

TRAMO 2: CUATRO VIENTOS – ALCORCÓN

SECTION 2: CUATRO VIENTOS – ALCORCÓN

JOSÉ MARÍA DÍAZ RETANA. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
 Director de Obra. MINTRA. *admon@mintra.c.telefonica.net*
 PETRONILA NAVARRO SANZ. Ingeniera Técnico de Obras Públicas.
 Directora de Obra. MINTRA. *admon@mintra.c.telefonica.net*

RESUMEN: El tramo 2 se inicia a la salida de la Estación de Cuatro Vientos con un doble túnel de vía única para, pasando bajo la N-V, cruzar bajo terrenos ocupados por instalaciones militares y una vez atravesada la M-40 llegar a la zona de Mimbreras. Sobrepasando este punto se continúa hacia el Parque de Las Presillas y tras cruzar la M-406 se enfila la Avda. Joaquín Vilumbrales hasta llegar a la Estación del mismo nombre para terminar con un Telescopio y un Mango de Maniobras, en túnel único de doble vía, antes de la entrada a la Estación de Puerta del Sur del tramo contiguo.

Se describen las características de la tuneladora, las distintas ejecuciones: túnel, estación, telescopios, ramales a cocheras, etc., así como las incidencias habidas durante la perforación del túnel que han exigido tratamientos de consolidación del terreno para que los trabajos se desarrollaran en condiciones óptimas de seguridad.

PALABRAS CLAVE: ALCORCÓN, TÚNEL, FERROCARRIL METROPOLITANO, ESTACIONES

ABSTRACT: Section 2 starts at the exit of the Cuatro Vientos Station with twin single track tunnels and passes below the N-V motorway before cutting through land occupied by army installations. The route then passes the M-40 Ringroad before reaching the area of Mimbreras. Here the route continues towards the Parque de Las Presillas and then crosses the M-406 road before aligning with the Avda. Joaquin Vilumbrales until reaching the station of the same name. The section finishes with a connecting tunnel and siding in a single double track tunnel before entering the Puerta del Sur station and connecting with the adjacent section.

The article describes the characteristics of the TBM and the different works carried out: tunnel, station, connections, branch lines to depots, etc, as well as the incidents that arose during the cutting of the tunnel and which required soil consolidation treatment in order to ensure that the work be carried out under optimum safety conditions.

KEYWORDS: ALCORCÓN, TUNNEL, METROPOLITAN RAILWAY, STATIONS.

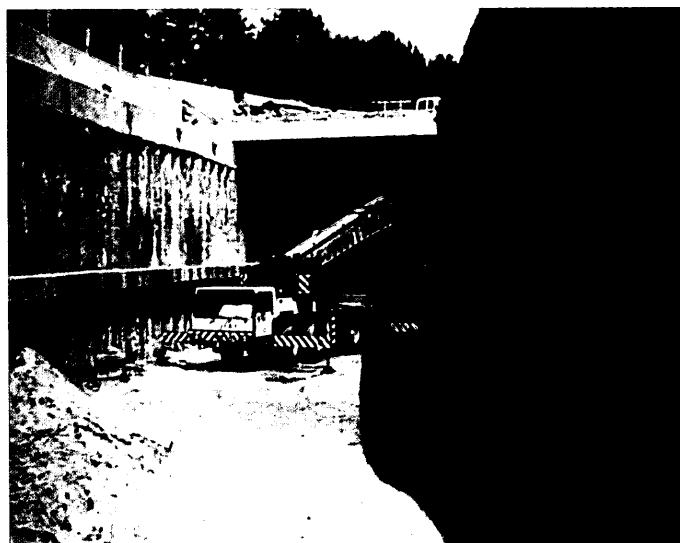
GENERALIDADES

La prolongación de la Línea 10 del Metro de Madrid a Metrosur ha sido resuelta mediante la construcción de dos tramos con distinto adjudicatario de la ejecución. El segundo tramo, objeto del presente artículo, ha sido adjudicado a Dragados, Obras y Proyectos.

