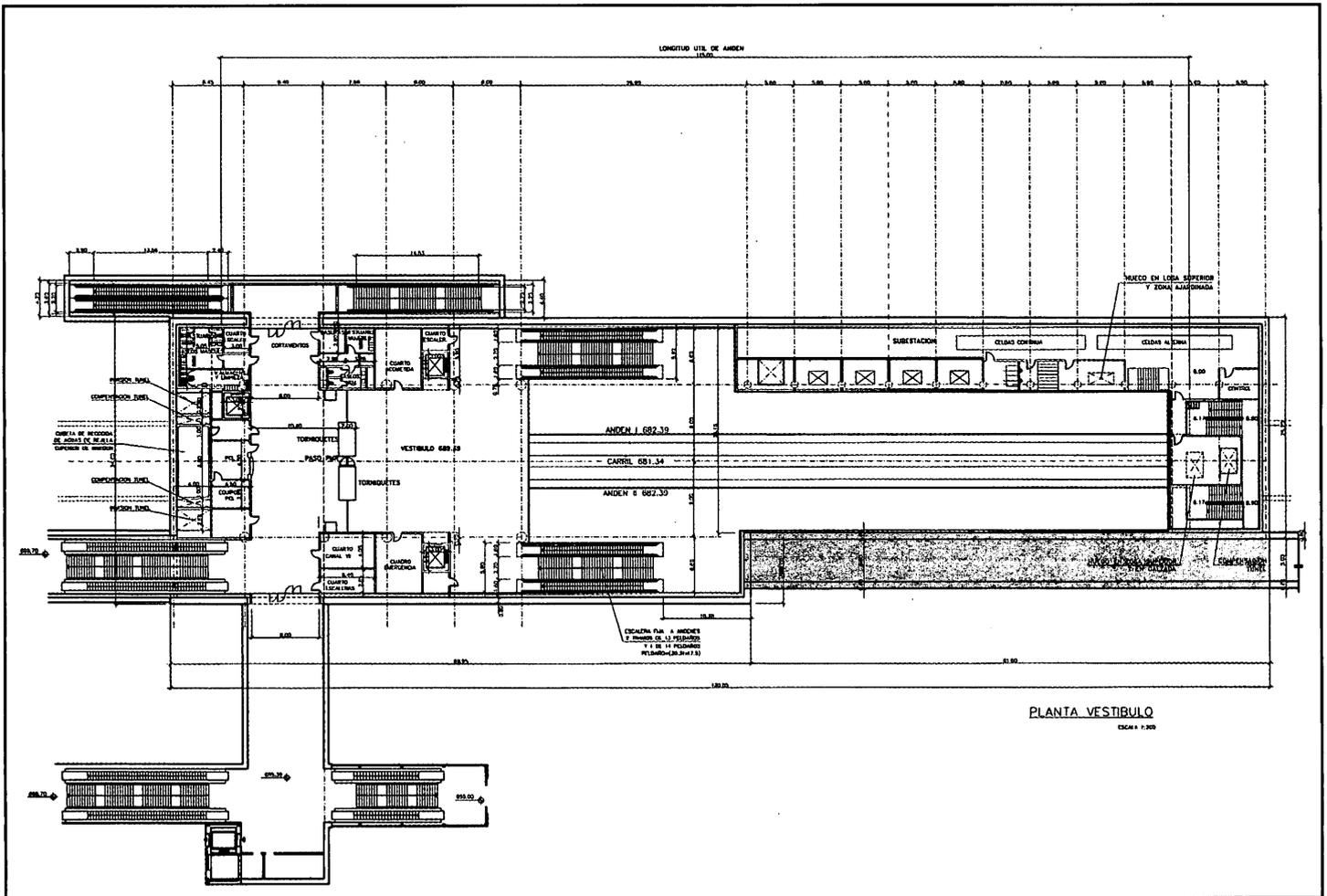
La estación dispone de dos vestíbulos con tres accesos, situados en la Línea 10 y desde los que se llega a ésta. Desde sus andenes se conecta mediante un tiro de escaleras con la línea de Metrosur en sus dos sentidos de circulación.

