

Ejecución de la ampliación de la Línea 1 del Metro de Madrid

(Tramo Portazgo - Colonia Sardinero)

JOSE LUIS VEREDA DOMINGUEZ (*)

RESUMEN. En este trabajo se describe la ejecución de la ampliación de la Línea 1 del Metro de Madrid desde la estación de Portazgo hasta la Colonia Sardinero.

La obra se ejecutó parte a cielo abierto y parte en mina, ésta última por los sistemas tradicionales de construcción de túneles en Madrid justificándose todavía como los más apropiados para resolver los problemas que plantea la geología de la zona.

ABSTRACT. In this paper it is described the works for the extension of the Metro of Madrid, Line 1, from Portazgo Station to Colonia Sardinero.

The work was partially made in open trench and partially in tunnel, the last by the traditional construction systems used in the tunnels in Madrid because they were still found the most suitable to solve the problems created by the geology of the zone.

INTRODUCCION

La ampliación de la Línea 1 del M.C.C. Metropolitano de Madrid, transcurre desde la actual estación de Portazgo hasta la Colonia Sardinero, junto a la M-40, con un trazado bajo la avenida de la Albufera en una longitud de aproximadamente dos kilómetros.

El tramo incorpora tres nuevas estaciones denominadas Palomeras Sur, Alto del Arenal y Miguel Hernández.

La primera de las estaciones se ha ejecutado en mina, la segunda a cielo abierto con un recinto entre pantallas y la de Miguel Hernández incorpora las cocheras y un aparcamiento disuasorio sobre la misma con capacidad para 1.000 vehículos.

La obra se completa con 1.350 metros de túnel de 60 m² de sección, ejecutado en mina en su totalidad, así como un fondo de maniobras ejecutado a cielo abierto.

La rasante del nuevo tramo se configura con una pendiente del 4 % desde el inicio hasta la estación intermedia del Alto del Arenal, para descender con el mismo 4 % hasta las cocheras de Miguel Hernández, para permitir su ejecución a cielo abierto. De esta forma la cobertura sobre clave, en la ejecución del túnel varía entre 9 y 15 metros, procurando que la rasante de carriles permanezca lo más próxima a la superficie para favorecer la explotación de la línea.

GEOLOGIA

El tramo objeto de la obra se desarrolla a través de la llamada «facies Madrid», formada por sedimentos detríticos de carácter arcósico, en transición hacia los depósitos de carácter quílmico existentes en las «facies distales» de la cuenca de deposición.

Estos sedimentos se localizan en el Mioceno medio y se han formado por la deposición de los materiales provenientes

de la erosión de los macizos montañosos que rodean la cuenca del Tago. Dicha sedimentación debió producirse en un clima semiárido, en forma de abanicos aluviales, lo que explica la diferente granulometría de los sedimentos.

El terreno presenta en general unas condiciones geológicas homogéneas, con la particularidad de la aparición de estos abanicos aluviales que configuran, en su encuentro con la traza, franjas de material con poca o nula cohesión que normalmente vienen acompañados de presencia de agua.

Si particularizamos, aumentando la escala de observación, a estas franjas arenosas, encontramos una arena gruesa, completamente lavada en el contacto arena-tosco, con una graduación de finos de menor a mayor, a medida que ascendemos a lo largo de la misma. Este dato es significativo del comportamiento del agua circulante en este contacto, ya que la posibilidad de recarga de los depósitos, por mantener contacto directo con sus puntos de procedencia, debía ser tenida en cuenta de cara a la elección de los sistemas de ejecución.

Con estos antecedentes, la detección de estos niveles arenosos a lo largo de la traza se convirtió en el primer objetivo, previo a abordar la ejecución de la obra subterránea.

Para ello se llevaron a cabo tres campañas de sondeos, ejecutados a rotación continua con corona sacatestigos, así como penetraciones dinámicas, tipo Borros, hasta rechazo.

Los ensayos a que fueron sometidas las muestras extraídas fueron:

- Análisis granulométrico.
- Límites de Atterberg.
- Corte directo.
- Triaxial.

El objeto de dichos ensayos fue determinar, por un lado, las características del terreno a efecto de empujes sobre las pantallas, en las obras a cielo abierto, y por otro lado las características geotécnicas del mismo a tener en cuenta en la ejecución de los túneles, para lo cual se estableció una rela-

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Jefe del Departamento de Transportes (Fomento de Construcciones y Contratos, S. A.).

