

PROLONGACIÓN DE LA LÍNEA 4. TRAMO: ESPERANZA-PARQUE DE SANTA MARÍA

Marino Visiers Mirabet.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Dirección General de Infraestructuras del Transporte.

Consejería de OO.PP., Urbanismo y Transportes. Comunidad de Madrid.

RESUMEN

Se comenta en este artículo la Prolongación de la Línea 4 del Metro de Madrid, principalmente en lo referente a características de trazado y métodos de construcción de túnel y estaciones. También se hace referencia a la forma con la que se ha pasado en túnel por algún punto singular (geotécnica poco favorable), y la manera de construcción de algunos pilotes "in situ" con gran responsabilidad estructural. Se hace referencia al estudio de auscultación.

ABSTRACT

Describing the work involved in the prolongation of Line 4 of the Madrid metro, the article mentions some geotechnical problems met with in the project, and the in situ construction of piles. Auscultation studies are mentioned.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA OBRA

Las obras que se describen en este artículo corresponden a la prolongación de la línea 4 desde la actual estación terminal de Esperanza hacia el barrio de Hortaleza en 3.594,5 metros (Fig.1a y 1b). Dicha longitud se desglosa según el avance del trazado en:

▼ 160 m. de nuevo túnel. En este tramo la nueva obra interfiere con el fondo de saco existente de la estación de Esperanza que, con un radio en su parte final de 152 m. limitaría la explotación a una velocidad máxima de 35 Km/h. Para evitar tal inconveniente, se ha diseñado un nuevo trazado con un radio mayor, 400m, y una pendiente superior, 3,85% frente a la existente del 1,0%, para poder aumentar el recubrimiento de suelo sobre túnel en el tramo inicial de la excavación con escudo.

En los primeros 112 m. el nuevo trazado coincide en planta con el túnel existente, pero no así en alzado por lo que se prolongan los hastiales y se crea una nueva contrabóveda. En los 48 m. restantes la interferencia se produce en planta y alzado, por lo que no se puede aprovechar la sección de túnel existente, rellenándose éste con mortero para poder excavar en la zona de interferencia por el método belga, parte de la sección en suelo, parte en un tramo de la sección de túnel existente y el resto en el mortero de relleno.

▼ 50 m. de pozo de ataque para el escudo (Fig.2), que perforará el túnel hasta el extremo de la obra, para extracción de tierras y suministro de dovelas al frente. Es un recinto entre pantallas de 50 m de largo por 21m de ancho con una profundidad máxima de 16 m. Centrado en el fondo del mismo se crea un foso longitudinal de 5 m. de ancho por 5 m. de largo al que se vuelca desde vagonetas el

Figura 1a.

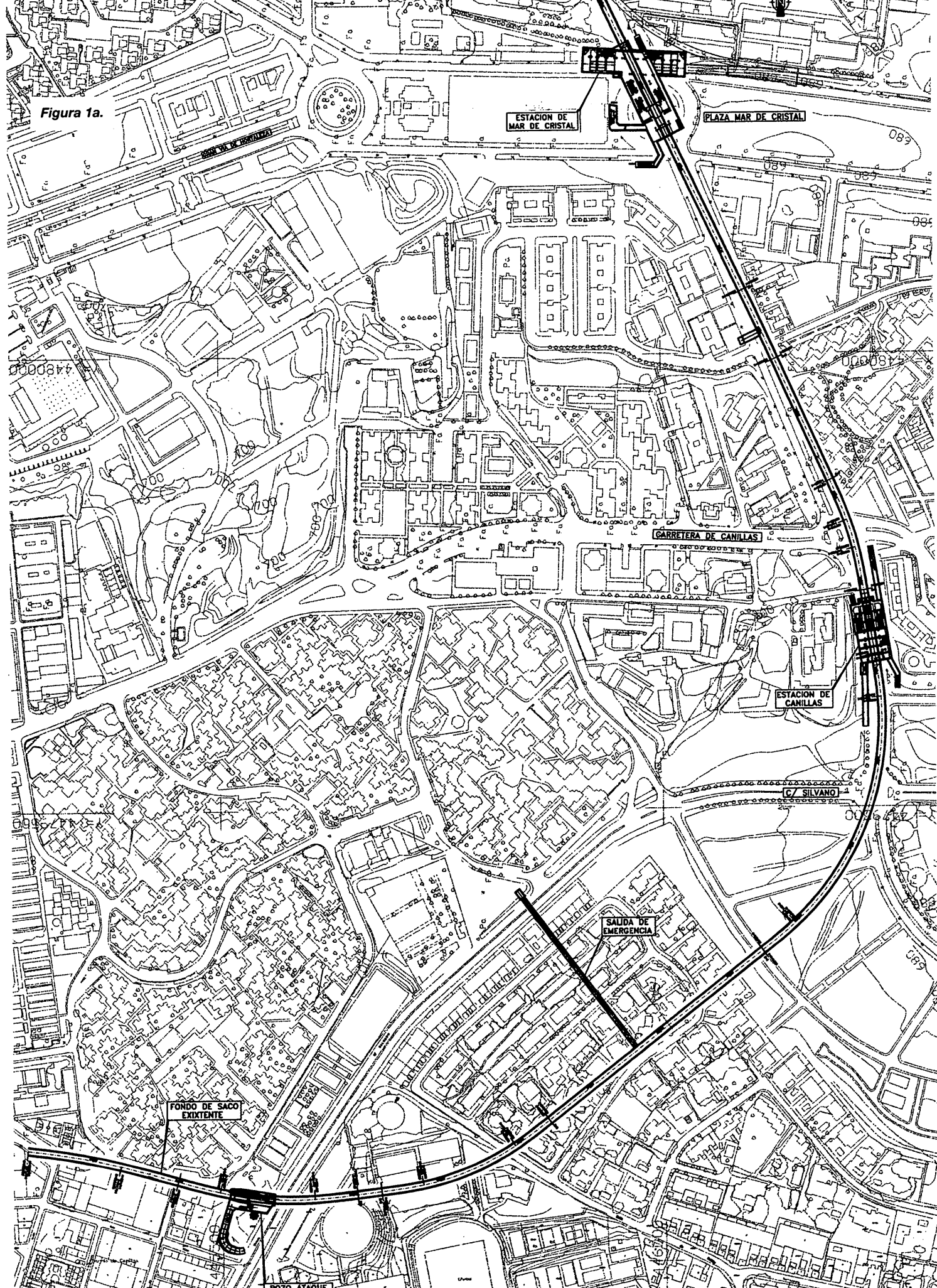




Figura 1b.

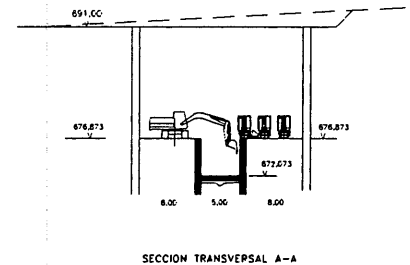
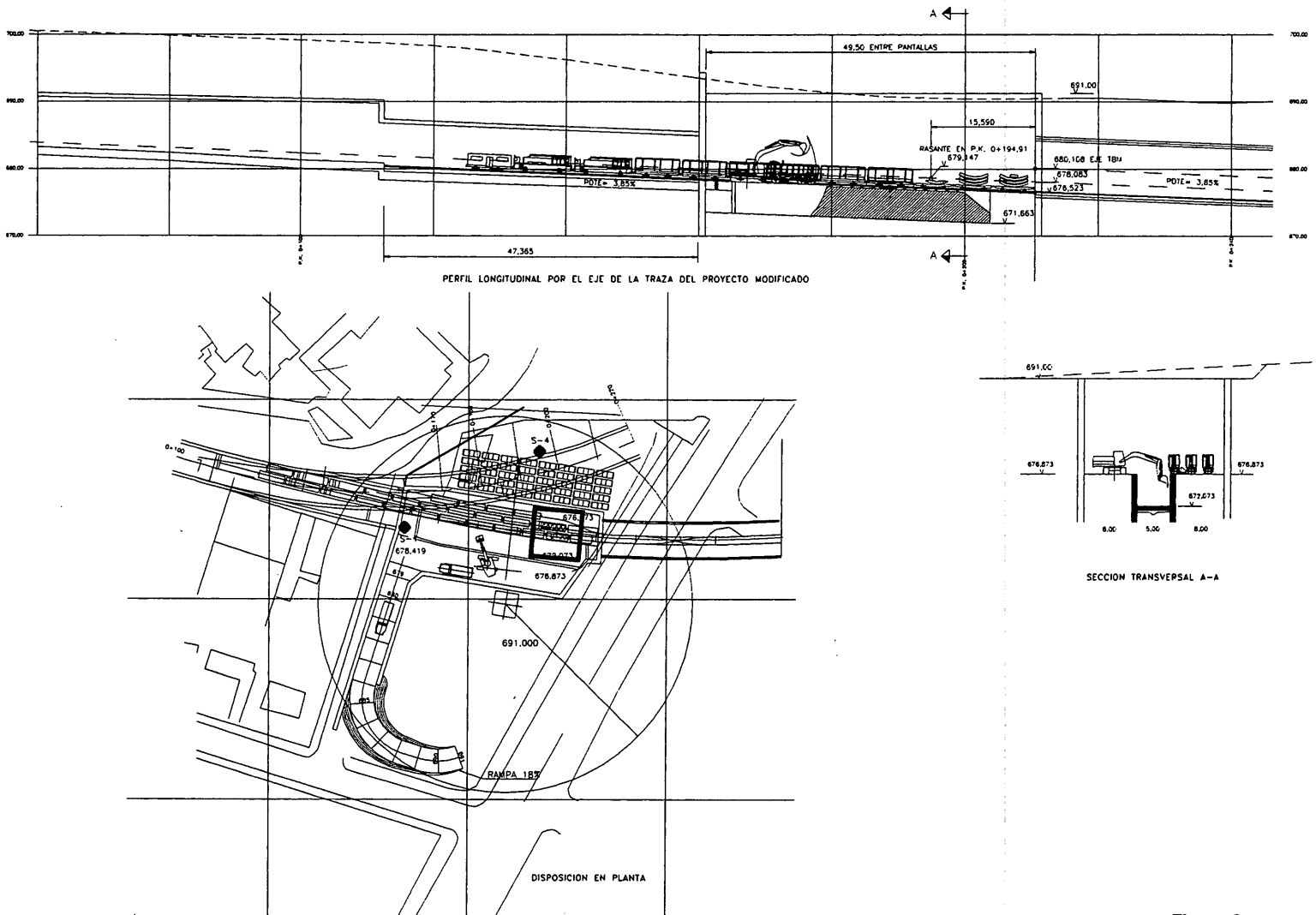


Figura 2.

suelo perforado en el frente y desde el que se cargan camiones mediante retroexcavadora, que a lo largo de una rampa con pendiente del 18% suben al nivel de calle. Una vez terminado el túnel perforado con escudo, en este tramo se construirá un falso túnel de hormigón armado que se cubrirá con tierras hasta la superficie original.