El tramo se inicia a la salida de la Estación de Cuatro Vientos, en un doble telescopio donde se realiza la transición de túnel con doble vía, tramo 1, a doble túnel de vía única. A continuación el trazado va girando para tomar di-

rección Sur acercándose a la N-V y pasando bajo ella casi tangencialmente. Luego cruza bajo terrenos ocupados por instalaciones militares: Regimiento de Zapadores Ferroviarios y campo de golf del Club Deportivo Militar Barberán para, una vez atravesada la M-40, llegar a Mimbreras. Allí, en los telescopios 1 y 2, se realiza la conexión con las Cocheras de Metrosur y Línea 10 con tres ramales que enlazan la vía principal con las playas de aparcamiento de trenes.

Sobrepasado el telescopio 2 el trazado va descendiendo y, tras penetrar en la capa freática del Arroyo de la Canaleja, se llega a un acuerdo vertical para pasar el cauce, co-



Ramal 3 visto desde telescopio 2. A la derecha, telescopio 1 con anclajes provisionales.

Debido a la constante presencia de terrenos de matriz granular, el método de ejecución de pilotes ha sido de excavación con pilotadora, introducción de la armadura y hormigonado "in situ".

Entre julio y noviembre del año 2000 se han ejecutado en Mimbrenas, entre ramales y telescopios, 1536 pilotes de un metro de diámetro y longitud variable entre 18 y 23 metros, además, 38 pilotes especiales, sin arriostramiento intermedio, de dos metros de diámetro y 30 metros de longitud. En total 24.692 metros cúbicos de excavación.

En el telescopio y el mango de maniobras, situados en la Avda. Alcalde Joaquín Vilumbrales, se han ejecutado 797 pilotes de 80 cm de diámetro y 19,50 metros de longitud. Se han empleado 7 meses en su realización.

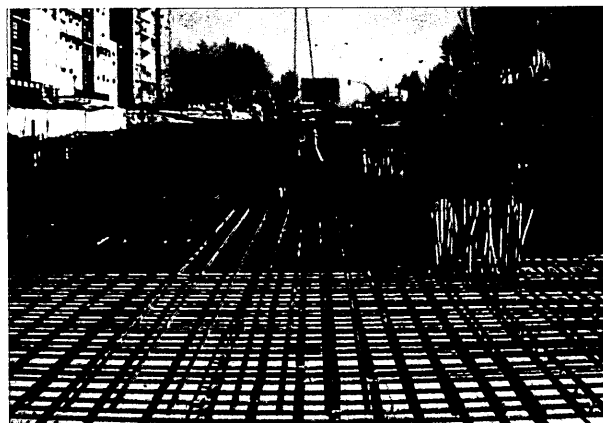
EJECUCIÓN DE LA ESTACIÓN JOAQUÍN VILUMBRALES

La Estación ocupa, en planta, una superficie rectangular de 146,50 m de largo por 26 m de ancho y consta de dos niveles. El superior o vestíbulo tiene 58 m de longitud, incluyendo la zona reservada a servicios, cuartos técnicos e instalaciones. El nivel inferior dispone de un importante andén central de 112 m de largo y 16 m de ancho, pilares centrales de 14 m de altura separados 10 m entre sí, pasillos laterales reservados a las vías y un fondo del andén con cuartos técnicos e instalaciones. El resultado arquitectónico es una Estación muy espaciosa y diáfana.

La Estación ha sido ejecutada a cielo abierto mediante pantallas continuas de hormigón, utilizando el sistema ascendente-descendente y que consiste en:

- Ejecución del recinto perimetral de pantallas de hormigón armado. Los módulos de pantalla se ejecutan alternativamente para mantener la estabilidad del conjunto.