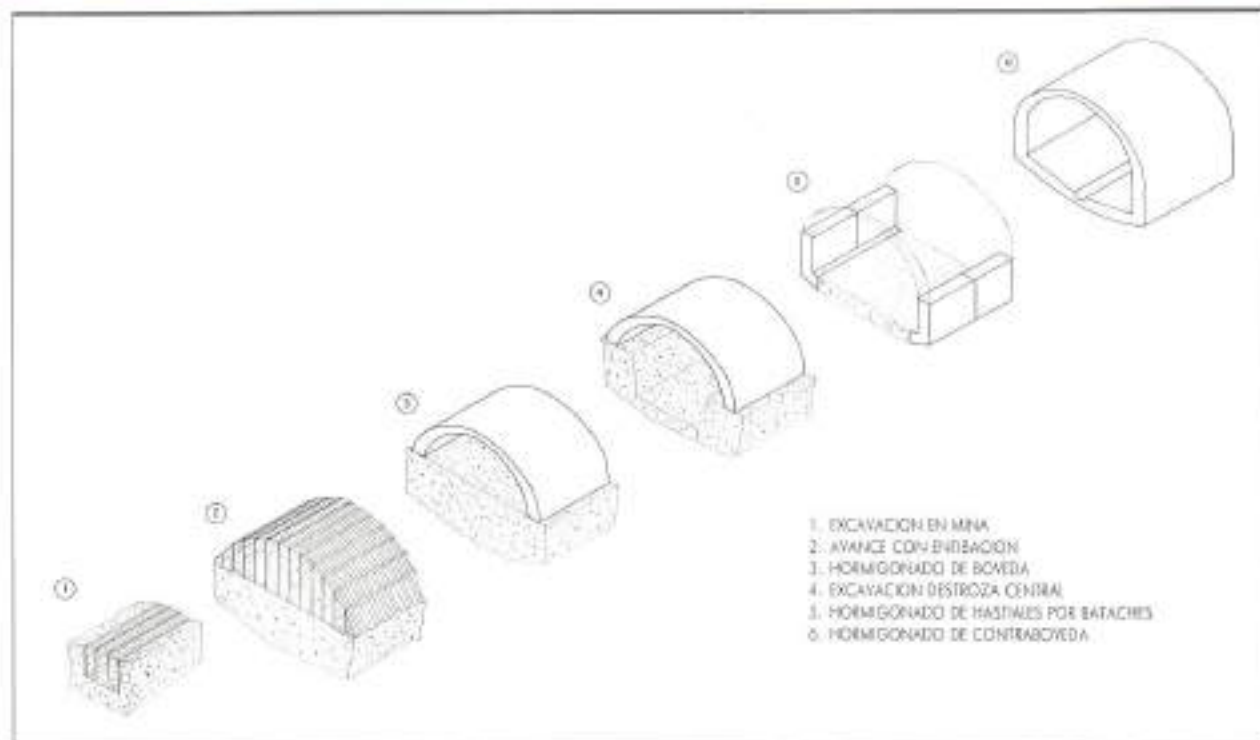


FIGURA 1. Proceso de ejecución de la línea de metro.

ción directa entre el contenido de finos y la estabilidad del terreno de cara a su excavación.

Los resultados más significativos de estos ensayos fueron los siguientes:

- Con potencias variables, entre 5 y 12 metros aparecían rellenos antrópicos, depósitos cuaternarios recientes y subsuelo terciario muy alterado (resistencia al avance del penetrometro dinámico inferiores a 30 golpes/20 cm).
- La cota del techo de subsuelo compacto, donde crece el golpeo hasta rechazo aparece entre los 7 y 12 m de profundidad.
- Aparecían intercalaciones arenosas a distintas profundidades, con potencias variables, desde capas decimétricas hasta capas de 5 m de potencia en la estación de Alto del Arenal y su entorno próximo.
- Se produjo una estabilización del nivel freático entre las cotas -6 a -9, desde superficie, que provenían fundamentalmente de los niveles arenosos más profundos, detectándose en los niveles arenosos más superficiales una mayor heterogeneidad en cuanto a la observación de estos niveles.

CRITERIOS GEOTECNICOS DE DISEÑO

Como consecuencia de los resultados obtenidos, y con un mayor y mejor conocimiento de la realidad existente se llevó a cabo un planteamiento de los sistemas de ejecución, encaminados a limitar los parámetros geotécnicos a tener en cuenta en la misma, para lo cual se partió de una primera diferenciación entre las obras a cielo abierto y las subterráneas.

OBRAS A CIELO ABIERTO

Las obras a cielo abierto estaban constituidas, inicialmente por la estación de Miguel Hernández, con un recinto entre

pantallas de 220 m de longitud y anchura máxima de 46 m, a las que se añadieron la ejecución de la estación de Alto del Arenal, una vez comprobada su inviabilidad como obra subterránea según los datos obtenidos en la campaña previa. El sistema de ejecución es similar para ambas estaciones.

El primer problema se planteaba por la proximidad de las edificaciones al recinto apantallado, ya que esto obligaba a limitar cualquier deformación del subsuelo del entorno. En una primera aproximación se consideró que los niveles más flojos de terreno podrían tener una deformación aparente por resistencia limitada al cortante, afectando en una distancia equivalente a la profundidad de excavación; para los niveles terciarios el problema se planteaba por la liberación de tensiones producida en su excavación y que podrían afectar a una distancia de dos a tres veces la profundidad.

Con objeto de alcanzar las profundidades de excavación mínimas requeridas para la ejecución de la obra era necesario un reforzamiento de las pantallas a determinados niveles, lo que se realizó mediante anclajes provisionales, dado que el tesado del cable de anclaje introduce en el terreno acciones y reacciones que se compensan entre sí, dando lugar a compresiones en el mismo que favorecen su no deformabilidad.

A efectos de cálculo se admitió para los niveles superiores flojos y descomprimidos la ley uniforme de presiones unitarias $q_h = 0,8 K\sigma$ y tomando como valor de h 12 m que era la profundidad máxima detectada para estos suelos en los sondeos.

Asimismo se consideraba para estos suelos un $\varphi = 22^\circ$, con lo que obteníamos para q_h un valor de 6 T/m².

Para los niveles terciarios, de acuerdo con Terzaghi y Peck se consideraron presiones horizontales del orden del 20 al 40 % de la presión efectiva vertical en fondo de excavación.

Considerando para ésta un valor de 24 T/m^2 , los valores extremos estarían entre $4,8$ y $9,6 \text{ T/m}^2$, estimando un valor medio de 6 T/m^2 , lo que suponía mantener una distribución uniforme de empujes en el trasdós de la pantalla de 6 T/m^2 . Valor que se consideró válido para el dimensionamiento de las mismas.

A nivel de empotramiento se consideraron como valores una cohesión de 7 T/m^2 y ángulo de rozamiento interno de 27° , considerando la movilización simultánea, a nivel de empotramiento, de empujes activo y pasivo en caras opuestas de la pantalla.

En lo referente a la estructura interior de ambas estaciones se llevó a cabo una distribución de pilares para apoyo de los forjados, que en el caso de la estación de Alto del Arenal estaban constituidos por módulos de pantalla de $2 \times 1 \text{ m}$ y en el caso de la estación de Miguel Hernández requerían pilotes de 1.500 mm de diámetro. En ambos casos el empotramiento de los elementos no debería ser inferior a 8 diámetros; en cualquier caso deberían cimentarse sobre peñuela. Las dimensiones de los pilotes de Miguel Hernández impedían los gálbos necesarios para la distribución de vías, por lo que se introdujo un sistema de ejecución con pilares prefabricados que más tarde se comenta.

El otro aspecto importante a considerar en la ejecución era el control del N.F. en el contorno, con objeto de alterarlo lo menos posible, a fin de no modificar las condiciones geotécnicas del terreno, que podrían afectar a las construcciones vecinas.

OBRAS SUBTERRANEAS

Las obras subterráneas las componían el túnel de línea por

un lado y la estación de Palomeras Sur. Desde el punto de vista geotécnico el proyecto adjudicado establecía de manera general unos valores que se ajustaban más a las características de los niveles terciarios muy consolidados que a los niveles superiores decomprimidos y que no recogía las singularidades detectadas en los diferentes sondeos, en cuanto a los niveles arenosos.