▽ 1.009 m. de túnel perforado con escudo de presión de tierras (EPB) y revestido con anillos conformados por dovelas prefabricadas de hormigón armado con 32 cm. de espesor. Diámetro interior 8,43 m. Sección de excavación 69 m². En este tramo el recubrimiento de suelo sobre clave del túnel varía entre 6 y 25 m.

▽ 66 m correspondientes a la Estación de Canillas (Fig.3). Recinto de 35 m. de ancho por 64 m. de largo materializado por pantallas perimetrales de hormigón armado y construido por el sistema ascendente-descendente. La luz libre correspon-

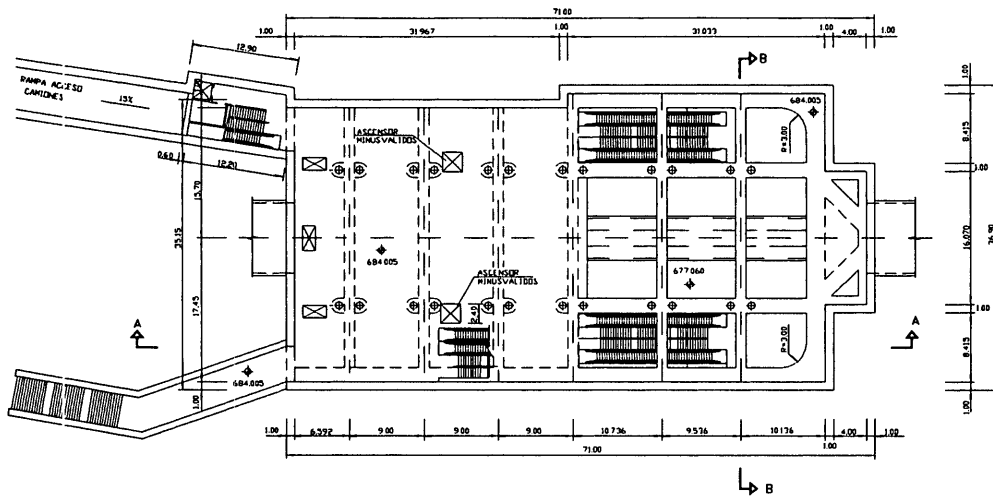
diente al ancho entre pantallas, 35 m, se parte mediante dos alineaciones de pilas-pilote en dos vanos laterales de 9,2 m. donde se alojan las escaleras de comunicación entre vestíbulo y andenes y en uno central, 16,6 m, para andenes y vías.

Altura de nivel medio de calle a nivel de vestíbulo: 10,7 m.
 Altura entre vestíbulo y andén: 7,0 m.

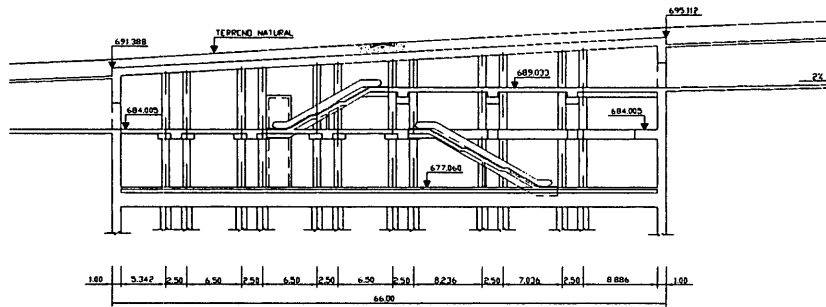
▼ 551 m. de túnel perforado con escudo de presión de tierras (EPB). En este tramo el recubrimiento sobre clave del túnel varía entre 6,5 y 17 m.

▼ 114 m. correspondientes a la Estación de Mar de Cristal (Fig.4). Recinto de 37 m. de ancho por 64 m. de largo materializado por pantallas perimetrales de hormigón armado y construido por el sistema ascendente-descendente. La luz libre correspondiente al ancho entre pantallas, 37 m, se parte mediante

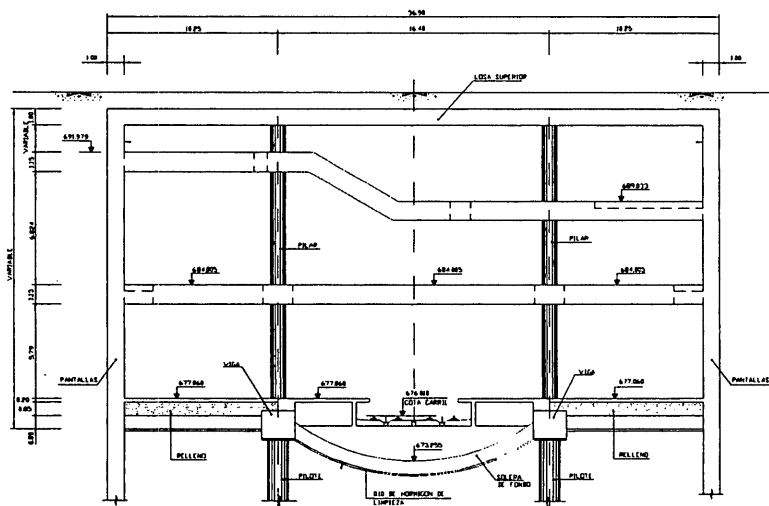
Figura 3.



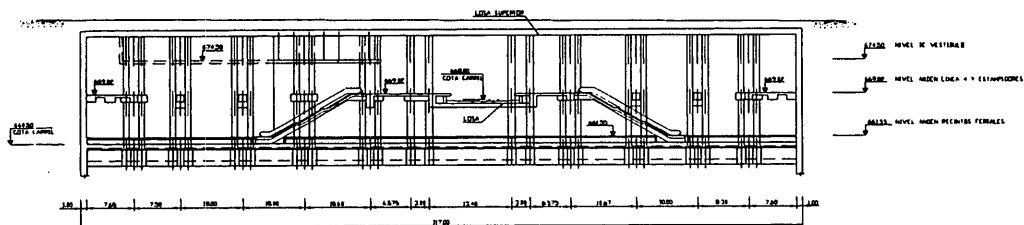
PLANTA INTERMEDIA COTA 684.005



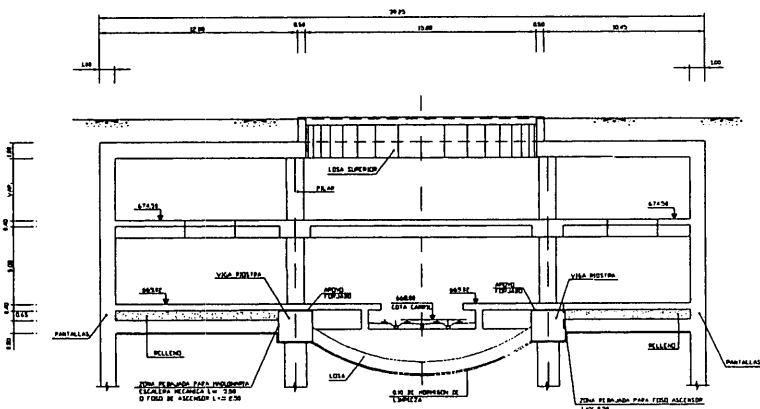
SECCION A-A



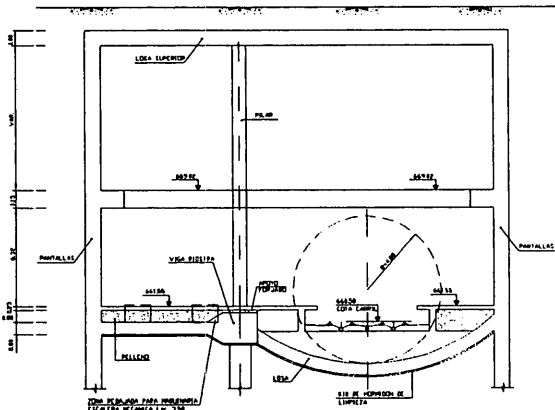
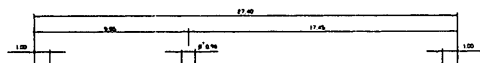
SECCION B-B



SECCION 2-2



SECCION 3-3



SECCION 4-4

Figura 4b.