- Ejecución de la pilas-pilote en la zona central.
- Excavación entre pantallas del espesor de la losa de cubierta. Construcción de la losa conectada a las pantallas y pilas-pilote con la armadura correspondiente.
- Excavación bajo la losa de cubierta, entre pantallas y pilares intermedios, una vez que han alcanzado la resis-



Arriba, colocación de ferralla en losa de cubierta. Abajo, excavación bajo losa de cubierta.



Hormigonado de losa de fondo.

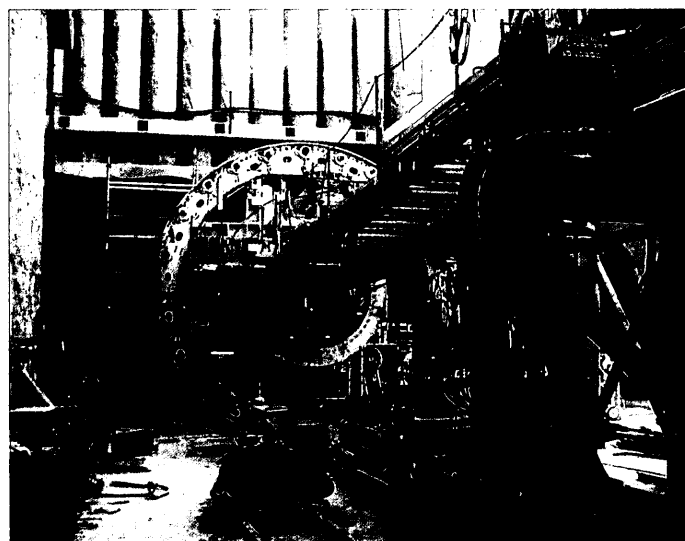
tencia estructural necesaria y hasta llegar a la cota inferior de la losa de vestíbulo.

- Construcción de la losa de vestíbulo, igualmente conectada a las pantallas y pilares.
- Excavación bajo losa de vestíbulo y bajo losa de cubierta, en la zona exenta de vestíbulo, una vez alcanzada su resistencia estructural, hasta llegar a la cota inferior de la losa de fondo.
- Construcción de una losa de fondo que sirve de: cierre inferior, de cimentación del andén y arriostramiento de pantallas y pilares.
- Ejecución del andén central con forjado de vigueta pretensada y bovedilla perdida de hormigón.

Las pantallas han supuesto la ejecución de: 211 ml de pantalla de 1 m de espesor y 24 m de altura, 112 ml de pantalla de 0,80 m de espesor y 20 m de altura y 60 ml de pantalla de 0,60 m de espesor y 11 m de altura.

Las 23 pilas-pilote que en realidad son los pilares centrales y su cimentación, constan de un pilote inferior de 1,50 m de

Montaje en telescopio 2 y primera llegada al pozo de Cuatro Vientos.



diámetro y profundidad media de 18 m y de un fuste, envuelto en tubo metálico, de 1 m de diámetro y altura visible de 14 m.

La ejecución de pantallas y pilas-pilote se ha completado en 5 meses y ha requerido la excavación de 7.234 m³ de pantallas. La losa de cubierta tiene un metro de canto y va fuertemente armada, cuantías de 180 Kg./m^{3/2} las zonas de refuerzo, ha requerido el hormigonado en cuatro fases de 4.247 m³.

La losa de vestíbulo, 906 m³ de hormigón, se ha ejecutado en una fase y ha sido necesario estar hormigonando durante 24 horas seguidas.

EJECUCIÓN DEL TÚNEL

El tramo se ejecuta con doble túnel de vía única, sección interior circular de 6,70 m de diámetro y separación mínima entre ejes de túneles de 11 m.

Se ha utilizado la tuneladora "Cibeles" de tecnología LO-VAT que trabaja con anillos no universales de 1,208 m de longitud. Los anillos se componen de 8 dovelas de 25 cm de espesor, actuando de cierre del anillo la dovela de clave. La tuneladora admite trabajar controlando la evacuación de las tierras del frente para equilibrar las presiones y disminuir el riesgo de formación de chimeneas. Además, tras el montaje del anillo se inyecta una lechada especial que rellena el espacio entre anillo y terreno reduciendo las subsidencias.