En esta estación, a diferencia de las restantes del contrato, la tuneladora habrá de pasar excavando en lugar de "arrastrada", puesto que, dada la complejidad de la estación y la proximidad del pozo de entrada de la tuneladora, ésta habrá de llegar al piñón de la estación antes de que se haya concluido su excavación. Será necesaria la posterior demolición de las dovelas del túnel de línea entre los testereros de la estación.

Estación Alcorcón-2

Esta estación, con una longitud total de 125,20 m. y una profundidad de rasante variable entre 13,57 y 15,84 m. , respecto al nivel de superficie, está situada bajo la Avenida de Leganés, entre la calle del Príncipe Don Juan Carlos y la Avenida de Lisboa.

Dispone de un acceso único, localizado en el paseo ajardinado de la Avda. de Leganés. La forma de la estación es totalmente rectangular puesto que se han sacrificado los ensanches de las escaleras para reducir la anchura de la estación y no acercarse con la excavación a los edificios próximos.



Estación Alcorcón 3. Planta vestibulo. Definición geométrica. Abajo, montaje de la rueda de corte de la tuneladora "La Almudena".

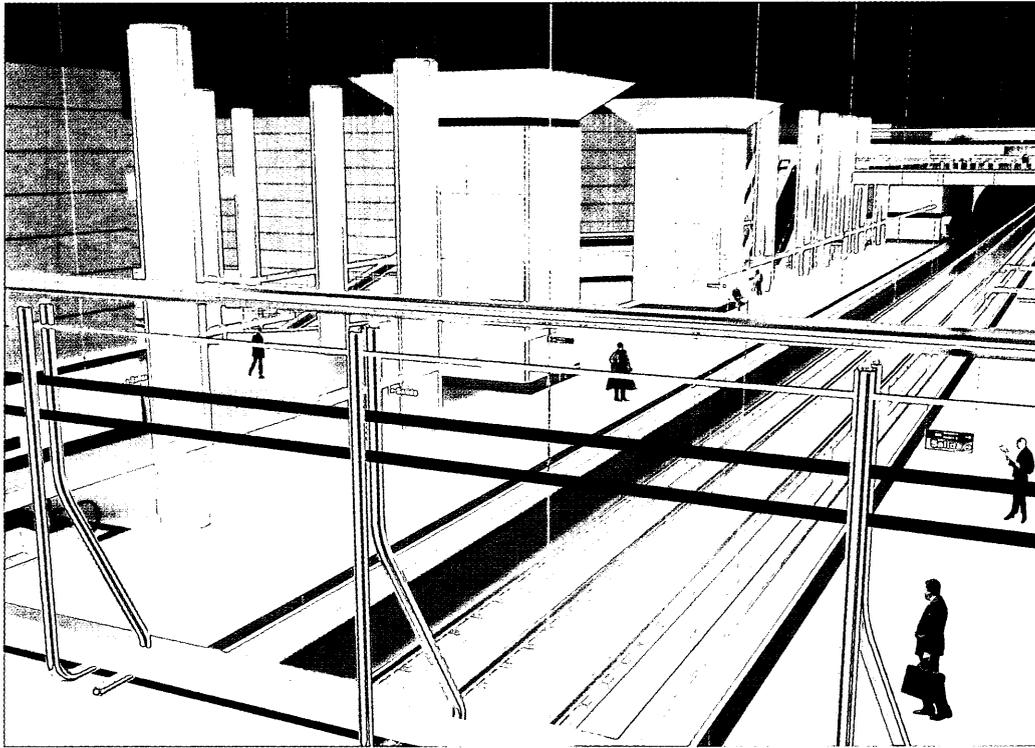
La losa de cubierta se realiza "in situ" y es de hormigón postesado.

Estación Alcorcón-3

Es una estación de intercambio entre el apeadero existente de la línea

C-5 de cercanías de RENFE en Alcorcón y el Metrosur. Se localiza en la Avda. de Móstoles y da también cobertura a la demanda del Hospital de Alcorcón.

Es de tipología similar a la mayor parte de las estaciones del Metrosur, con una sección rectangular ensanchada en la zona de escaleras de acceso a andenes. La cubierta se construye con vigas prefabricadas de hormigón y la losa del vestíbulo con hormigón armado ejecutado "in situ".