Se admitieron como válidos los parámetros definidos en el proyecto, en lo que a los suelos terciarios afectaba, mientras que la aplicación de los parámetros definidos para los suelos decomprimidos suponían unas deformaciones en aplicación de la fórmula de Peck (método empírico desarrollado en el Proyecto Base), superiores a las admisibles. Por otra parte, es inviable cualquier análisis aplicable a los niveles arenosos con carga hidráulica, dado que lo previsible era que la excavación de este material produjese una fluencia importante de caudal con previsible arrastres de arenas caso de que la sección de excavación afectase al contacto arena-tosco donde se localizaban las corrientes de agua.

También había que considerar que una escasa cobertura entre la sección excavada y los niveles arenosos podía suponer la rotura del suelo aparentemente estable, lo que implicaría un gran riesgo.

Así pues, ante la inviabilidad económica de un tratamiento integral de los niveles arenosos, la ejecución del túnel debía acometerse con la mínima alteración del contorno de la sección excavada, y procurando contener en la medida de lo posible las deformaciones iniciales del terreno que pudieran derivar en su rotura. Asimismo, el desfase entre la excavación y el hormigonado de la sección excavada debía ser mínimo, para garantizar la estabilidad.

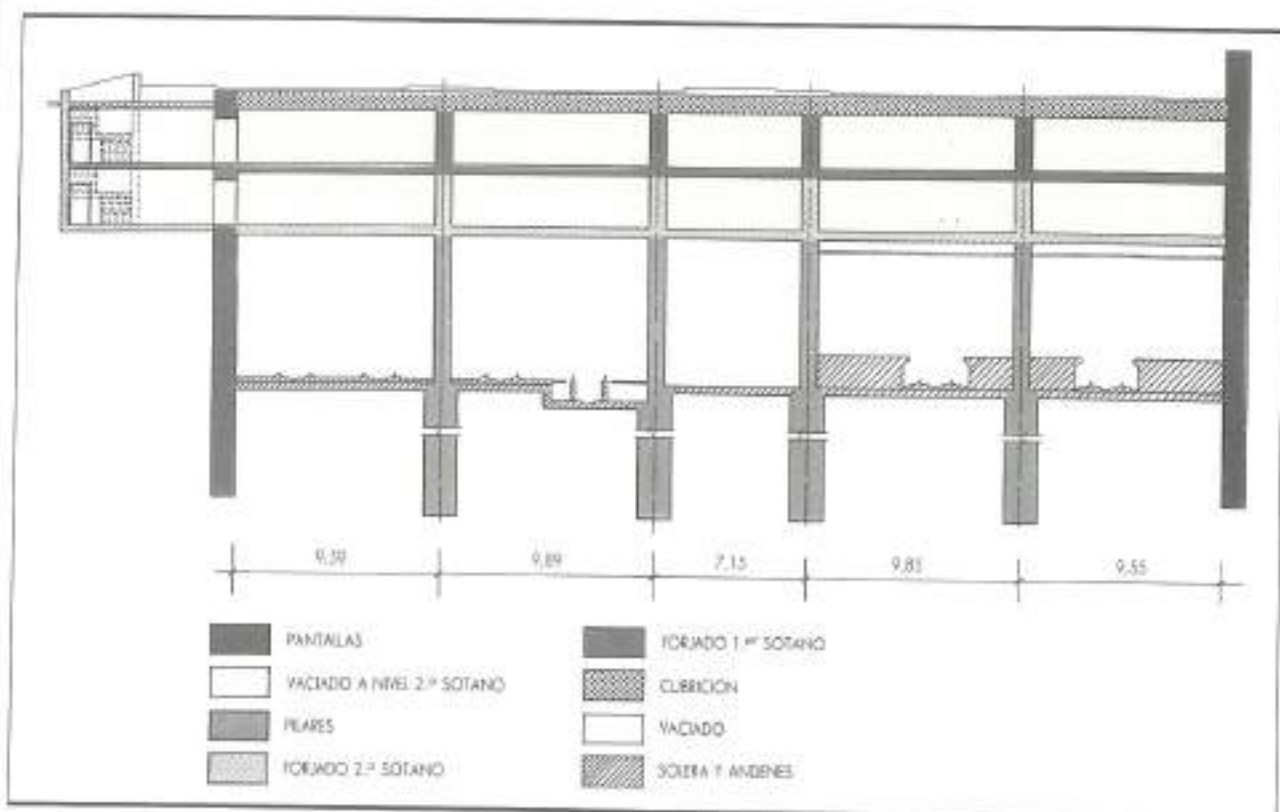


FIGURA 2: Sección transversal Pónica 20.