El telescopio de Mimbreras, telescopio 2, se ha utilizado como pozo de ataque en la perforación de los cuatro túneles de que consta el Proyecto, dos entre Cuatro Vientos y Mimbreras y dos entre Mimbreras y Alcorcón.

La secuencia de ejecución ha sido la siguiente:

- Montaje de la tuneladora en Mimbreras e introducción en el pozo de ataque, telescopio 2.



Desmontaje final tras la segunda llegada a la Estación.

- Perforación del túnel 1, eje 2 en dirección Noreste desde Mimbrenas, hasta llegar al primer pozo de extracción de Cuatro Vientos.
- Desmontaje parcial de la tuneladora, izado y transporte a Mimbrenas.
- Montaje y segunda introducción de la tuneladora en el telescopio 2.
- Perforación del túnel 2, eje 1 en dirección Nordeste desde Mimbrenas, hasta llegar al segundo pozo de extracción de Cuatro Vientos.
- Desmontaje parcial de la tuneladora, izado y transporte a Mimbrenas.
- Montaje y tercera introducción de la tuneladora en el telescopio 2.
- Perforación del túnel 3, eje 1 en dirección Suroeste desde Mimbrenas, hasta llegar a la Estación de Joaquín Vilumbreres que actúa como pozo de extracción.
- Desmontaje parcial de la tuneladora, izado y transporte a Mimbrenas.
- Montaje y cuarta introducción de la tuneladora en el telescopio 2.
- Perforación del túnel 4, eje 2 en dirección Suroeste desde Mimbrenas, hasta llegar a la Estación de Joaquín Vilumbreres que vuelve a actuar como pozo de extracción.
- Desmontaje parcial, izado, desmontaje final y evacuación de la tuneladora por haber finalizado su trabajo en la obra.

Se ha llegado a esta secuencia para aprovechar las ventajas operativas que supone un paraje como Mimbrenas, a campo abierto y bien conectado con la M-40, para: extraer las tierras, situar un parque de almacenamiento de dovelas e introducir los materiales de ejecución del túnel.

Las importantes dimensiones del telescopio 2 de Mimbrenas han sido debidas a la necesidad de disponer de cuatro zonas donde introducir la tuneladora y de disponer de un amplio espacio abierto para el estacionamiento e izado de los vagones que recogen las tierras excavadas en el frente de la tuneladora.

Se comenzó la ejecución del túnel el 18 de octubre de 2000 y se finalizó el 26 de noviembre de 2001. En esos 13 meses largos se han perforado 6.087 metros de túnel de vía única, se ha desmontado/montado por tres veces la tuneladora y se han efectuado las paradas técnicas necesarias. El rendimiento medio, descontando paradas, ha sido de 750 metros/mes con un máximo en octubre de 2001 de 894 m. El récord de avance diario se produjo el 15 de octubre de 2001 con la colocación de 43 anillos, equivalente a la excavación de 52 metros de túnel.

TRATAMIENTOS DEL TERRENO

Los terrenos atravesados por la traza pertenecen en su totalidad a la denominada facies Madrid con ocasionales superposiciones de terrenos más recientes y de origen similar. A excepción de los rellenos artificiales y algunos retazos de aluviales recientes, afloran arenas de miga, arenas tosquizas, tosco arenoso y algún retazo de tosco procedentes de la descomposición de los granitos y gneises de la Sierra de Guadarrama, y componiéndose fundamentalmente de arenas feldespáticas (arcosas), con cantos o bloques de la roca matriz alterada. La matriz del conjunto son arcillas amarillentas. Simplificando términos cabe considerar el predominio de materiales gruesos en superficie y más finos en profundidad.