Perspectiva de estación Alcorcón 1 desde Metrosur.

Como parte de la actuación se remodelará también la estación de Cercanías de RENFE. Se dará acceso a ambos lados de la vía con la construcción de un cajón hincado de 8 metros de anchura.

Estación Alcorcón-4

Está situada en terrenos de la Universidad Juan Carlos I y junto a los centros comerciales de Parque Oeste de Alcorcón.

Es una estación enteramente subterránea y cuenta con un acceso a nivel de calle, configurado como un pabellón acristalado, del cual parten las escaleras y el ascensor que baja al vestíbulo.

La tipología de la estación es similar a la de Alcorcón - 3.

5. PROCESOS CONSTRUCTIVOS

Túnel de línea

A la hora de plantear los sistemas constructivos más adecuados, es necesario resaltar, y constituye ya una referencia obligada, la amplia y valiosa experiencia adquirida durante la ejecución de los túneles para la ampliación del Metro de Madrid en el período 1995-1999.

En este caso particular, dicha experiencia tiene especial valor, no sólo por corresponder geotécnicamente a las mismas

formaciones terciarias de los suelos de Madrid, en los que se plantean ahora los túneles de Metrosur, sino que además constituye ahora a nivel mundial, sin lugar a dudas, el mejor precedente a la hora de plantearse la ejecución de túneles urbanos en suelos blandos similares, con ejemplares resultados de seguridad durante la construcción, elevados rendimientos (plazos de ejecución inferior a las expectativas más optimistas), y costes de ejecución inferiores a otras referencias próximas (Londres, Atenas, Lisboa).

El túnel de línea puede ser abordado sin dificultades mediante tuneladoras de sección completa, T.B.M. polivalentes, hacia las que se dirige la tendencia actual.

En este tramo se emplea un escudo tipo E.P.B. con posibilidad de trabajar con presión de tierras o si ella, con un diámetro exterior de 9,32 m., que permite la construcción de un túnel de 8,43 m. de diámetro interior revestido de

dovelas que va colocando la misma máquina.

La máquina avanza apoyándose en 13 pares de gatos de empuje, que actúan sobre el último anillo colocado. En el inicio del túnel se apoya en una estructura de empuje colocada al efecto en la sección origen.

Cada anillo de revestimiento se compone de 7 dovelas de 0,32 m. de espesor y 1,50 m. de ancho. El espacio comprendido entre la superficie cilíndrica excavada y el trasdós del anillo de hormigón, se rellena inyectando mortero de cemento, cuya función es doble, una es equilibrar presiones transmitiendo las cargas del terreno a la estructura anular del hormigón del anillo y la otra es contribuir a la impermeabilización del túnel.