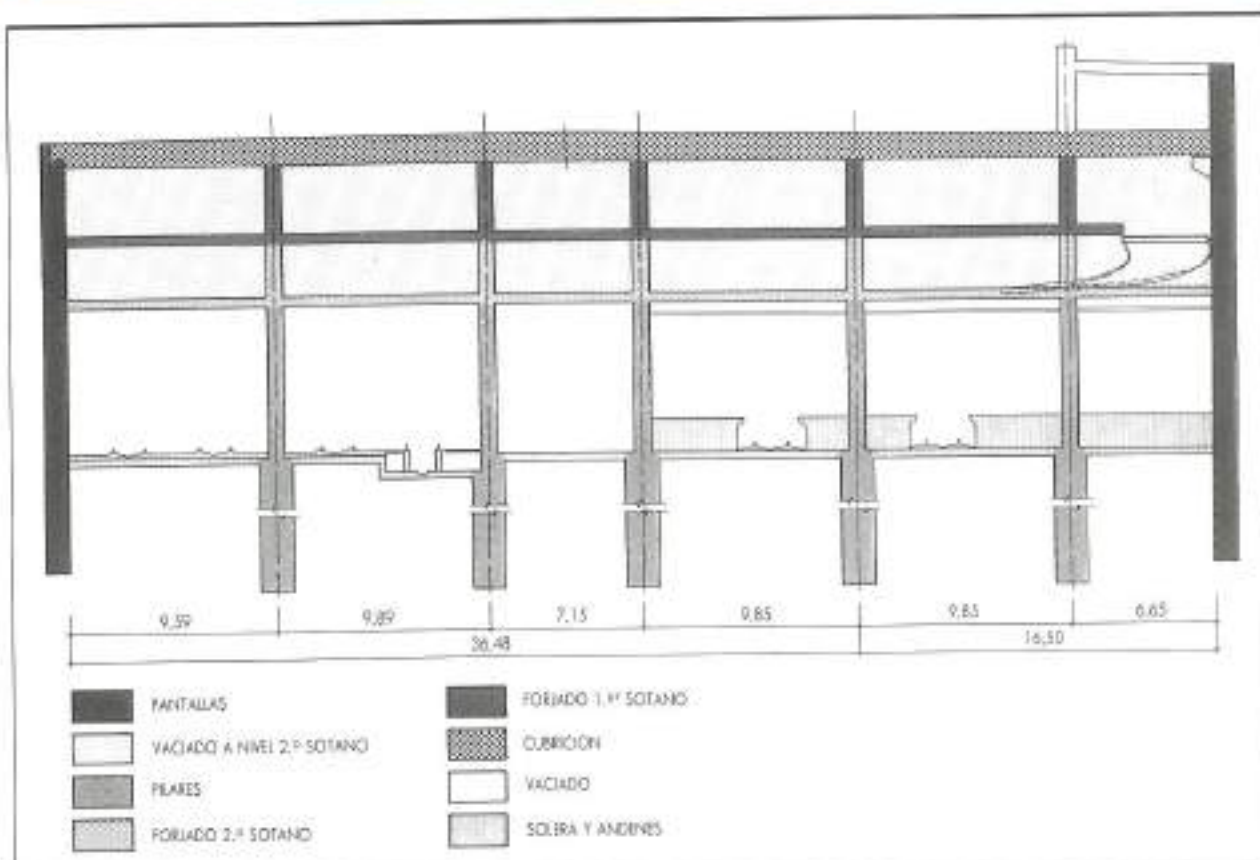


FIGURA 3. Sección transversal Párrica 5.

SISTEMAS DE EJECUCION

OBRAS A CIELO ABIERTO

Teniendo en cuenta las rasantes de excavación que debían ser alcanzadas en los recintos apantallados, era en principio necesaria la ejecución de anclajes a distintos niveles.

Una vez alcanzada la rasante de excavación, se debía construir la estructura interior sobre cimentación profunda, confiando a los anclajes provisionales la labor de impedir la deformación de las pantallas.

Por otra parte, la construcción de la estructura interior desde rasante de excavación suponía el cimbrado o apuntalamiento de los forjados con la consiguiente inmovilización de material.

A la vista de estas circunstancias se planteó la posibilidad de ejecutar las estaciones con un procedimiento que ahorrara en cierta medida los anclajes y favoreciera la ejecución de los forjados. Asimismo se debía considerar la singularidad de la estructura de la estación de Miguel Hernández, compuesta por 144 pilares de dimensiones 75 x 75, que permitiesen la disposición interior de andenes y vías.

El sistema adoptado para la ejecución fue el siguiente:

- Ejecución del recinto de pantallas.
- Excavación hasta la cota de techo de estación.
- Perforación de pilotes de 1.500 mm hasta el nivel de peñuela hormigonada de los 12 m desde fondo de pilote, con colocación simultánea de los pilares prefabricados.

- Ejecución del forjado de techo de estación, sobre el terreno.
- Construcción de los dos forjados superiores, reticular de 45 cm de canto el primero y el de cubierta constituido por vigas dintel de 90 cm de canto en las que empotran vigas prefabricadas de 45 cm de canto y 7,5 m de luz.
- Vaciado del recinto de la estación, bajo el forjado inferior.
- Ejecución de solera y estructuras auxiliares.

Los dos forjados intermedios apoyan sobre las pantallas a través de una viga perimetral anclada a las mismas, que permiten su funcionamiento como elementos de acodamiento para la estructura perimetral.

De la misma forma y siguiendo las recomendaciones de no alteración de las condiciones hidrológicas del contorno, se ha construido una red de drenaje bajo solera para recogida de las aportaciones perimetrales a través de taladros efectuados en las pantallas, así como para evitar posibles subpresiones caso de que existiesen filtraciones bajo la cota de cimentación, cosa poco probable.

En el caso de la estación de Alto del Arenal, el procedimiento seguido ha sido:

- Ejecución del recinto de pantallas.
- Excavación a nivel de forjado intermedio.
- Ejecución de pilares formados por módulos de pantalla.
- Construcción del forjado (losa aligerada de canto 80 cm).
- Vaciado hasta nivel de forjado inferior.
- Ejecución de forjado.