La arena de miga, generalmente muy consolidada, predomina en el inicio de la traza, con niveles de agua colgados en la zona de Cuatro Vientos. Este predominio se mantiene hasta las cercanías del Arroyo de la Canaleja, con ocasionales inserciones más tosquizas. A partir de dicho arroyo y hasta Alcorcón, comienzan a aparecer dentríticos más finos igualmente sobreconsolidados.

Las actuaciones han venido impuestas por los incidentes que han ocurrido durante la perforación del túnel y que han exigido tratamientos de consolidación o refuerzo del terreno para que los trabajos se desarrollaran en condiciones óptimas de seguridad.

Estableciendo una ordenación cronológica, se pueden destacar las siguientes incidencias y actuaciones:

- En la ejecución del túnel 1, eje 2 entre telescopio 2 y Cuatro Vientos, se produjo una sobreexcavación con formación de una chimenea que se hizo visible en los terrenos del Regimiento de Zapadores Ferroviarios, próximo a Cuatro Vientos. El tratamiento consistió en un saneo de

la chimenea, excavación y extracción del terreno suelto, y un posterior relleno con tierras compactadas, se necesitaron 90 metros cúbicos de tierra. Antes de comenzar nuevamente con el avance de la tuneladora, se ejecutó un tratamiento con pantallas de mortero y de jet-grouting en el entorno de la tuneladora, en el frente y los dos laterales.

- En la llegada de la tuneladora al pozo de Cuatro Vientos, debido al empuje de la tuneladora al romper el frente de la pantalla de pilotes armados, se produjo un pequeño basculamiento de dichos pilotes alrededor de la viga de atado superior. Únicamente fue necesario encofrar y hormigonar el frente deteriorado.

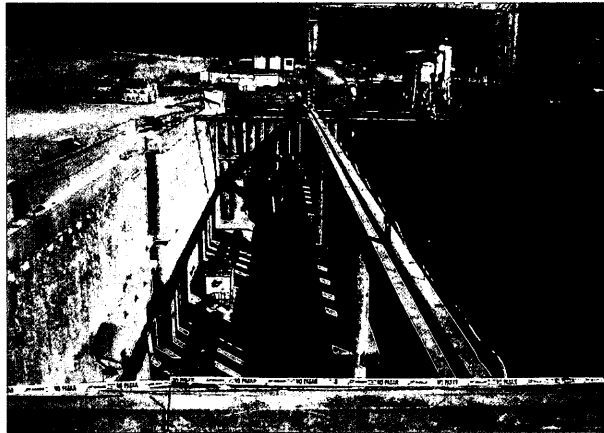
- En la ejecución del túnel 2, eje 1 entre telescopio 2 y Cuatro Vientos, se produjo una pequeña oquedad en el terreno, bajo el arcén de la M-40, reflejado en la formación de un badén en el carril derecho. Se utilizaron 15 metros cúbicos de mortero en su relleno, se fresó el firme y se repuso nuevamente.

- Los túneles 1 y 2, en el comienzo de la traza, pasan bajo la N-V. Como garantía de que no se habían dejado huecos bajo la vía durante el paso de la tuneladora, se ejecutó una campaña de sondeos en el firme de la carretera, en la zona de paso, siendo insignificante el volumen de mortero utilizado en su relleno.

- En el arranque del túnel 3, eje 1 entre telescopio 2 y Estación Joaquín Vilumbrales, se detectó una pequeña chimenea junto a la valla de entrada en el poblado de Mimbreras. Debido a su poca entidad no fue necesario interrumpir la perforación.

El tratamiento consistió en su saneo y relleno con mortero, unos 60 metros cúbicos.