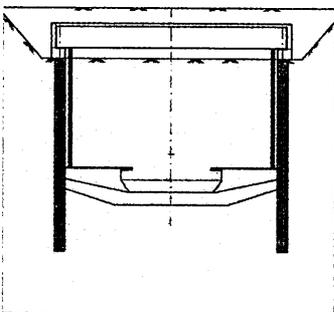
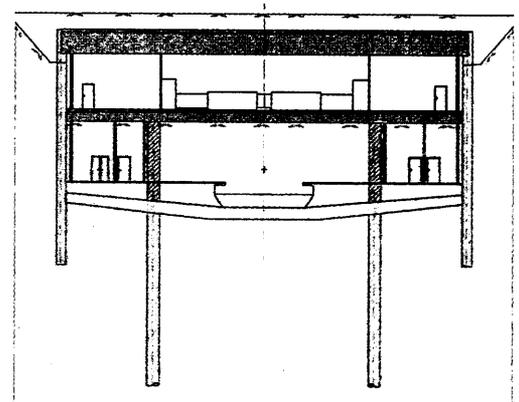
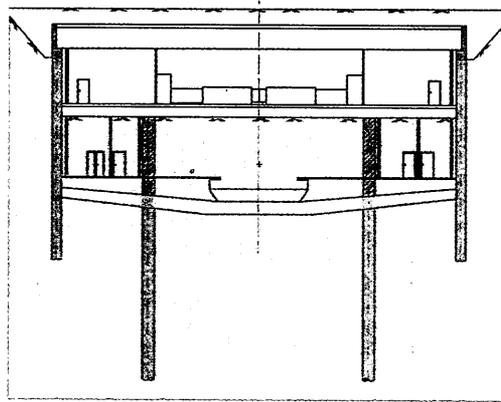
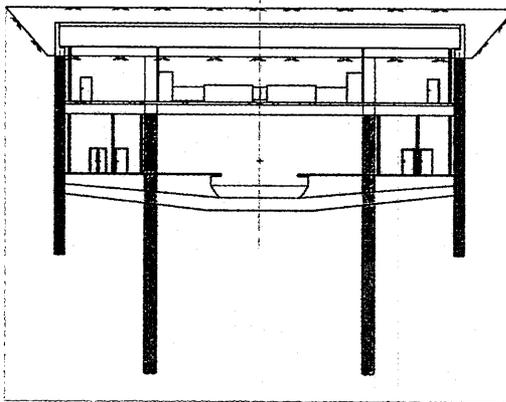
La impermeabilidad también se consigue con las juntas estancas entre dovelas (juntas radiales) y entre anillos (juntas circunferenciales), que son de neopreno.

La fabricación y acopio de dovelas se realiza en una nave próxima al pozo de ataque, dimensionada para la fabricación de 18 anillos/día (126 dovelas/día) y parque de acopio con capacidad para 585 anillos (4.095 dovelas).

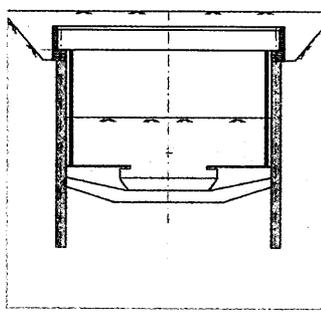
La longitud total de la tuneladora con el back-up es de 125 m. y pesa en total unas 1.500 T.

El tramo de túnel de línea comprendido entre la estación Leganés-6 y el Pozo de Ataque, de unos 1.570 m. de longitud, se excava a cielo abierto mediante la ejecución previa de muros-pantalla, formación de bóveda, excavación entre pantallas y ejecución de contrabóveda.

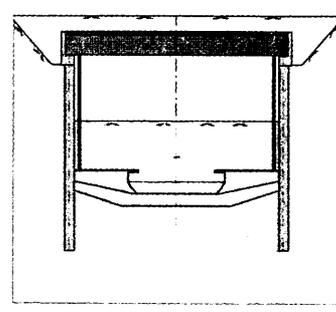
LEGANÉS 6. PROCESO CONSTRUCTIVO



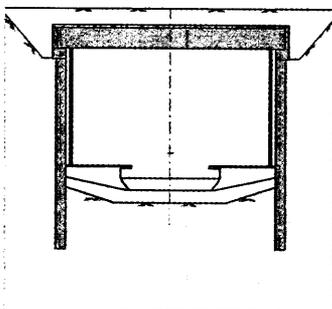
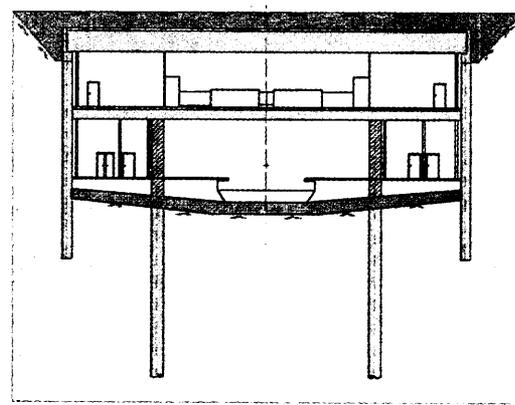
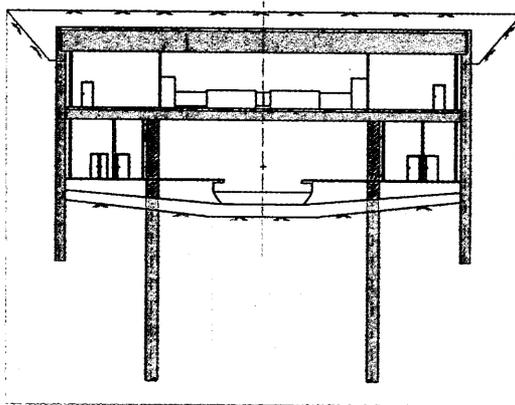
Fase 1.
Preexcavación hasta nivel de viga atado.
Realización de pantallas
Realización de pilotes.