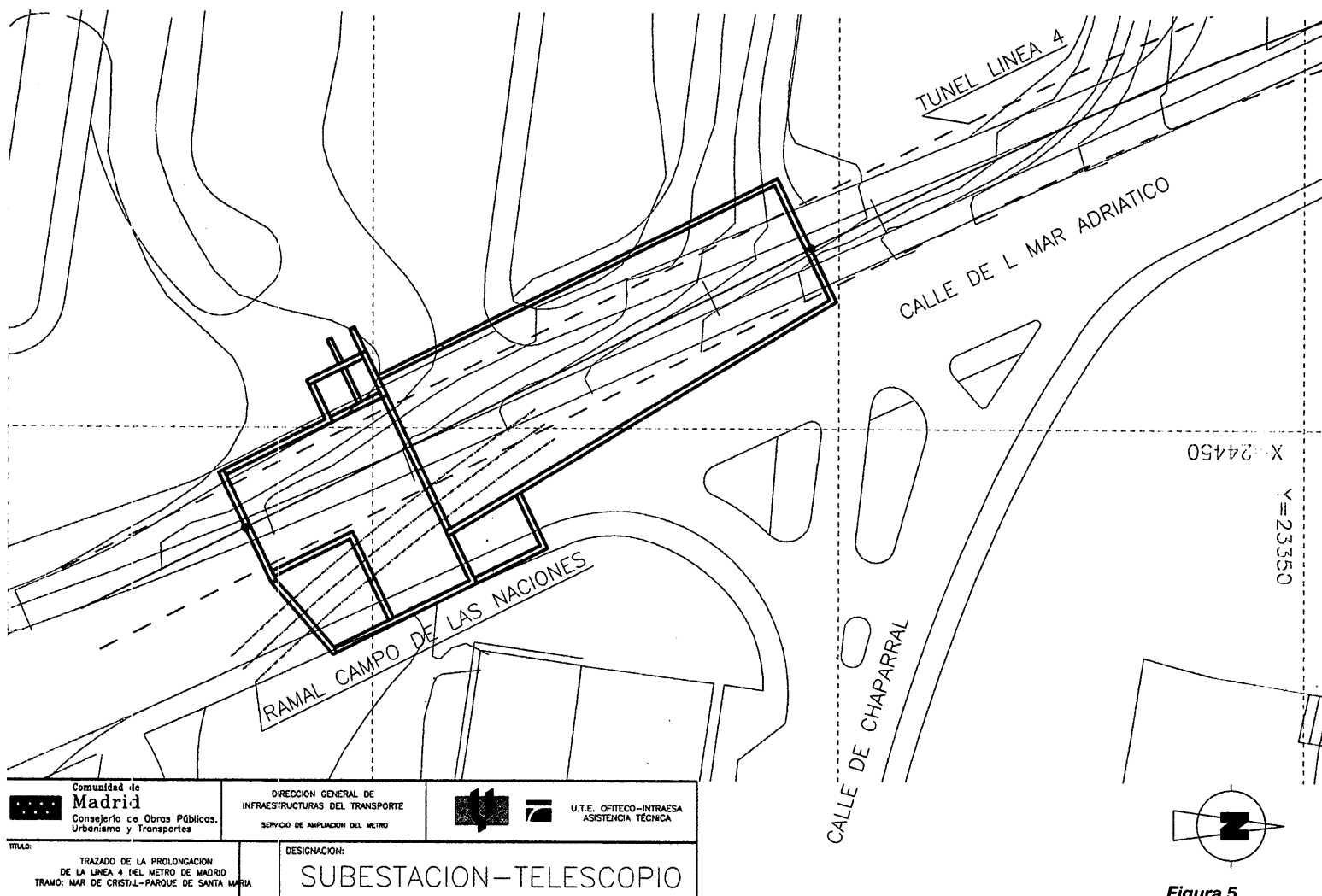


Figura 5.

dos alineaciones de pilas-pilote en dos vanos laterales de 9 y 11,4 m. donde se alojan las escaleras de comunicación entre vestíbulo y andenes y en uno central, 16,6 m, para andenes y vías. El citado recinto es parte de uno mayor en forma de "T", que integra las estaciones de línea 4 y del Ramal a Recintos FERIALES, pasando las vías de éste bajo las de línea 4.

Altura de nivel medio de calle a nivel de vestíbulo: 7,5 m.

Altura entre vestíbulo y andén: 5,5 m.

▼ 23 m. de túnel perforado con escudo de presión de tierras (EPB) entre la estación de Mar de Cristal y el telescopio de comunicación entre línea 4 y el Ramal a Recintos FERIALES. En este tramo el recubrimiento medio sobre clave del túnel es de unos 10,5 m.

▼ 67 m. de telescopio (Fig.5) que propicia la conexión del ramal al Campo de las Naciones y la línea 4. La estructura, de planta sensiblemente trapezoidal, se construye en recinto apantallado que delimita todo el perímetro con profundidades de pan-

talla que alcanzan los 21 m. En la parte superior del mismo se ha proyectado una subestación eléctrica.

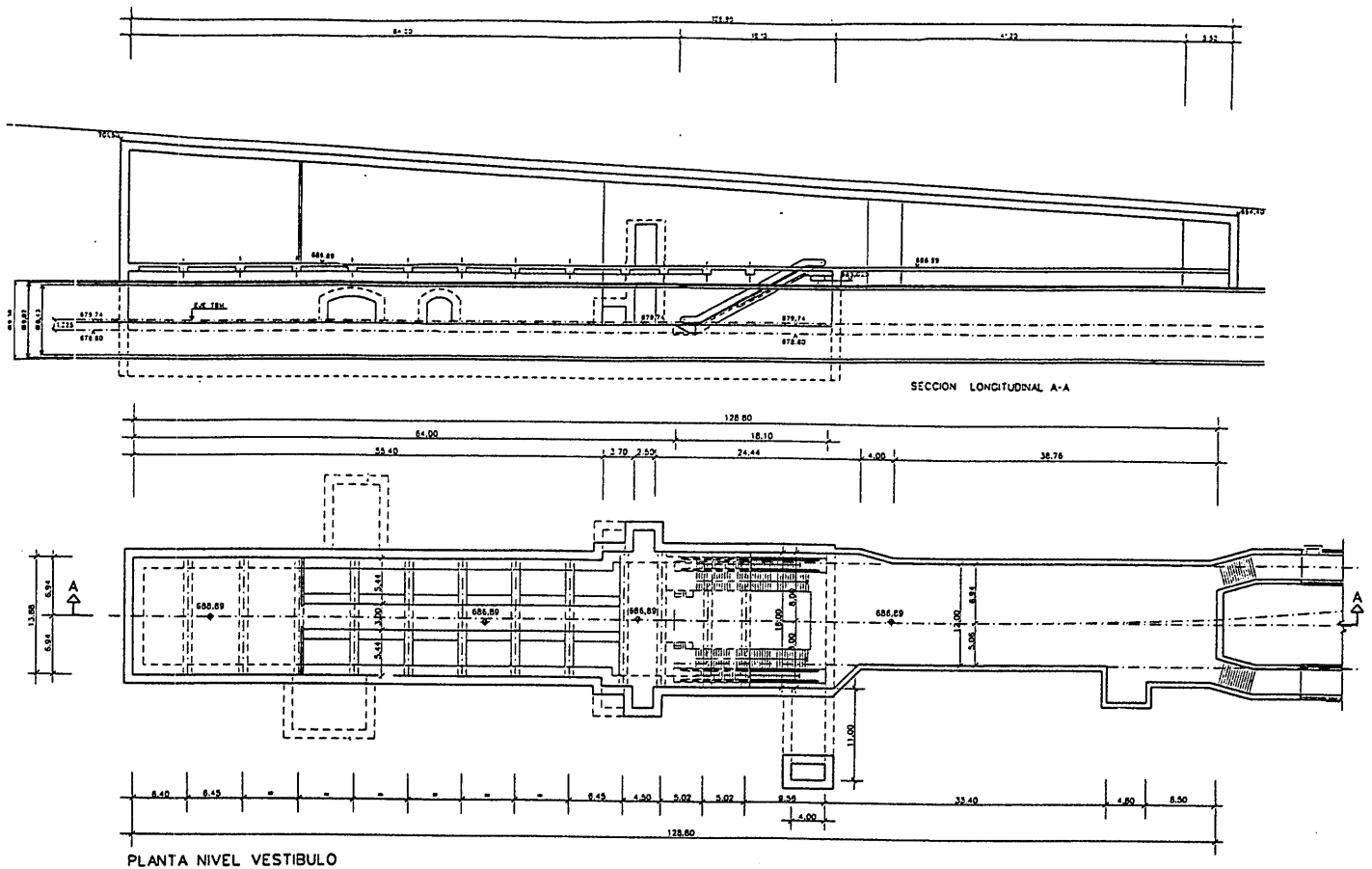
▼ 243 m. de túnel perforado con escudo de presión de tierras (EPB), que presenta recubrimientos sobre clave entre 10 m. y 18 m.

▼ 130 m., correspondientes a la estación de San Lorenzo (Fig.6), que ofrece una estructura alargada, debido a la estrechez de la calle donde se localiza, la cual obliga a una anchura libre máxima, entre trasdós de pantallas de 16 m. Al igual que en el caso de la subestación, la solución constructiva responde al esquema de recinto apantallado, con profundidades de pantalla que rondan los 30 m.

Altura de nivel medio de calle a nivel de vestíbulo: 9,0 m.

Altura entre vestíbulo y andén: 7,0 m.

▼ 566 m. de túnel perforado, con escudo de presión de tierras (EPB), que tiene recubrimientos sobre clave entre 9 m. y 16 m.



<p>Comunidad de Madrid Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes</p>	DIRECCIÓN GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DEL TRANSPORTE SERVICIO DE AMPLIACIÓN DEL METRO		<p>U.T.E. OFITECO-INTRAESA ASISTENCIA TÉCNICA</p>
	TÍTULO: TRAZADO DE LA PROLONGACIÓN DE LA LÍNEA 4 DEL METRO DE MADRID TRAMO: MAR DE CRISTAL-PARQUE DE SANTA MARÍA	FECHA:	

Figura 6.

▼ 64 m. correspondientes a la estación Parque de Santa María (Fig.7), que se construye en recinto apantallado, disponiendo en este caso, de una luz entre pantallas, de 22 m. Se trata de una estación más compacta que la de San Lorenzo, pero de mayor profundidad.

Altura de nivel medio de calle a nivel de vestíbulo: 8,0 m.
Altura entre vestíbulo y andén: 14,0 m.

▼ 516 m. de túnel perforado, con escudo de presión de tierras (EPB), con recubrimientos en clave entre 12 y 18 m., que conducen al final del tramo, en donde se sitúa (fuera del punto final) la estructura de salida de los equipos, habiendo reservado para esta función un área rectangular de 20 m. de longitud por 15 m. de anchura.

Además, se construirán las siguientes obras complementarias:

▼ Salida de emergencia.

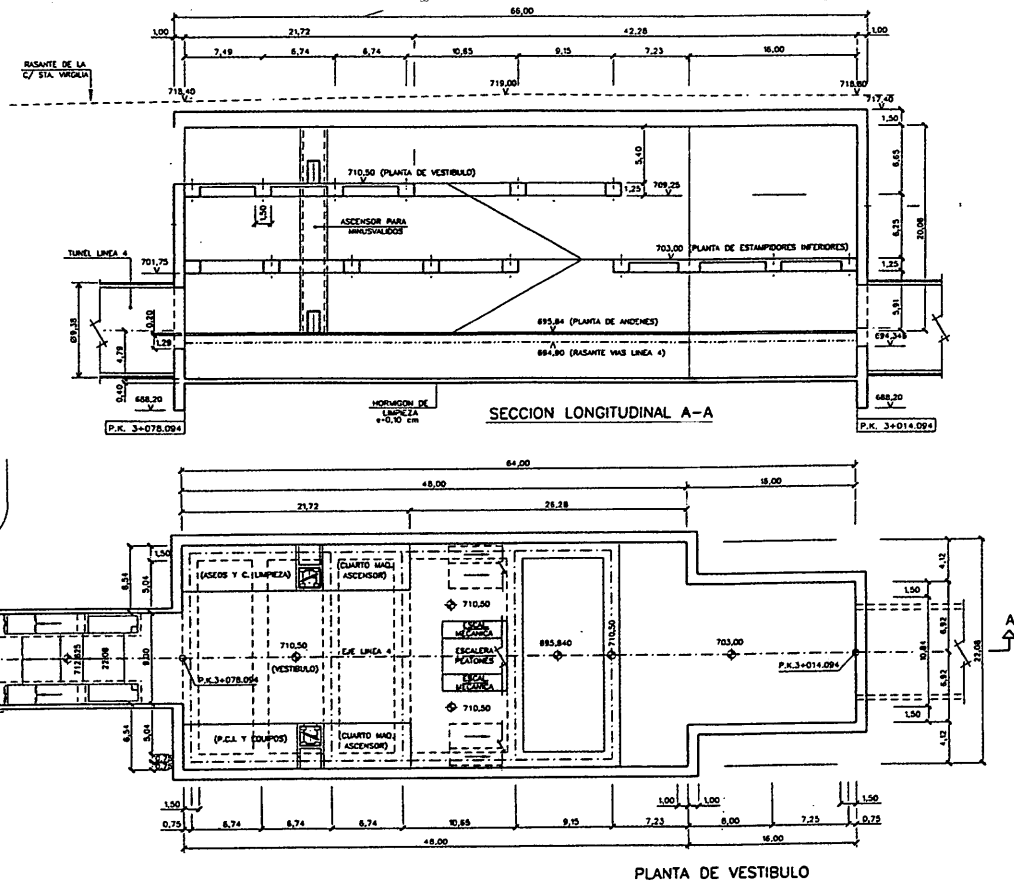
Dada la gran longitud de la primera interestación, es necesario construir una salida de emergencia lo más centrada posible en dicho tramo. Se materializará con una galería de 210 m. de longitud y 3,6 m. de ancho que comunica con un pozo realizado entre pantallas de 16,5 m. de altura por el que se alcanza el nivel de calle mediante unas escaleras metálicas.