- Próximo a llegar el túnel 3 a la valla de salida del poblado de Mimbreras, se detectaron hundimientos del terreno. Como primera medida, se avanzó con la tuneladora unos metros hasta colocarla en los terrenos milita-



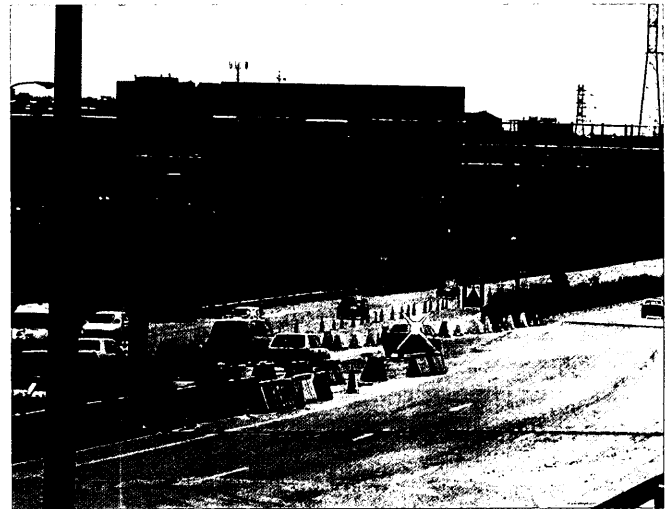
Telescopio 2.

res que hay pasada la valla y se paró la perforación. A continuación se saneó la zona y se rellenaron con mortero los huecos generados, entrando 300 y 390 metros cúbicos en los dos huecos detectados.

Antes de comenzar nuevamente el avance, se decidieron los siguientes tratamientos preventivos: campaña de sondeos de reconocimiento entre el telescopio 2 y la zona rellenada con mortero, vertido de mortero donde se detectaran huecos (la única perforación con admisión de mortero fue la más próxima a la zona tratada y tuvo una admisión de 150 metros cúbicos) y ejecución de cuatro pantallas de pilotes de mortero delante de la tuneladora, prolongando la más próxima al frente por los laterales del escudo. Con estas pantallas se pretendía que, en el comienzo del avance, no se siguiera arrastrando la formación de hueco. La pared de pilotes no permitiría la alimentación del escudo con las tierras situadas sobre el nivel de la cabeza de la tuneladora y que tienden a caer al no estar equilibradas con un frente cerrado.

- Al continuar con la perforación del túnel 3, se volvieron a detectar chimeneas entre la zona tratada y la M-

Ejecución de tratamiento con columnas Jet-Grouting en los márgenes de la M-40. A la derecha, Desvío en M-40 para paso de tuneladora.





Relleno con mortero en taladro en M-40, relleno de taladros en las Presillas y ejecución de taladros de comprobación en Avda. Joaquín Vilumbrales.

40 donde se decidió parar. Este recorrido se desarrolló en terrenos militares desocupados. Seguidamente, se procedió a sanear la zona y rellenar con tierras compactadas. Se utilizaron 1.200 metros cúbicos de tierras en la restitución del terreno.

Como tratamiento preventivo, se decidió ejecutar:

1) Entre telescopio 2 y M-40 y para el posterior paso del túnel 4:

Columnas de jet-grouting en toda la zona del poblado de Mimbrenas con perforaciones inclinadas desde ambos laterales del túnel de forma que, al cruzarse sobre la clave, consolidan el terreno superior y lateral y forman una bóveda de protección frente a la formación de huecos. Pueden producirse pequeños arrastres de terreno de clave, bajo la bóveda resistente, pero sin posibilidad de progreso y fácilmente reparables con la ejecución de perforaciones y vertido de mortero.

Tratamiento con columnas de jet-grouting, en la zona militar, junto a donde se produjeron chimeneas en el paso del túnel 3.

2) Para el paso de la M-40 de los túneles 3 y 4:

Debido a la importancia de la vía en el tráfico de Madrid, se estudió con especial intensidad el tratamiento a dar en el cruce bajo la M-40 y que consistió en:

- Tratamiento de jet-grouting, desde ambas márgenes de la vía, con columnas inclinadas y cruzándose sobre la clave del túnel para conseguir el efecto ya reseñado anteriormente.
- Pantallas de pilotes de mortero, paralelas al trazado de la vía y por tanto casi perpendiculares a la traza, en ambos arcenes y en la mediana de la vía. Su misión era la de impedir el progreso de algún arrastre de terreno que se pudiera producir en la excavación.
- Un desvío paralelo a la vía para mantener siempre cortados al tráfico, y por tanto sin circulación, los carriles de la M-40 situados sobre la zona de excavación.