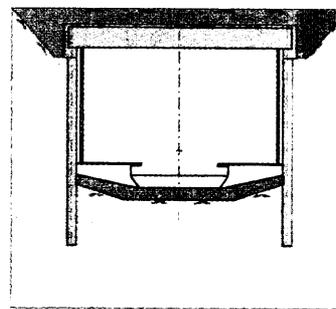
Fase 2.
Realización de vigas de atado.
Excavación hasta apoyo losa vestibulo.



Fase 3.
Colocación de cubierta y hormigonado vestibulo.

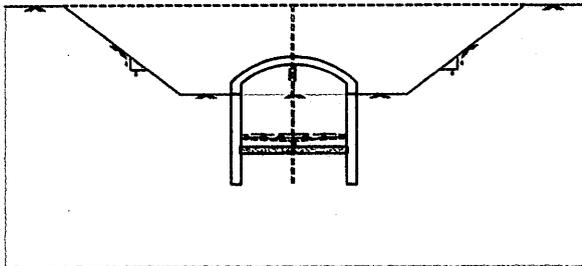


Fase 4.
Excavación hasta apoyo losa de fondo.

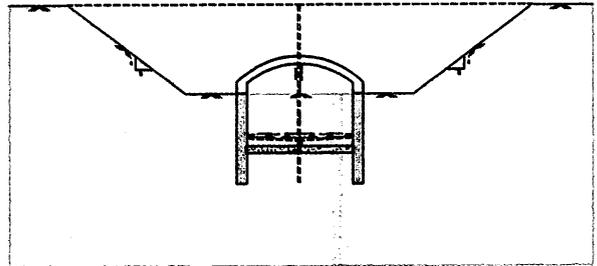


Fase 5.
Hormigonado losa de fondo.
Relleno sobre cubierta y reposición urbanización.