▼ Pozos de ventilación.

Centrados en las cuatro interestaciones se construirán sendos pozos de ventilación de sección rectangular 8x4 m² con alturas variables entre 18 y 23 m. Se comunican con el túnel mediante una galería de unos 12 m. de longitud para alojamiento de ventiladores y silenciadores.

▼ Pozo de bombas.

Bajo el primer pozo de ventilación, junto al punto bajo del trazado entre Esperanza y Canillas, se constituye un depósito que



<p>Comunidad de Madrid Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes</p>	DIRECCION GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS DEL TRANSPORTE SERVICIO DE AMPLIACION DEL METRO		<p>U.T.E. OFITECO-INTRAESA ASISTENCIA TÉCNICA</p>
	TITULO: TRAZADO DE LA PROLONGACION DE LA LINEA 4 DEL METRO DE MADRID TRAMO: MAR DE CRISTAL-PARQUE DE SANTA MARIA	FECHA:	

Figura 7.

materializa el pozo de bombeo de las aguas de filtración captadas por el túnel, desde donde se envían a la red de saneamiento. En la estación de Mar de Cristal, situada en otro punto de cota mínima relativa se ubicará un segundo pozo de bombas.

2. TRAZADO

Parámetros de definición de trazado

En planta:

- Radio mínimo: 250 m
- Rampa de peralte normal: 2 mm/m
- Rampa de peralte excepcional: 3mm/m
- Máxima aceleración transversal sin compensar: 0.65 m/s²
- Sobreceleración máxima: 0.20 m/s³
- Peralte máximo: 150 mm
- Velocidad máxima: 70 Km/h

En alzado:

- Máxima pendiente normal: 4%
- Máxima pendiente excepcional: 4,5%
- Kv mínimo: 1.500
- Longitud de acuerdo mínima: 40m

3. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

3.1. FONDO DE SACO

Donde el trazado en planta coincide con el del túnel existente, P.K. 0+000 a P.K. 0+112, pero la nueva rasante es más baja que la disponible:

- 1.- Demolición de la contrabóveda existente.
- 2.- Prolongación por bataches de los hastiales existentes, descalzando dos semihastiales.
- 3.- Excavación del resto de sección y hormigonado de la nueva contrabóveda.

El sistema de ejecución es análogo al clásico método belga, en el que la sección existente de bóveda más hastial sería equivalente a la sección de avance en aquel.



Montaje de la cabeza del escudo y emboque del escudo desde el pozo de ataque.

Donde el trazado no coincide ni en planta ni en alzado (Fig.8):

- 1.- Relleno con mortero de la sección existente.
- 2.- Excavación por el método belga en terreno natural, sección de hormigón del túnel existente y mortero de relleno del túnel.

3.2. TÚNEL PERFORADO CON ESCUDO (Fig.9)

Ya comentado en otros artículos.

3.3. ESTACIONES

Dado el espacio que ocupa en planta una estación, para minimizar el tiempo de ocupación en superficie, las estaciones se ejecutarán por el procedimiento ascendente-descendente (Fig.10):

- 1.- Desvío de servicios y tráfico.

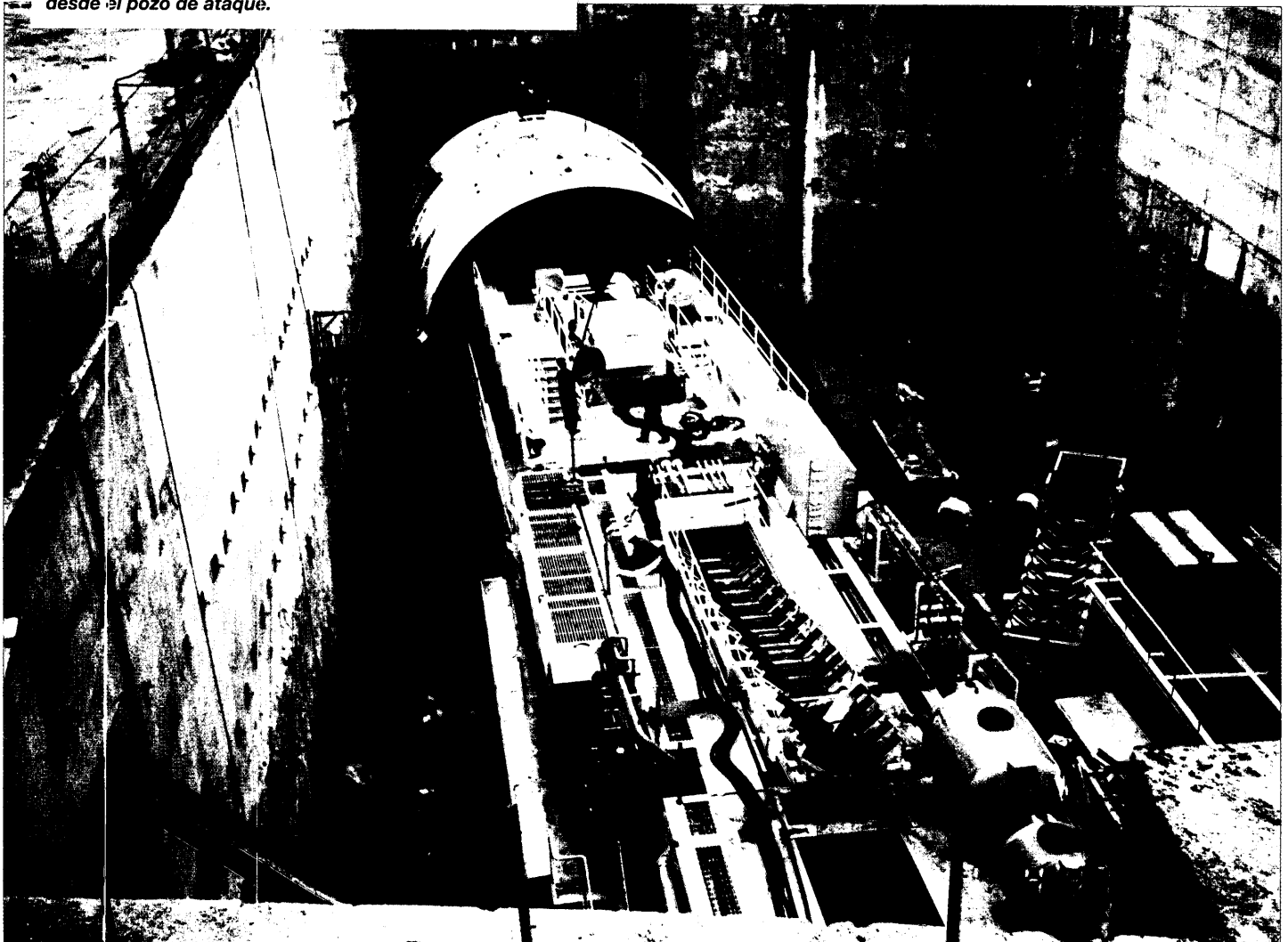
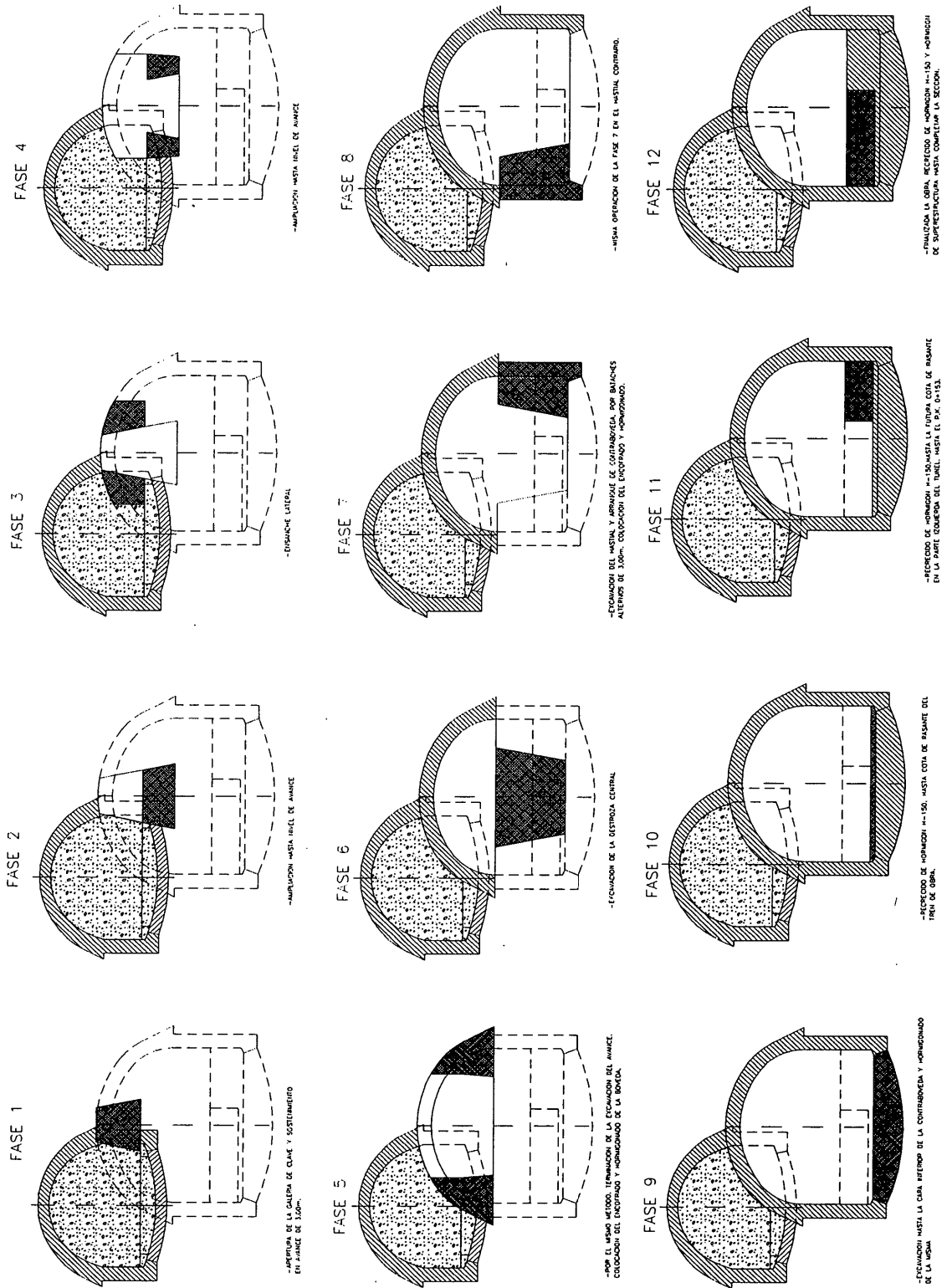
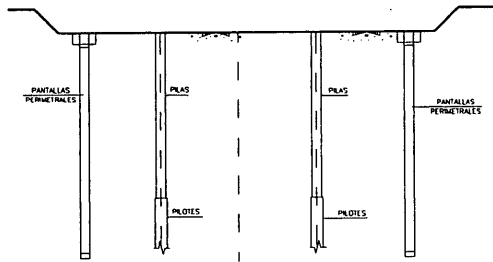