- Perforación sistemática, en el tramo cortado por el paso de la tuneladora y detrás de ella, antes de la restitución del tráfico. Relleno con mortero de los huecos dejados.

- Ejecutar el paso bajo la M-40 en fin de semana para aprovechar la disminución del tráfico.

Finalizados los tratamientos se continuó la perforación del túnel 3, con resultados satisfactorios.

Se ejecutaron 20 taladros con una admisión total de 340 m³ de mortero, equivalente a algo más de 4 m³ por metro de túnel.

- El perfil del terreno presenta, a la llegada del túnel 3 a la ribera del cauce del Arroyo de la Canaleja, una depresión con disminución brusca de su montera, pasando a unos 5 m. Esto hace previsible la formación de chimeneas al excavar el escudo en terrenos poco consolidados.

Efectivamente, se formó una chimenea en el talud señalado que se fue arrastrando bajo la losa construida para anclar el túnel, a su paso bajo la capa freática en el Arroyo de la Canaleja. La actuación, como siempre en estos casos, consistió en el saneo y relleno con tierras compactadas en la zona a cielo abierto. Para rellenar bajo la losa se realizaron perforaciones con vertido de mortero en el hueco. Se ejecutaron 11 taladros y hubo una admisión de mortero de 48 m³.

- En el túnel 3, en la curva que hace la Avda Alcalde Joaquín Vilumbrales en su comienzo y poco antes de su cruce con la c/ Los Lirios, se produjo una sobreexcavación con formación de un gran hueco bajo el pavimento. La razón más probable fue que al encontrarse con el relleno, ejecutado en su día, para la colocación de un colector profundo que pasa por el eje de la Avenida, se perdiera el equilibrio de presiones necesario en el escudo. Se saneó ampliamente la zona, situada bajo el vial municipal, vertiéndose en total 486 metros cúbicos de mortero.

- En el trayecto del túnel 3 a lo largo de la Avda. Alcalde Joaquín Vilumbrales, se constató un exceso de sobreexcavación, sin llegar a la formación de chimeneas. Re-

alizadas unas perforaciones de reconocimiento, se observaron huecos sobre la tuneladora, de 2 a 3 metros de altura y, encima, una capa de tosco - arena tosquita que impedía la progresión del hueco hacia arriba. Se decidió continuar con la perforación del túnel y realizar una campaña de perforaciones, distanciadas entre 6 y 8 m, rellenando con mortero los huecos detectados. Para el paso del túnel 4, se realizaron unas pantallas de pilotes de mortero, perpendiculares a la traza y separadas de 20 a 30 m, estas pantallas servirían para cortar la progresión de los huecos generados.

- En el túnel 4, eje 2 entre el telescopio 2 y la Estación Joaquín Vilumbrales, hubo una única chimenea. Esta se produjo en el mismo punto de disminución de montera que en el túnel 3 y, realizándose el mismo tratamiento, se ejecutaron 11 taladros con una admisión de 88 m³ de mortero. En el paso de la M-40, que se realizó siguiendo el mismo procedimiento que en el túnel 3, se ejecutaron 10 taladros con una admisión de 246 m³ de mortero. En el paso de la Avda. alcalde Joaquín Vilumbrales, se realizaron idénticas perforaciones a las del túnel 3 para el relleno de los huecos con mortero.

- Finalmente y para evitar la posibilidad de que hubieran pasado desapercibidos pequeños huecos producidos por la tuneladora, se decidió realizar toda una campaña de perforaciones, en los dos ejes, entre el telescopio 2 y la Estación de Joaquín Vilumbrales.