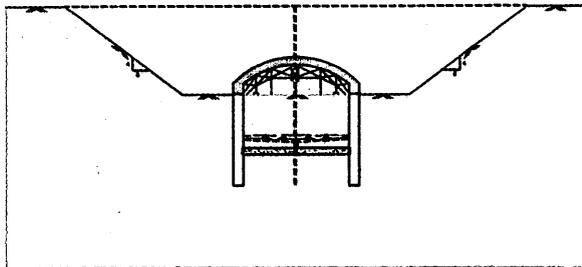
TÚNEL DE LÍNEA A CIELO ABIERTO. PROCESO CONSTRUCTIVO



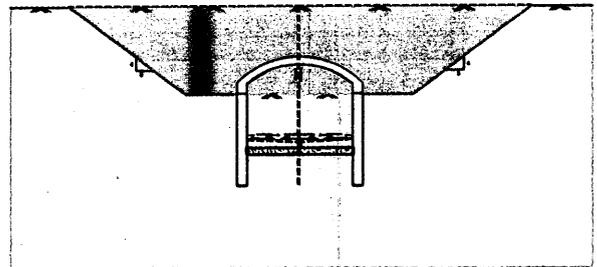
FASE 1.- PREEXCAVACION



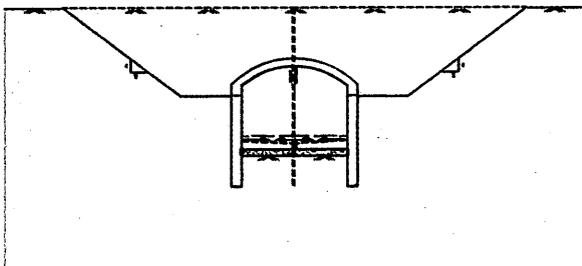
FASE 2.- REALIZACION PANTALLAS Y VIGA DE ATADO



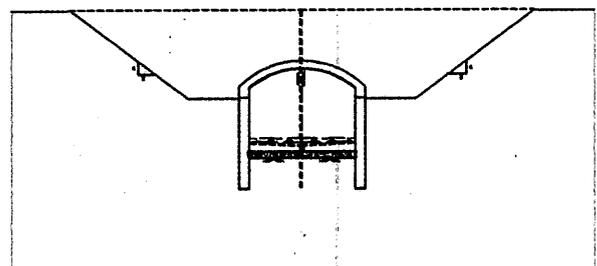
FASE 3.- HORMIGONADO CON CARRO DE BOVEDA



FASE 4.- RELLENO SOBRE BOVEDA Y URBANIZACION



FASE 5.- EXCAVACION HASTA SOLERA



FASE 6.- HORMIGONADO LOSA DE FONDO

Se han previsto dos tipos de ejecución según la menor o mayor profundidad de la rasante.

En el primer caso se realiza una excavación en trinchera hasta la cabeza de pantallas, coincidente con el apoyo de la bóveda de cubierta. Esto presenta la ventaja de que los apoyos de la bóveda se realizan directamente sobre la cabeza de la pantalla sin transmisión de esfuerzos cortantes a través de conectores.

En el segundo caso es necesario colocar codales tras la excavación entre pantallas hasta la superficie del apoyo de la bóveda. Esta se hormigona con conectores a las pantallas, siendo estos los encargados de transmitir los esfuerzos cortantes debidos al peso de las tierras que se colocan encima de la bóveda.

La sección tiene pantallas de 60 cm. de espesor, bóveda de 60 cm. de espesor y contrabóveda de 50 cm. de espesor.

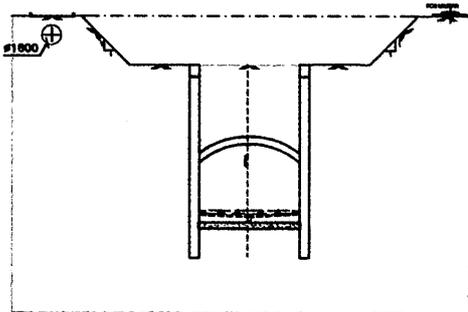
Estaciones

El proceso constructivo de las estaciones consiste en un recinto de pantallas de hormigón armado y pilas-pilote ejecutadas ambas desde la plataforma de trabajo en superficie.

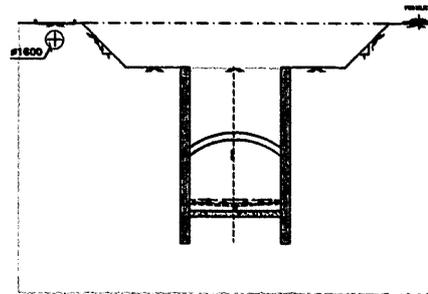
Tras el descabezado de pilotes y pantallas se excava en voladizo hasta el nivel de losa del vestíbulo, que se hormigona contra el terreno, y seguidamente se cubre la estación mediante una losa constituida por vigas prefabricadas. Por último se realiza la excavación bajo ella hasta llegar al nivel contrabóveda.

La estación Alcorcón 2 se cubre mediante una losa posteada ejecutada "in situ" que se hormigona con carácter previo a la excavación para limitar las deformaciones.