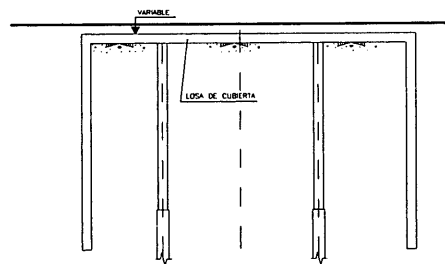
Figura 8.



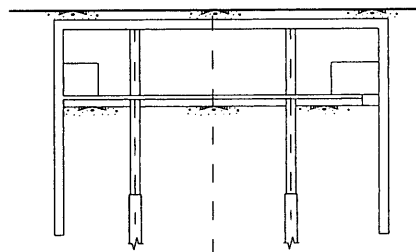
SISTEMA EJECUCION ESTACIONES



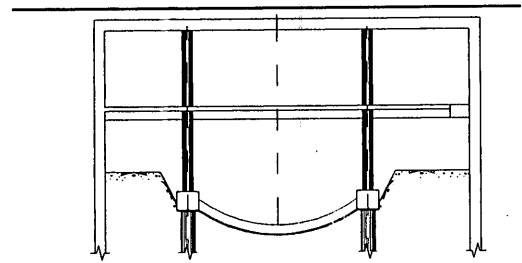
FASE 1.- DESVIOS DE SERVICIOS Y TRAFICO
FASE 2.- EXCAVACION A PLATAFORMA DE TRABAJO. EJECUCION PANTALLAS Y PILAS-PILOTE



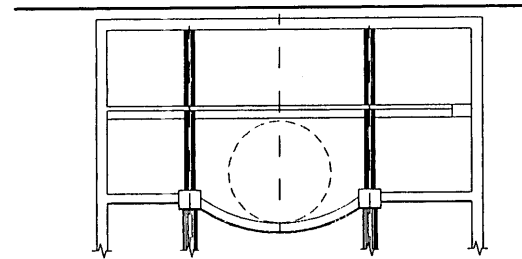
FASE 3.- DEMOLICION MUROS-GUÍA Y SANEO CORONACION PANTALLAS Y PILAS-PILOTE
FASE 4.- HORMIGONADO LOSA DE CUBIERTA



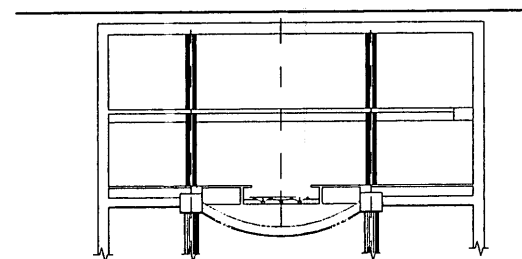
FASE 5.- EXCAVACION RAMPA Y VACIADO HASTA COTA DE VESTIBULO
FASE 6.- EJECUCION DE LOSA Y ESTAMPIDORES A NIVEL VESTIBULO



FASE 7.- VACIADO HASTA CARA INFERIOR DE VIGAS RIOSTRA Y CONTRABOVEDA DEJANDO BERMAS PERIMETRALES DE 5m. DE ANCHO Y 3m. DE ALTURA. EJECUCION VIGAS RIOSTRA Y CONTRABOVEDA.



FASE 8.- RETIRADA DE LA BERMA PERIMETRAL POR BATACHES DE 5m. DE LONGITUD. EJECUCION DE LA SOLERA ENTRE PILAS Y PANTALLAS.
FASE 9.- PASO DEL ESCUDO A LO LARGO DE LA ESTACION



UNA VEZ PASA EL ESCUDO, RELLENO DE HORMIGON, SOBRE CONTRABOVEDA Y EJECUCION DE ANDENES

Figura 10.

2.- Excavación hasta plataforma de trabajo, ejecución de muros-guía y realización de las pantallas. Ejecución simultánea de las pilas-pilote (Fig.11).

3.- Demolición de los muros-guía y saneo de la coronación de las pantallas y pilas-pilote.

4.- Relleno compactado hasta unos centímetros bajo cota inferior de losa de cubierta. Extendido y nivelado de mortero de cemento. Apoyo sobre éste del encofrado de fondo de losa,

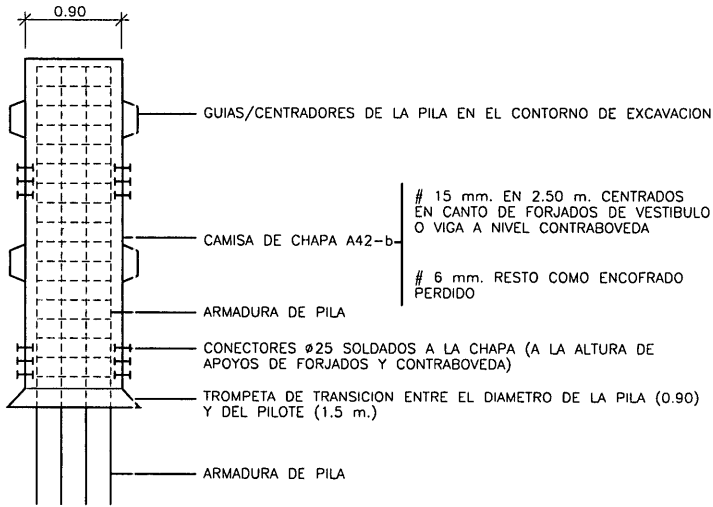
contrachapado con ranuras alineadas simulando juntas de machihembrado. Hormigonado de la losa de cubierta.

5.- Excavación de la rampa entre pantallas para acceso al vaciado de tierras de la estación y vaciado hasta cota de vestíbulo.

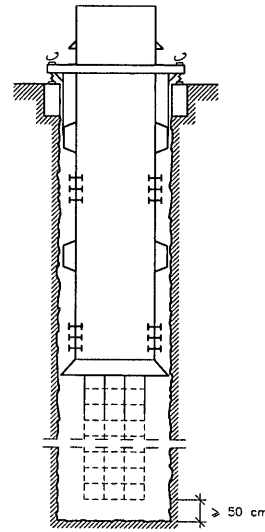
6.- Ejecución de la losa y estampidores a nivel de vestíbulo. El apoyo en las pantallas se materializa mediante pasadores de acero corrugado Ø25 anclados con resina.

FASE 1

PREPARACION EN TALLER DE LA ARMADURA DE LA PILA Y LA CAMISA DE CHAPA (ENCOFRADO Y RIGIDIZACION DE APOYOS DE FORJADOS)

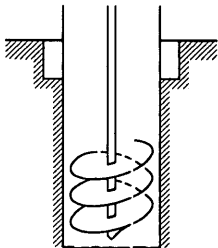


FASE 5



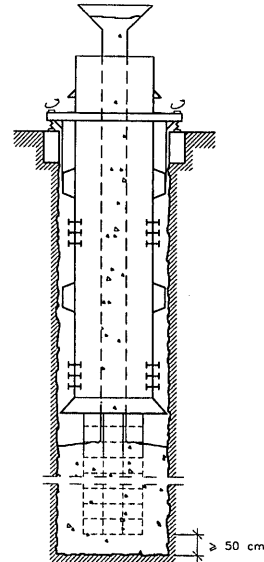
- SUSPENSION DEL GRUPO PILA-PILOTE HASTA SU POSICION DEFINITIVA
- CENTRADO MEDIANTE PERFILES UPN CON ALOJAMIENTOS PREDEFINIDOS EN EL CENTRADOR PARA BUSCAR LA POSICION DE PROYECTO
- COMPROBACION Y, EN SU CASO CORRECCION DE LA VERTICALIDAD ACTUANDO SOBRE LAS PATAS DEL CENTRADOR

FASE 2



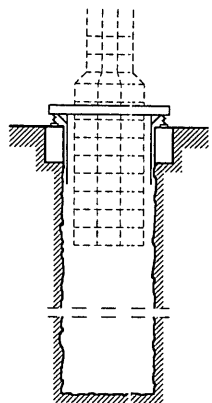
- EJECUCION MURO-GUIA FORMANDO UN CUADRADO EN EL QUE SE INSCRIBE LA SECCION DEL PILOTE
- EXCAVACION CON HELICE Y CAMISA RECUPERABLE HASTA FONDO PILA
- EXCAVACION CON CAZO HASTA FONDO PILOTE