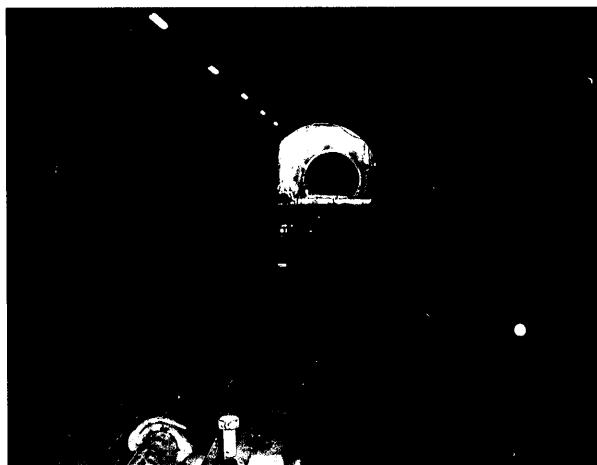
Esta campaña consistió en realizar perforaciones en los ejes 1 y 2 en:

- Las zonas que se habían mantenido sin tratar entre la M-40 y el Arroyo de la Canaleja. Estas perforaciones no dieron hueco.
- Complementando las perforaciones sistemáticas realizadas tras la tuneladora en el Parque de las Presillas y la Avda. Alcalde Joaquín Vilumbrales, se estableció el criterio de que, cuando una perforación había tenido una admisión de mortero igual o superior a 20 m³, se ejecutarían perforaciones en ambos laterales del túnel al tresbolillo para asegurar el relleno de los huecos ya tratados. Se realizaron 68 taladros en el túnel 3 con una admisión de 159 m³ de mortero y 33 taladros en el túnel 4 con una admisión de 27 m³ de mortero.

MONTAJE DE VÍA

Ha sido necesario montar 16.245 metros de carril distribuidos en los túneles, telescopios, mango de maniobras, ramales y Estación.

Se comenzó el 1 de junio de 2001 y se finalizó el 2 de Junio de 2002, un año con varias interrupciones por necesi-



Hormigonado de vía en túnel 1.

dades de ejecución. El rendimiento del montaje ha sido relativamente bajo, una media de 1.400 metros de vía por mes, trabajando por el día en el montaje y por la noche en el hormigonado. El gálibo horizontal del túnel impide la maniobra y cruce de las cubas de hormigón, esto se ha reflejado en una demora de los trabajos de hormigonado de vía ya que el trayecto de las cubas dentro del túnel se debía realizar marcha atrás, bien a la ida o a la vuelta. El hormigonado por la noche permitía una mayor continuidad en el suministro del hormigón, debido al menor tráfico. ■

FICHA TÉCNICA

PROMOTOR	MINTRA (Madrid, Infraestructuras del Transporte) Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes. Comunidad Autónoma de Madrid
AUTOR DEL PROYECTO DIRECCIÓN DE OBRA	MINTRA, IBERINSA José María Díaz Retana, <i>Ingeniero de Caminos, C. y P.</i> Petronila Navarro Sanz, <i>Ingeniero Técnico de Obras Públicas.</i>
ASESOR GEOTÉCNICO	Carlos Oteo Mazo, <i>Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.</i>
ASESOR TUNELADORA:	Felipe Mendaña Saavedra <i>Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.</i>
CONSTRUCTORA	DOPSA Juan José Jiménez López <i>Ingeniero de Caminos, C. y P.</i>
ASISTENCIA TÉCNICA	IBERINSA Antonio Martínez Rueda, <i>Ingeniero de Caminos, C. y P.</i> Rafael Galindo Patón, <i>Ingeniero Técnico de Obras Públicas.</i>
CONTROL DE CALIDAD	AEPO
PRESUPUESTO	116.361.707 Euros
PRESUPUESTO INSTALACIONES	21.544.440 Euros
PLAZO DE EJECUCIÓN	31 meses.