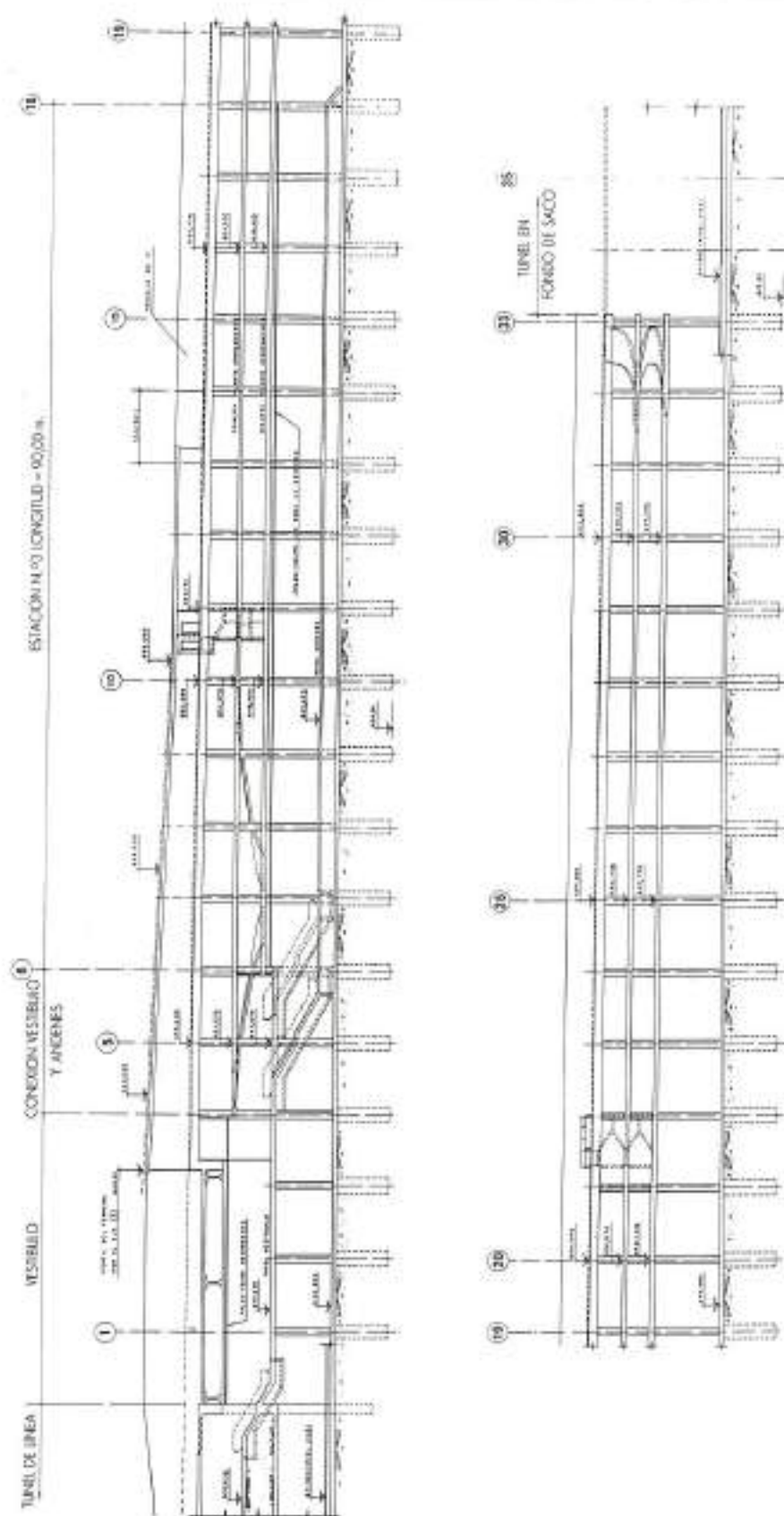


FIGURA 4. Sección longitudinal Estación 3

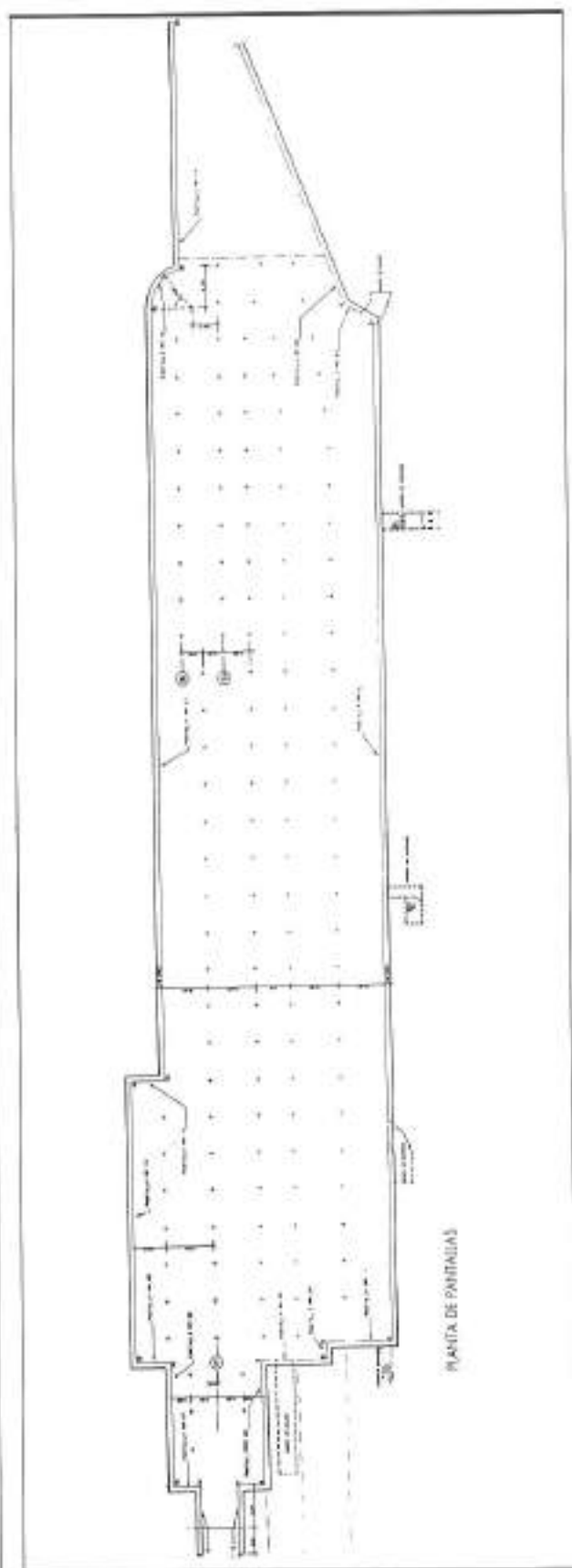


FIGURA 5. Plano Estación 3.

- Vaciado a nivel de solera y ejecución de forjado de cubierta.
- Ejecución de solera y estructuras auxiliares.

Al igual que en la estación de Miguel Hernández, se ha ejecutado una red de drenaje bajo solera y canalizadas las aportaciones exteriores de caudal.

En ambas estaciones se realizaron comprobaciones de la evolución del N.F. en el contorno, así como de la evolución del terreno mediante extensómetros situados en los emboquillamientos del túnel.