FASE 6



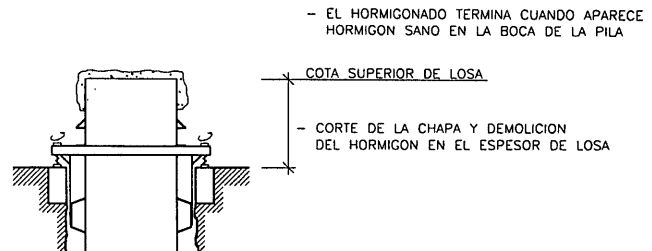
- COLOCACION DE LA TROMPA DE HORMIGONADO INICIO DEL MISMO
- CUANDO EL HORMIGONADO ALCANZA 1 A 2 m. EN EL INTERIOR DE LA PILA, RELLENO DE GRAVA DEL ESPACIO ENTRE CONTORNO DE EXCAVACION Y CHAPA DE PILA

FASE 3



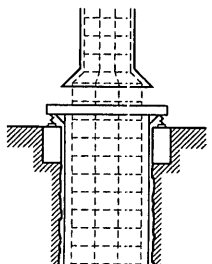
- COLCCACION DEL CENTRADOR DE CABEZA
- SUSPENSION ARMADURA DEL PILOTE

FASE 7



- EL HORMIGONADO TERMINA CUANDO APARECE HORMIGON SANO EN LA BOCA DE LA PILA

FASE 4



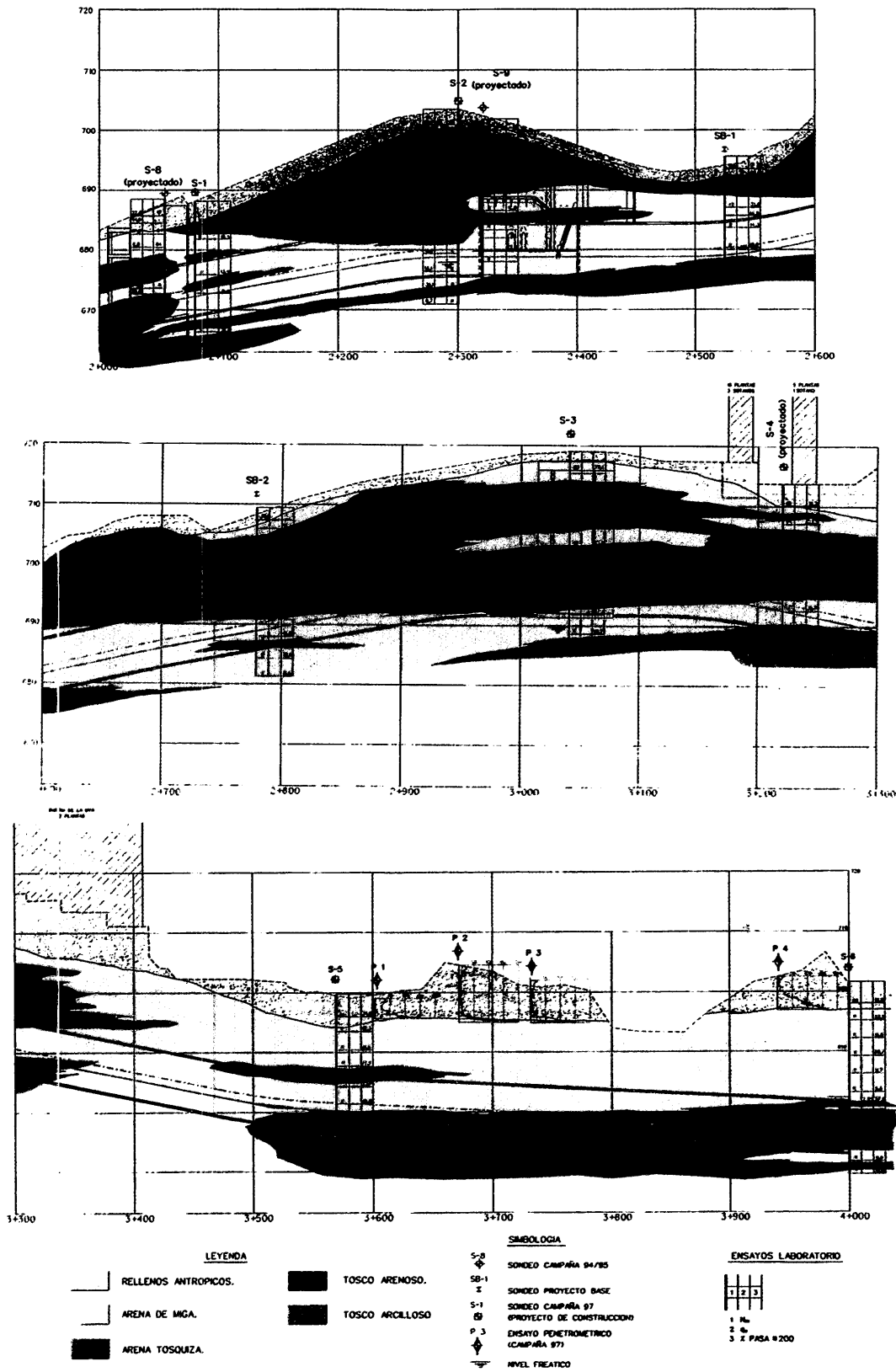
- UNION CON LIBERTAD DE GIRO ENTRE ARMADURAS DE PILA Y DE PILOTE MEDIANTE CABLES AMARRADOS CON PERRILLOS ENTRE CERCO DE PILA Y DE PILOTE

VALORES MEDIOS POR PILA-PILOTE

ALTURA MEDIA PILA $\phi 90$: 18.5 m.	
ALTURA MEDIA PILOTE $\phi 1.50$: 16.0 m.	
ACERO AEH-500	PILA: 2700 KG.
	PILOTE: 2700 KG.
ACERO A42-b EN PILAS:	4080 KG.
HORMIGON H-300	PILAS: 11.77 M3
	PILOTE: 28.80 M3

Figura 11.

Figura 12b.



7.- Rebaje de la rampa de extracción de tierras y vaciado hasta cara inferior de vigas riostra de las pilas-pilote y contrabóveda, dejando adosadas a las pantallas sendas bermas perimetrales de 5m. de ancho en coronación y 3 m. de altura. Ejecución de las vigas riostra y de la contrabóveda.

8.- Retirada de la berma perimetral por bataches de 5 m. de longitud, vaciando hasta cota inferior de solera de fondo entre pilas-pilote y pantallas. Ejecución de la solera.

9.- Paso del escudo a lo largo de la estación.

Los acabados de arquitectura de la estación se irán realizando conforme la ejecución de la estructura lo vaya permitiendo.

3.4. GALERÍA DE EMERGENCIA

- 1.- Ejecución de las pantallas del pozo.
- 2.- Excavación hasta el fondo del pozo simultaneada con la colocación de puntales metálicos que servirán para el apoyo de las escaleras.
- 3.- Ejecución de la galería por el método belga.
- 4.- Una vez ha pasado el escudo por el enteste de la galería, sustitución en éste de las dovelas afectadas por un marco metálico.

3.5. POZOS DE VENTILACIÓN

- 1.- Excavación y hormigonado de los marcos rectangulares que materializan el pozo en fases de 1,5 m. de altura.
- 2.- Ejecución de la galería por el método belga.
- 3.- Una vez ha pasado el escudo por el enteste de la galería, sustitución en éste de las dovelas afectadas por un marco metálico.

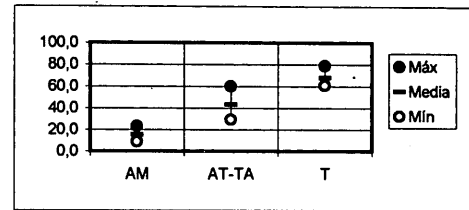
4. GEOTECNIA

4.1. SÍNTESIS GEOTÉCNICA

Los terrenos por los que atraviesa la nueva línea pertenecen a las formaciones típicas de Madrid. Así, observando el perfil geotécnico deducido de las prospecciones realizadas (Fig.12a y 12b) se puede apreciar que hasta el P.K. 0+300 aproximadamente, la clave del túnel se ubica en arenas de miga, penetrando a continuación en un potente estrato de toscos arenosos

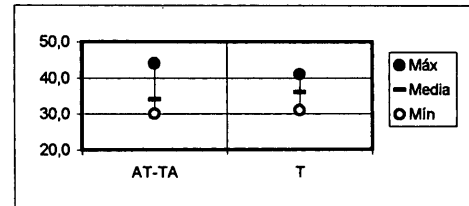
% de FINOS (pasa #200)

	Máx	Media	Min	N
AM	23,0	15,0	9,0	23
AT-TA	60,0	43,0	29,0	43
T	79,0	68,0	61,0	9



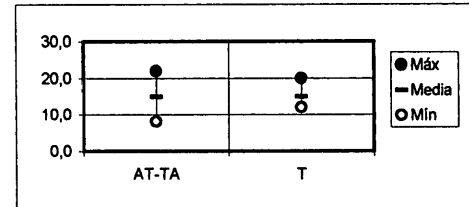
LÍMITE LÍQUIDO

	Máx	Media	Min	N
AT-TA	44,0	34,0	30,0	17
T	41,0	36,0	31,0	7



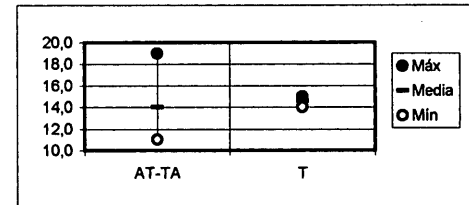
ÍNDICE DE PLASTICIDAD

	Máx	Media	Min	N
AT-TA	22,0	15,0	8,0	17
T	20,0	15,0	12,0	7



HUMEDAD NATURAL, %

	Máx	Media	Min	N
AT-TA	19,0	14,0	11,0	19
T	15,0	14,6	14,0	5



DENSIDAD SECA

	Máx	Media	Min	N
AT-TA	1,96	1,85	1,74	19
T	1,92	1,86	1,75	5

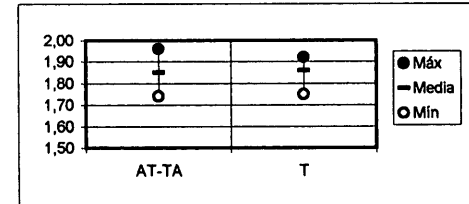


Figura 13.

que se prolongan con continuidad hasta el P.K.1+400. En este punto surge un nuevo cuerpo de arenas, sobre la cota +674 aproximadamente, que va emergiendo y aumentando progresivamente de espesor. Por encima de éstas, los estratos de toscos arenosos y arenas tosquizas que englobaban al túnel van acuíñándose poco a poco hasta llegar a desaparecer sobre el P.K. 1+700. A partir de aquí el túnel discurre hasta el final del trazado en arenas de miga. El sub-tramo "Mar de Cristal-Par-