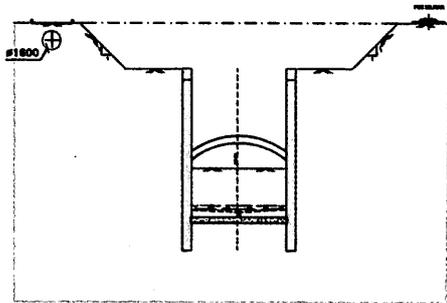
TÚNEL DE LÍNEA A CIELO ABIERTO. PROCESO CONSTRUCTIVO



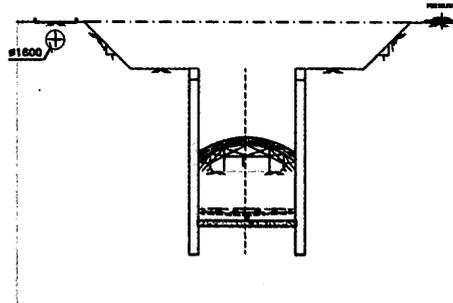
FASE 1.- PREEXCAVACION



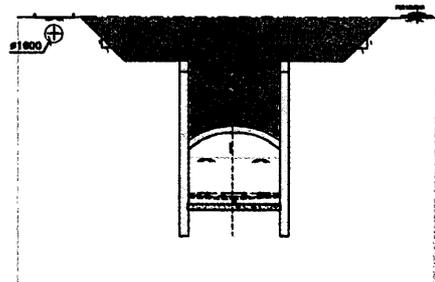
FASE 2.- REALIZACION PANTALLAS Y VIGA DE ATADO



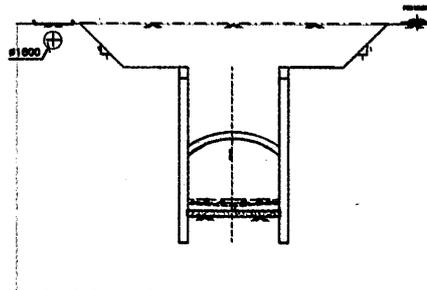
FASE 3.- EXCAVACION ENTRE PANTALLAS HASTA COTA APOYO CARRO



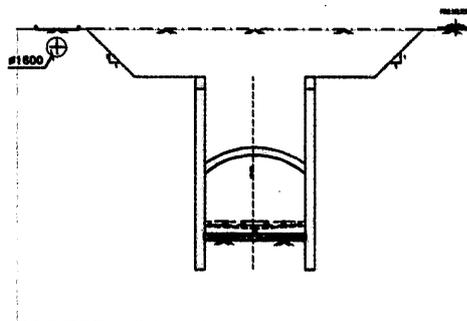
FASE 4.- HORMIGONADO CON CARRO DE BOVEDA



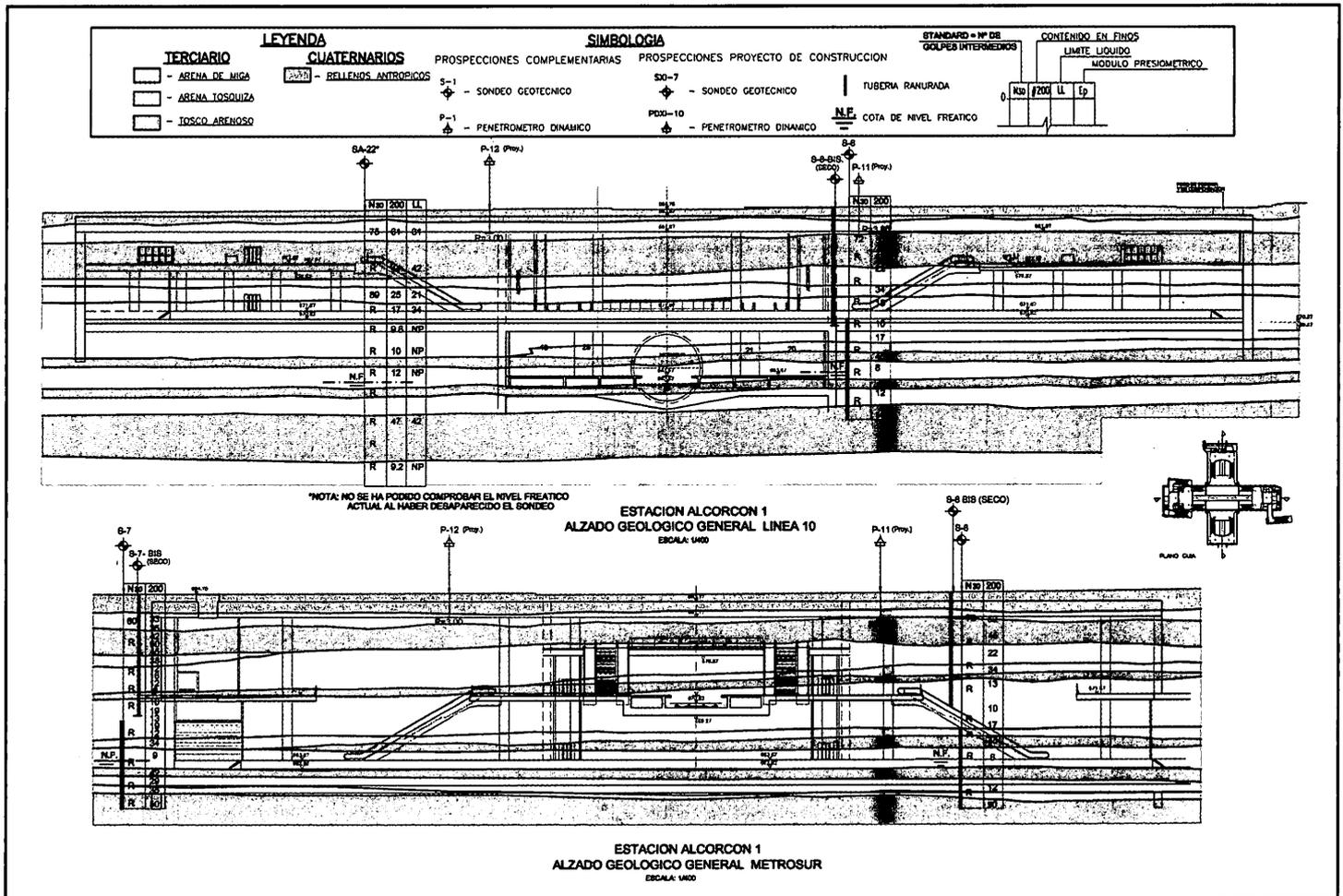
FASE 5.- RELLENO SOBRE BOVEDA Y URBANIZACION