OBRAS SUBTERRANEAS

Túnel de línea. El primer planteamiento desarrollado para la ejecución del túnel, teniendo en cuenta los datos recogidos previamente, pasaba por las siguientes consideraciones:

- a) Las deformaciones de la sección excavada debían minimizarse, reduciendo al máximo el diámetro equivalente de la sección.
- b) Para impedir en la medida de lo posible subsidencias superiores a las admisibles, el desfase entre la excavación y el hormigonado de la sección excavada debería ser mínimo.
- c) Teniendo en cuenta las limitaciones de plazo en la ejecución, el sistema a desarrollar debía contar con la flexibilidad suficiente como para poder paliar los retrasos que pudieran originar un empeoramiento de las condiciones del terreno, en cualquiera de los frentes de trabajo.
- d) Viendo la posibilidad de tener que abordar la excavación de terrenos de nula cohesión, el sistema de sostenimiento debería de ser continuo, y adaptable a las más mínimas secciones de excavación.
- e) Había de tenerse en cuenta la posibilidad de aportaciones de agua al frente a la hora de seleccionar el sistema de excavación.
- f) La longitud del tramo y las condiciones económicas de la obra no justificaban una inversión importante en sistemas sofisticados para favorecer la ejecución.

Con estas premisas el sistema de ejecución con que se abordó la construcción del túnel fue el tradicionalmente empleado en la ejecución de túneles en Madrid, el denominado «Método Belga».

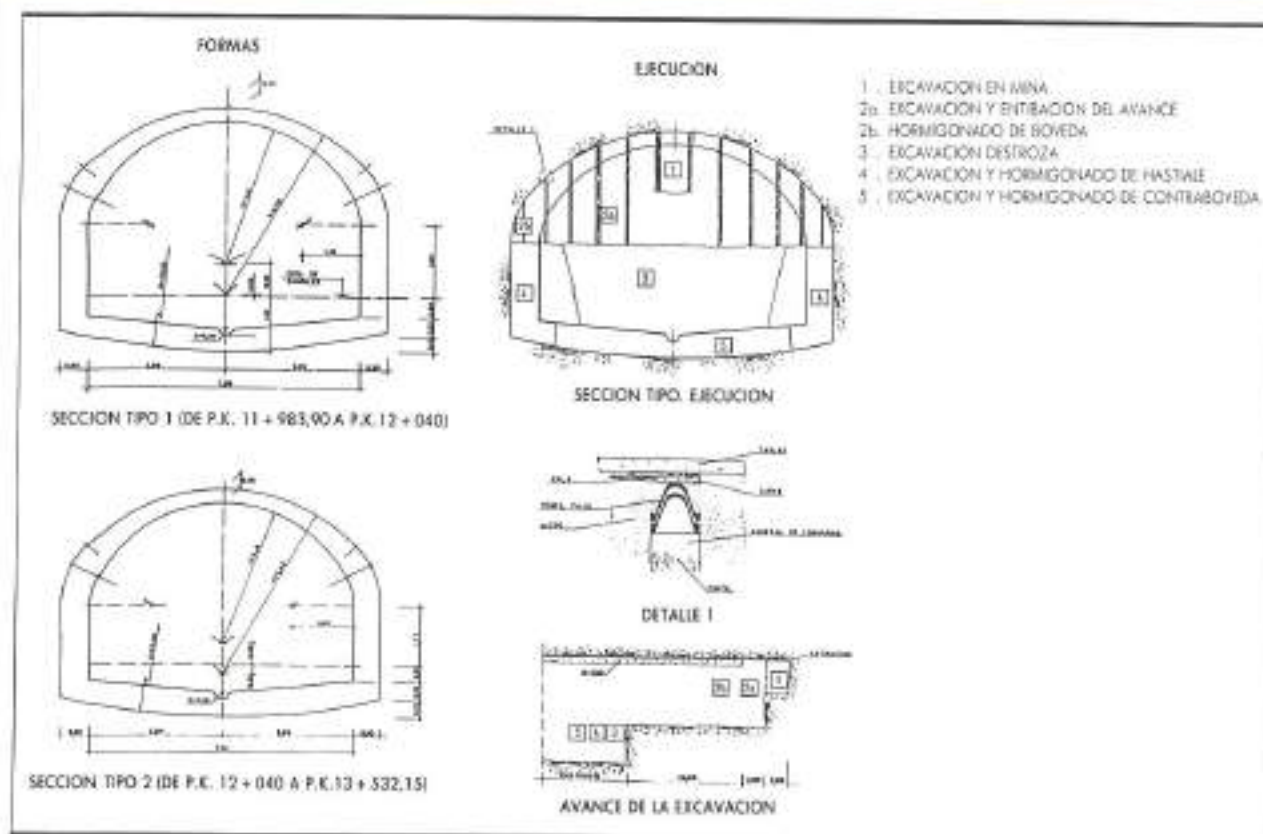
Con este sistema, el inicio de la excavación de la sección de avance (reducida en nuestro caso a 25 m^2) se realiza mediante una mina de apenas 1 m de anchura, con entibación continua de la misma, lo que supone una mínima alteración en el terreno. Una vez referida la entibación al propio terreno mediante la colocación y apuntalamiento de las longarinas, se inicia la apertura de la sección en poses de un metro hasta completar la sección de avance. De esta forma se configura una partición de la sección, en secciones de unos 3 m^2 con un sostenimiento unido transversalmente pero que es independiente longitudinalmente para cada sección.

Inmediatamente después de ejecutada la excavación se procede al hormigonado de la sección, con lo que se impide la deformación del terreno, otorgando al sostenimiento la labor de contener la deformación instantánea del mismo.

Por otra parte, la entibación continua permite soportar las cargas que transmiten terrenos sueltos con potencias de hasta 1,5 m, impidiendo la deformación gradual de los suelos más estables que pudieran existir sobre ellos.

Asimismo el método aporta una gran versatilidad en cuanto al posible refuerzo de los elementos resistentes, ya que se pueden modificar los parámetros básicos:

- Ancho del pase.