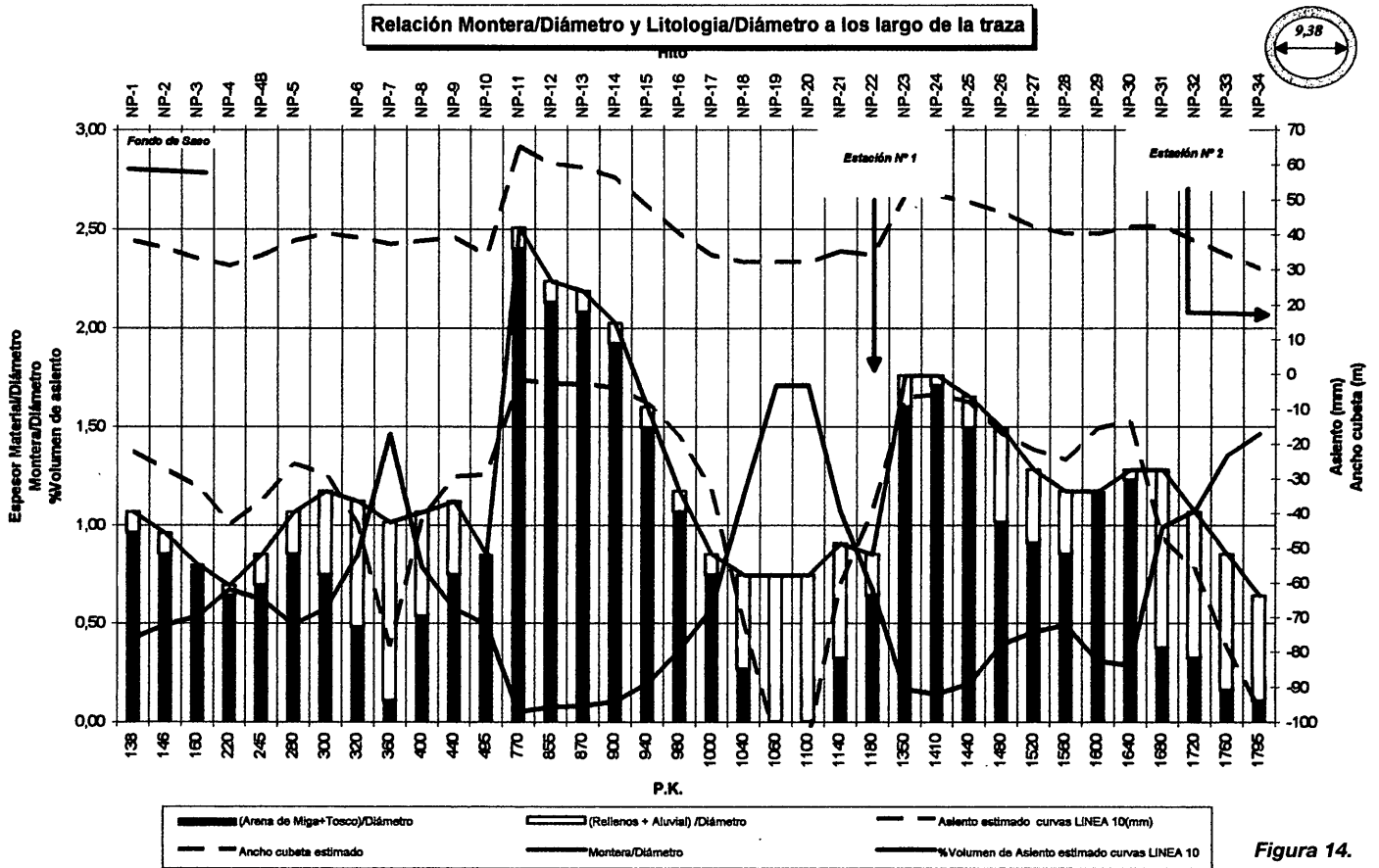


Figura 14.

que de Santa María”, que comienza, aproximadamente, en el P.K. 1+985, continúa inmerso en las arenas de miga, con inclusiones de arena tosquiza, hasta las inmediaciones del P.K. 2+800, en donde alcanza los niveles de tosco arenoso, con fuerte componente de tosco arcilloso en la ubicación de la Estación E-4, en la calle de Santa Virgilia (P.K. 3+100).

Sobrepasada la estación, el perfil desciende de nuevo a los niveles de arena de miga, acabando su desarrollo en este tipo de terreno (P.K. 3+600).

Como se comenta más adelante, existen dos tramos singulares en los que se corta con la clave del túnel rellenos sobre vaguadas correspondientes a antiguos arroyos.

En lo que respecta a las condiciones hidrogeológicas, es bien sabido que en el área de Madrid resulta frecuente encontrar niveles freáticos colgados debido al carácter errático y lenticular de los depósitos, en donde se alternan capas de permeabilidades notablemente diferentes. El nivel de agua detectado en los sondeos suele coincidir sensiblemente con la base de una capa permeable situada sobre otra de menor permeabilidad. En este sentido, dada la gran longitud del trazado que discurre por terrenos tosquizos, los niveles colgados se situarán salvo en alguna excepción bastante por encima del túnel, hecho que unido a la relativa impermeabilidad de los materiales

tosquizos hace prever, en general, unas condiciones favorables de ejecución.

En la Figura 13 se pueden observar los principales valores que permiten la caracterización geotécnica de las diferentes capas de suelos, obtenidos en los ensayos realizados sobre muestras extraídas durante la ejecución de los sondeos.

4.2. PROBLEMÁTICA GEOTÉCNICA RELEVANTE

Del análisis del corte geotécnico longitudinal se observan dos puntos de singular relevancia, donde al ser el recubrimiento de suelo sobre clave pequeño por los condicionantes de trazado, y el espesor de aluviales y relleno antrópico sobre el mismo de potencia importante, la sección de túnel tiene muy poca o incluso nula cobertura de terciario sobre clave. Estos corresponden al P.K. 0+360 y al P.K. 1+080, ambos situados a la altura de antiguos arroyos, hoy cubiertos por el movimiento de tierras realizado en los últimos años en las sucesivas fases de ampliación de la trama urbana de Madrid.

La continuidad de los espesores de relleno a lo largo del trazado se ha estimado prolongando las observaciones puntuales que aportan sondeos y penetrómetros con el contraste de la cartografía actual y la del año 1955.

En base a la experiencia reciente de la instrumentación de la línea 10 (Geocisa, 1.996) en el tramo perforado con escudo de frente cerrado de 7,38 m. de diámetro, parece existir una buena correlación entre el espesor de recubrimiento de materiales terciarios sobre clave del túnel y el volúmen de asientos medido en superficie como un porcentaje de la sección excavada, que dicha empresa tabula según la siguiente relación:

T/D	Vs (%)
T/D > 1	0,20 - 0,50
1,00 - 0,50	0,50 - 1,00
0,50 - 0,25	1,00 - 1,50
T/D < 0,25	Vs > 1,50 y riesgo chimeneas

T/D: Relación cobertura materiales terciarios sobre el túnel / Diámetro.

Vs (%): Volúmen de asiento. (Porcentaje de la sección excavada).

Como parámetro K, que controla la extensión de la curva de subsidencia se ha tomado 0,32. A través de los parámetros Vs y K se crea la curva de asiento prevista.

En base a todo ello se ha generado el gráfico de la figura 14, en el que se observa en función de la cobertura de terciario a lo largo del trazado los parámetros que definen la curva de asientos en cada tramo de éste.

El gráfico confirma como conflictivos los puntos singulares comentados anteriormente y donde los asientos previsibles, incluso posible generación de chimeneas, son de considerable magnitud. En el primer caso el túnel avanza entre edificaciones de hasta 3 plantas correspondientes al Liceo Francés (a una distancia entre eje de trazado y fachada mínima de 15m.) y en el segundo en una glorieta sin edificaciones próximas, correspondiente al cruce de las calles Silvano y Machupichu.

Así como en el segundo caso, la actuación de posible protección si se necesitara en función de las experiencias obtenidas en las secciones instrumentadas anteriormente sería relativamente fácil de abordar desviando tráfico, en el primer caso y en función de la curva de asiento prevista (Fig. 15), los edificios próximos a la traza y lo cerca que está del comienzo de la excavación, se ha creído oportuno realizar sendas pantallas de columnas de jet-grouting tangentes para cortar la cubeta de asientos de modo que se evite la posible afección a los edificios próximos. En las figuras 16 y 17 se pueden observar las características geométricas del tratamiento.

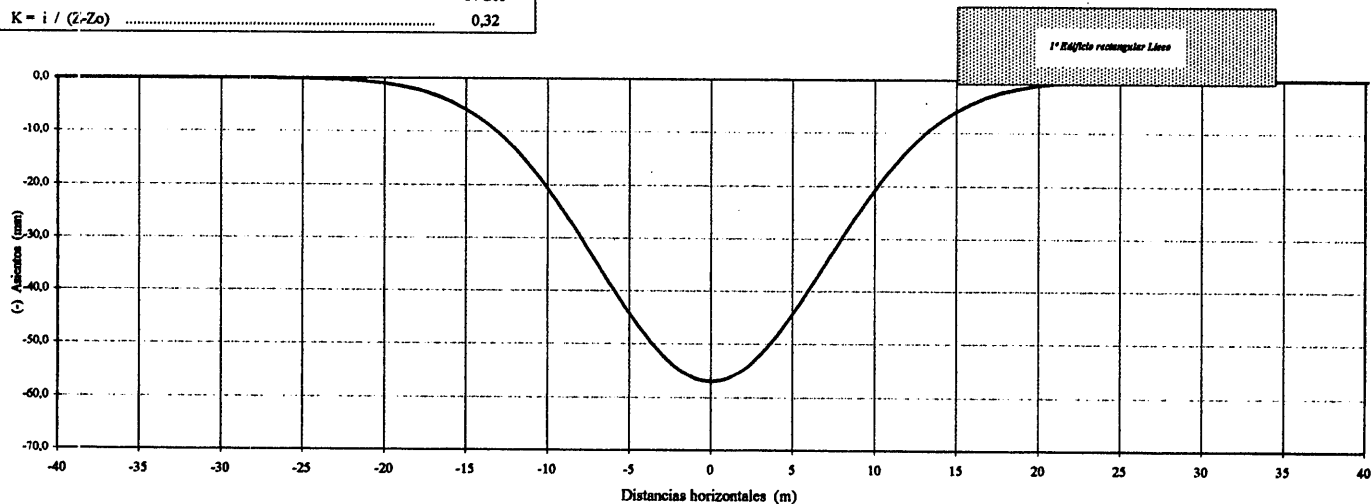
Figura 15.