FASE 6.- RESTO DE EXCAVACION ENTRE PANTALLAS



FASE 7.- HORMIGONADO SOLERA



Estación Alcorcón 1. Alzado geológico general.

Con este proceso constructivo las estaciones estarán terminadas, en lo que se refiere a vaciado y soleras, a la llegada de la tuneladora a las mismas, salvo la estación Alcorcón-1, que dada su complejidad y proximidad al P.K. donde comienza a excavar la tuneladora, no estará concluida su estructura básica para el paso de ella, por lo que se construirá el túnel en la estación, para proceder posteriormente a su demolición en la fase de vaciado de la estación.

6. GEOTECNIA

El Estudio Geotécnico realizado para este tramo ha permitido definir los tipos de materiales que se encuentran a lo largo de la traza y zonas adyacentes, que son los típicos de la facies de Madrid: arenas de miga, arenas tosquizas y toscos. ■

FICHA TÉCNICA

PROMOTOR

CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS,
URBANISMO Y TRANSPORTES.

AUTOR DEL PROYECTO
DIRECCIÓN DE LAS OBRAS

COMUNIDAD AUTÓNOMA DE MADRID
PROSER-TYPSA-INTECSA
Manuel Arnáiz Ronda,
Jefe del Servicio de Ampliación de Metro
Manuel Herrera Álvarez,
Ingeniero de Caminos
Valentín Rodríguez Rodríguez,
Ingeniero Técnico de Obras Públicas

ASESOR GEOTÉCNICO

Carlos Oteo Mazo,
Profesor de la E.T.S.I.C.C.P. de Madrid
UTE ACS-VÍAS Y CONSTRUCCIONES:
Albert Domínguez Pollán, Gerente de la UTE
Juan Carlos Pinar, Jefe de Obra
Javier Velasco, Oficina Técnica

EMPRESAS CONSTRUCTORAS

ASISTENCIA TÉCNICA

PETISA: Eduardo Rico Isla, Ingeniero de Caminos
AEPO: Ángel Millán Requena, Ingeniero de Caminos
PROGEOTEC
CEMOSA
INTEMAC
37.655.515.514,-ptas.
30 MESES

CONTROL DE CALIDAD

PRESUPUESTO
PLAZO