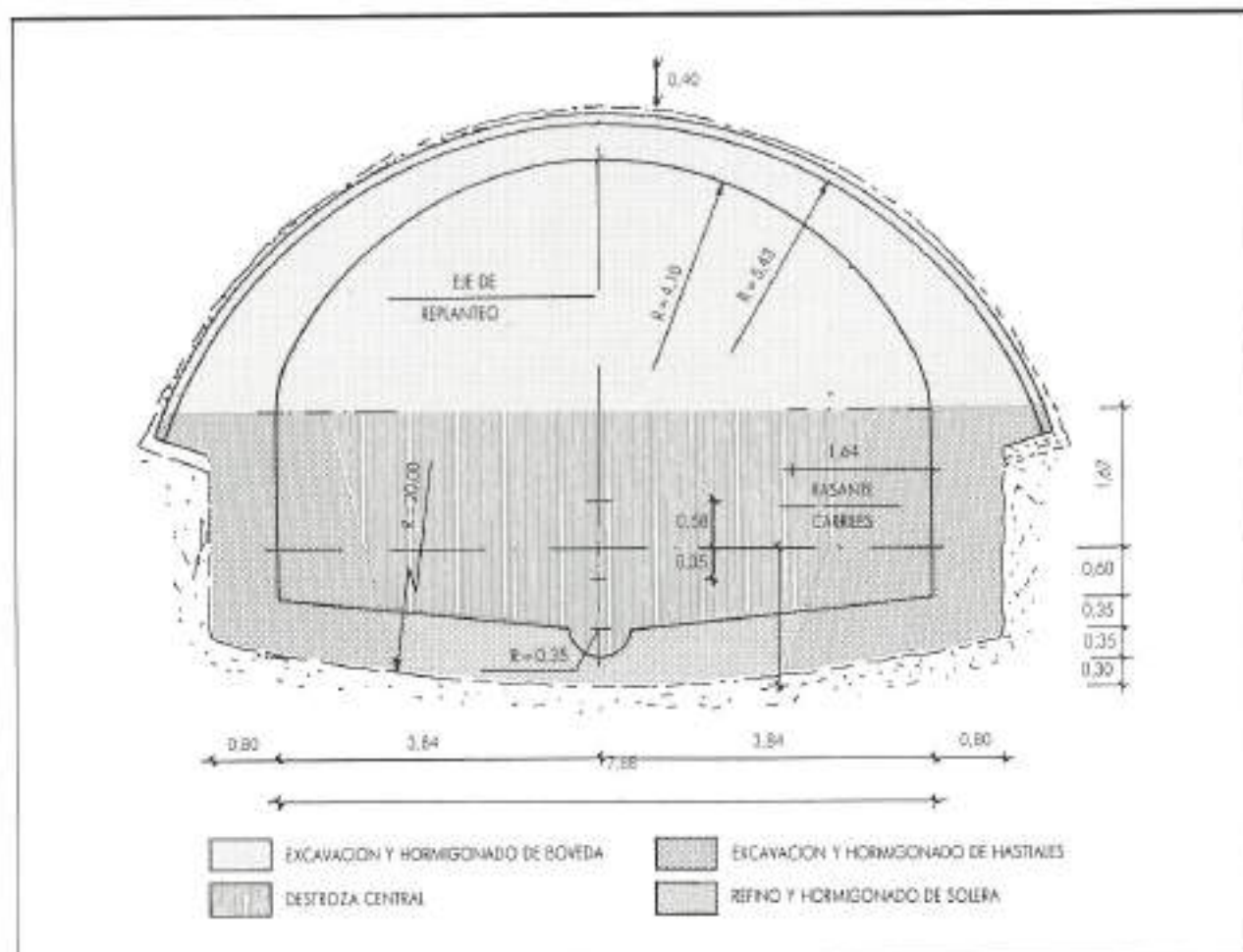


FIGURA 8. Sección tipo estaciones.

- Longitud de avance.
- Densidad del apuntalamiento.

Independientemente de la elección del método de ejecución, la dinámica de la obra permitió el estudio de sistemas diferentes, cuya aplicación se llevó a cabo en unos casos, mientras que en otros no llegaron a ponerse en funcionamiento.

Se intentó mecanizar la excavación con el uso de rozadora, sin modificarse la concepción del sistema. Después de un tiempo de trabajo, coincidente con un terreno estable, las aportaciones de agua al frente de excavación hicieron inviable su utilización, fundamentalmente por la imposibilidad de evacuación del material excavado.

Otra de las alternativas analizadas fue el empleo de una entibadora. A pesar de las mejoras introducidas en el meroado en este tipo de elementos, que permiten la independencia de los elementos hidráulicos, tanto de cada una de las lanzas como de los carros de avance, su utilización se desestimó por dos motivos fundamentales:

1. El reblandecimiento continuo de la zona de rodadura por las aportaciones de caudal, no permitía garantizar el correcto traslado del equipo, de manera que al liberar las lanzas de avance, del hormigón todavía fresco, se producirían movimientos del equipo con desajustes continuos de la sección.

2. A pesar de la independencia de los equipos hidráulicos de cada una de las lanzas, las diferentes resistencias a la penetración para cada una de ellas, originaría, por reacción, los mismos desajustes en el avance, lo que hubiese originado graves problemas de alineaciones para el desarrollo posterior de la superestructura.

Cualquier intento de mecanización con medios tradicionales para la excavación de la sección de avance se desestimó igualmente, por venir acompañado de un aumento de la sección que permitiese los gálidos necesarios.

En cualquier caso el desarrollo de los trabajos a lo largo de 20 meses ha demostrado la viabilidad del método, habiéndose conseguido la ejecución del túnel en condiciones límite de estabilidad, gracias, fundamentalmente, a la experiencia adquirida por los equipos de ejecución, bajo la dirección de personal altamente cualificado con gran experiencia en este tipo de obra, no en vano el equipo de ejecución de la ampliación de la Línea I abordaba su tercera obra de Metro después de la ejecución de 6 km de nuevas líneas en la década de los 70.

Estación de Palomeras Sur. La estación como obra subterránea, con 19 m de luces libres en excavación, aumentaba considerablemente la problemática de ejecución respecto al túnel por diversos motivos:

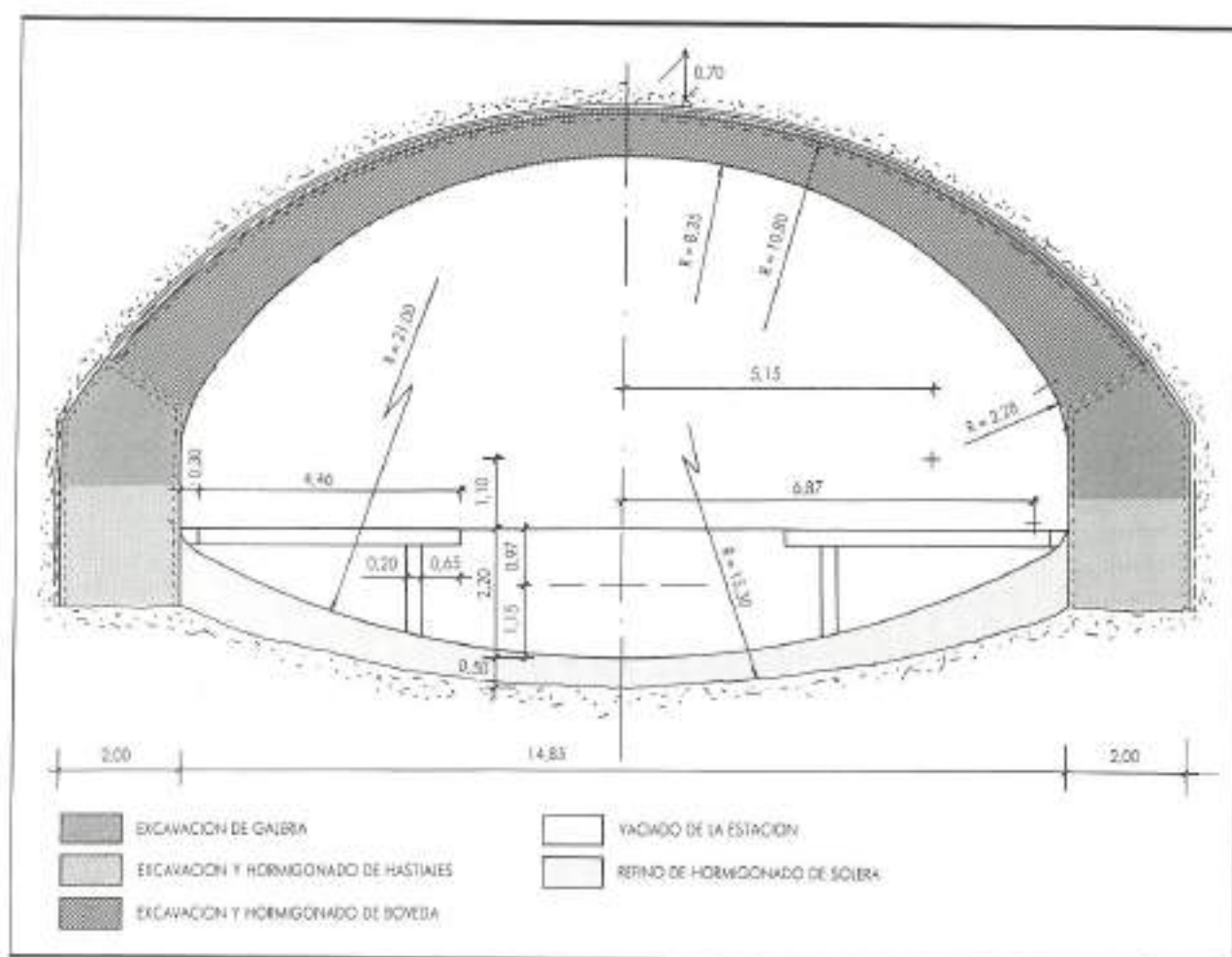


FIGURA 9: Sección de túnel.

- a) A mayor sección de excavación, mayores deformaciones.
 b) El aumento de sección conlleva un mayor tiempo de ejecución con el consiguiente aumento de desfase entre ésta y el hormigonado.

Por otra parte, en los 90 m de estación, el terreno era fiel reflejo de la heterogeneidad presentada a lo largo de toda la obra, con la detección de una franja de arena a 2 m por debajo de clave que la cruzaba, prácticamente perpendicular al eje de la traza.

En estas condiciones el planteamiento de ejecución se basó en los puntos básicos que habían regido la ejecución del túnel, es decir, limitar al máximo la sección de excavación, evitar retardar el hormigonado de la sección excavada y de-

sarrollar un sistema de sostenimiento continuo que impidiese en la medida de lo posible las deformaciones iniciales del terreno.

El planteamiento general pasaba por mantener el método alemán como sistema de ejecución, con la excavación y hormigonado de los hastiales, donde posteriormente apoyar la bóveda.

La variante introducida al método fue reducir la excavación de la sección de bóveda a la sección estricta de hormigón, atacando la misma desde las galerías de los hastiales procediéndose al inmediato hormigonado de la sección excavada desde una galería central en clave. El sistema de sostenimiento fue similar al empleado en el túnel de línea con longarina metálica y madera.

Nº

Visitenos en REHABITEC
Pab.1 Stand nº 205

Productos Químicos

para la Construcción

BETTOR

*La calidad
nos identifica*



ADITIVOS
PAVIMENTOS

MORTEROS

MASILLAS

RESINAS

ADHESIVOS

LAMINAS

RECUBRIMIENTOS



Pero no corras.

Hemos conseguido reducir el riesgo de deslizamiento en mojado.

Pero no corras

Hemos logrado aumentar la adherencia de los neumáticos al asfalto.

Pero no corras

Hemos fabricado un asfalto que se mantiene en perfectas condiciones por muchos años.

Pero no corras

Porque, con nuestros productos asfálticos, hemos contribuido a construir las mejores carreteras, para que tú circules más seguro, no más rápido

 **CEPSA**
PRODS

SEMANA
INTERNACIONAL
DE LA CALIDAD
MEDIOAMBIENTAL
Y LA SEGURIDAD
VIAL



7-10
JUNIO
1994

PARQUE FERIA
JUAN CARLOS I
MADRID



SALON INTERNACIONAL
DE LA SEGURIDAD VIAL

3 SALONES MONOGRAFICOS EN UNA SOLA OFERTA

3 Salones que presentan las últimas técnicas, los equipos más innovadores y los servicios de mayor calidad aplicados a las diversas áreas del municipio, de la seguridad vial y del medio ambiente.

TEMMMA 94

SALON INTERNACIONAL DE TECNICAS
Y EQUIPAMIENTOS MUNICIPALES Y MEDIOAMBIENTALES

TECNOCLEAN '94

SALON INTERNACIONAL DE TECNICAS
DE LIMPIEZA, MANTENIMIENTO Y CONSERVACION

Parque Ferial Juan Carlos I
28067 Madrid. Apartado de Correos 67067
Tel.: (91) 722 50 00. Fax: (91) 722 57 91
Telex 44025 - 41674