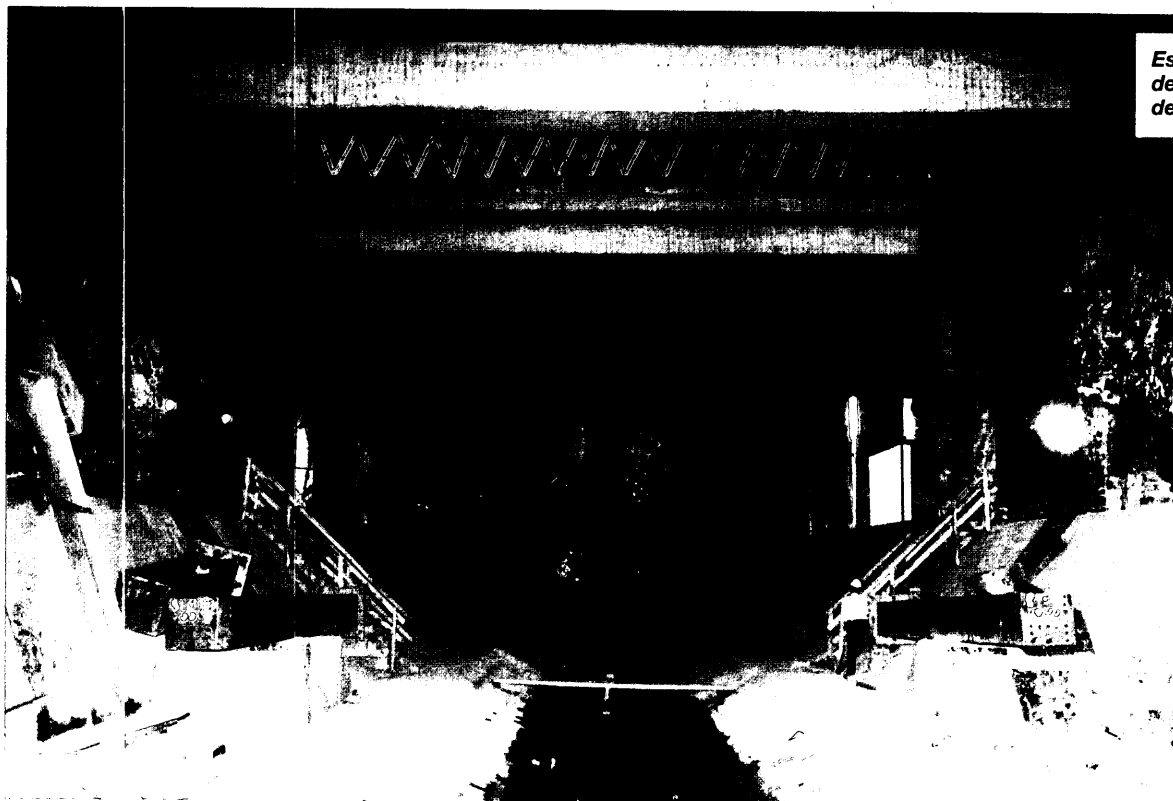
PERFIL TRANSVERSAL DE ASIENTOS DEBIDO A LA EXCAVACIÓN DEL TÚNEL

Parámetros para ajuste de Gauss.

Diametro excavado (m).....	9,38
Cota del centro del túnel (m).....	665,21
Ancho de cubeta (m).....	35,20
Asiento máximo (-) (mm).....	-57,0
Desplazamiento del centro de la cubeta X (m).....	0,00
PUNTO DE INFLEXIÓN i (m) (desde el centro del túnel).....	7,04
VOLUMEN DE ASIENTOS (m ³ /m).....	1,01
PORCENTAJE DE VOLUMEN DE ASIENTOS PS (%).....	1,46%
MÁXIMA PENDIENTE.....	1 / 203
$K = i / (Z-Z_0)$	0,32

TÚNEL:	LINEA 4	
SECCIÓN:	POR P.K. 0+360	LECTURA:
NIVEL EN ESTUDIO (m)(Z)	687,50	FECHA ORIGEN:
COTA DE SUPERFICIE (m) (Z ₀)	687,50	FECHA DE LECTURA:
OBSERVACIONES:	Sección teórica para el Liceo Francés Estimado a partir de curvas teóricas basadas en datos de la Línea 10.	





Estación de Canillas. Cale del escudo en el piñón sur de la estación.

5. AUSCULTACIÓN

Para poder garantizar la seguridad de las obras dentro de los condicionantes de plazo y económicos, asegurar que la afección al entorno se mantiene en unos márgenes admisibles, poder desarrollar y calibrar modelos de comportamiento del terreno en las distintas fases de ejecución así como comprobar la bondad de las hipótesis de proyecto, orientar sobre los tratamientos correctores en su caso y para extraer el máximo beneficio tecnológico, contribuyendo al afianzamiento de la posición española en materia de excavaciones subterráneas en medios urbanos, se ha desarrollado el plan de Auscultación de la obra.

Sintéticamente, para los 3.600 m. de longitud del tramo se han dispuesto:

- ▼ 33 secciones con hitos de nivelación en superficie formando una alineación transversal al eje de trazado hasta una distancia de 1,5 a 2,0 diámetros del eje.
- ▼ 56 hitos de nivelación sobre el eje de superficie, distanciados aproximadamente 50 m.
- ▼ 193 regletas de nivelación en edificios próximos a la traza.
- ▼ 9 inclinómetros en terreno.

- ▼ 7 extensómetros incrementales.
- ▼ 17 extensómetros de varillas.
- ▼ 10 inclinómetros en pantalla.
- ▼ 62 extensómetros de cuerda vibrante en pantallas.
- ▼ 27 células de presión total en pantallas.
- ▼ 4 anillos de revestimiento de túnel perforado con escudo instrumentados, cada uno de ellos con 6 células de presión total y 12 extensómetros de cuerda vibrante (6 en trasdós y 6 en intradós).
- ▼ 2 electroniveles.
- ▼ 1 piezómetro de cuerda vibrante. ●

PRESUPUESTO

PRESUPUESTO SUB-TRAMO "ESPERANZA-GRAN VÍA DE HORTALEZA"

-PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....	6.023.487.288
-PRESUPUESTO EJ. CONTRATA (P.E.M. x 1,19 x 1,16).....	8.314.821.852
-BAJA (P.E.C. x 28,61%)	2.378.870.532
-PRESUPUESTO LÍQUIDO (P.E.C. - Baja).....	5.935.951.320

PRESUPUESTO SUB-TRAMO "MAR DE CRISTAL-PARQUE DE SANTA MARÍA"

-PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....	4.241.322.743
-PRESUPUESTO EJ. CONTRATA (P.E.M. x 1,19 x 1,16).....	5.854.721.915
-BAJA (P.E.C. x 11,51%).....	673.878.493
-PRESUPUESTO LÍQUIDO (P.E.C. - Baja).....	5.180.843.422

CUADRO RESÚMEN PRINCIPALES UNIDADES DE OBRA

DESCRIPCIÓN	TRAMO 1 MEDICIÓN	TRAMO 2 MEDICIÓN
EXCAVACIONES		
M³ EXCAVACIÓN DE TÚNEL EN MINA	5.178,25	
M³ EXCAVACIÓN DE GALERÍA HORIZONTAL	3.677,10	3.078,05
M³ EXCAVACIÓN EN POZOS	2.369,59	2.038,40
M³ EXCAVACIÓN PANTALLAS DE 80 CM	4.621,57	9.650,93
M³ EXCAVACIÓN PANTALLAS DE 100 CM	7.470,23	15.635,26
M³ EXCAVACIÓN VACIADO ENTRE PANTALLAS A CIELO ABIERTO	28.073,65	14.466,05
M³ EXCAVACIÓN VACIADO ENTRE PANTALLAS ZONA CUBIERTA	75.457,70	97.675,56
M³ EXCAVACIÓN EN PILOTES	2.699,08	
TOTAL EXCAVACIONES	129.547,17	142.544,25
HORMIGONES		
M³ H-150 EN RECRECIDOS Y ACERAS EN TÚNEL	3.016,28	3.426,33
M³ H-250 EN REVESTIMIENTO DE HASTIALES Y BÓVEDAS	1.445,20	350,36
M³ H-200 EN CONTRABOVEDA	1.340,60	4.710,26
M³ H-250 EN CONTRABÓVEDA	2.848,86	
M³ H-250 EN PANTALLAS	14.745,97	25.286,19
M³ H-250 EN LOSAS Y VIGAS	10.440,70	8.410,07
TOTAL HORMIGONES	33.837,61	42.183,21
REVESTIMIENTO		
ML DE REVESTIMIENTO DE TÚNEL CON DOVELAS	1.589,68	1.388,69
M³ DE INYECCIONES DE MORTERO DE CEMENTO EN TRASDOS DE DOVELAS	7.844,77	1.985,65
ACEROS		
KG DE ACERO AEH - 500 N EN ARMADURAS	2.400.288,22	1.559.266,00
KG DE ACERO AEH - 500 N EN ARMADURAS DE PANTALLAS	1.047.594,37	2.185.476,66
KG DE ACERO EN PERFILES TH - 165 EN LONGARINAS, COLOCADO	11.550,00	8.316,00
KG DE ACERO A-42B EN PERFILES Y ESTRUCTURAS METÁLICAS	58.580,61	80.732,53
TOTAL ACEROS	3.518.013,20	3.833.791,19
SUPERESTRUCTURA		
UD DE SUMINISTRO Y MONTAJE DE TACO ELÁSTICO HOLANDES		
O SIMILAR DE 12,5 T	7.971,00	6.948,00
ML SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CARRIL DE 54 KG/M	7.556,60	6.271,57
M³ HORMIGÓN H-125 EN SUPERESTRUCTURA DE VÍA	22.165,00	9.092,09
M³ HORMIGÓN H-200 PARA FORMACIÓN DE CAJA DE VÍA	5.556,27	2.790,06
SOSTENIMIENTOS Y ENCOFRADOS		
M² ENCOFRADO EN LOSAS Y FORJADOS PLANOS	11.487,13	7.638,02
M² ENCOFRADO EN ALZADOS	2.339,19	7.779,00
M³ MADERA PARA ENTIBAR EN TABLAS DE 30 MM	38,01	17,42
ML PUNTAL EN ROLLIZO DE MADERA Ø 15 CM	4.646,94	4.790,40
M² ENCOFRADO DE BÓVEDA DE TÚNEL	1.195,17	
M² ENCOFRADO EN HASTIALES DE TÚNEL	965,91	
M² ENCOFRADO DE REVESTIMIENTO EN GALERIAS Y CAÑONES	1.887,40	399,00
SUB-TRAMO 1: ESPERANZA-MAR DE CRISTAL	SUB-TRAMO 2: MAR DE CRISTAL-PARQUE SANTA MARÍA	