

Túnel de Alta Velocidad entre Atocha y Chamartín

New High Speed Tunnel between Atocha and Chamartín Stations

Revista de Obras Públicas
nº 3.538. Año 159
Diciembre 2012
ISSN: 0034-8619
ISSN electrónico: 1695-4408

Manuel María Puga Fernández. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
ADIF. Subdirector de Área de la Dirección de Proyectos y Obras de Alta Velocidad. Madrid (España). mmpuga@adif.es
Lucía G. de la Ossa González. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
ADIF. Jefe de Infraestructuras. Madrid (España). lossa@adif.es
Pedro Antonio Lázaro Molinero. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
INECO. Director de Obra. Madrid (España). pedro.lazaro@ineco.es

Resumen: El nuevo túnel de alta velocidad entre las estaciones de Atocha y Chamartín(1) permitirá la conexión de las líneas de alta velocidad del sur y levante con las líneas de alta velocidad del norte y noroeste, mejorando el modelo de explotación de las dos estaciones madrileñas, pues éstas pasarán de tener configuración en terminal a ser pasantes.

El artículo describe los métodos de excavación empleados, esencialmente mediante tuneladora EPB, con unos rendimientos excelentes y sin prácticamente incidentes, gracias en parte a las labores de control realizadas. Además se exponen los trabajos posteriores de relleno y montaje de vía, con procedimientos de ejecución desarrollados desde la propia obra, además de hacer mención a elementos como son los andenes de evacuación y drenaje. Por último se comentan los trabajos referidos a instalaciones no ferroviarias y a las labores de atención al ciudadano, tan importantes al tratarse de una obra ejecutada íntegramente en entorno urbano.

Palabras Clave: Madrid; Tuneladora EPB Gran Vía; Túnel de alta velocidad; Dovelas; Ancho UIC; Sistema de carril embebido

Abstract: The new high-speed tunnel between Atocha and Chamartín will allow the connection of the south and east high-speed lines with north and northwest high-speed lines, improving the exploitation model of both Madrid stations, as they will transform from terminal into commuter stations.

The article describes the excavation methods of employees, essentially by EPB TBM, with excellent performance and with virtually no incidents, thanks in part to labor control and the work performed. It also outlines the later works of filling in and mounting the track with new implemented procedures developed within our own construction site, and to mention the platform elements such as evacuation and drainage. Furthermore, the work related to non-rail facilities and the work for citizen services is as important as the work performed entirely in the urban environment.

Keywords: Madrid; TBM EPB Gran Vía; High speed tunnel; Segments; UIC gauge; Embedded Rail System

1. Descripción

Esencialmente la singularidad de esta obra radica en ser un túnel de la red de alta velocidad (2) bajo la ciudad de Madrid, con los problemas que conlleva trabajar bajo edificaciones y cruzar diferentes tipos de infraestructuras. Para minimizar las posibles afecciones que pudiesen surgir debido a estos factores, y teniendo en cuenta que entre las estaciones de Chamartín y Atocha existe una diferencia de cota de casi 120 m, el túnel discurre a una considerable profundidad, su-

perior a los 55 m en algunos puntos, con una fuerte pendiente, ligeramente superior al 3% en algunos tramos, para salvar a lo largo de su recorrido los túneles de Metro, de Cercanías o carreteros, los aparcamientos, además de un considerable número de colectores y galerías subterráneas.

Se trata de un túnel con un diámetro interior de 10,4 m, vía doble de ancho UIC (1.435 mm) y velocidad máxima de proyecto de 120 km/h. Esta nueva conexión en ancho internacional de 7,3 km, de los cuales 6,9 km son soterrados, se constituye como el tú-

Fig. 1. Cabecera sur Chamartín abril 2009 (izq.) y febrero 2012 (dcha.).



nel ferroviario más largo ejecutado en Madrid mediante una única tuneladora hasta la fecha. El cale por la estación de Atocha se efectuó el 11 de febrero de 2011, algo más de 9 meses después de iniciar la excavación desde la cabecera sur de la estación de Chamartín.

La excavación se ha ejecutado prácticamente en su totalidad mediante una tuneladora de presión de tierras o EPB(3). Además de la tuneladora, se han empleado otros métodos para la construcción del túnel, como el empleado en el cruce de la calle de Mateo Inurria, junto a la Estación de Chamartín, donde debido a la poca cobertura inicial, se tuvo que construir un falso túnel de protección en los primeros 120 m de

excavación de la tuneladora, y que consistía en dos pantallas de pilotes laterales y una losa superficial. En los últimos 27 m, bajo la glorieta del Emperador Carlos V, debido a la necesidad de un gálibo mayor, se tuvo que emplear el método Alemán de excavación en mina.

Además del túnel este proyecto ha construido otras grandes estructuras. Un pozo de ataque para montaje de la tuneladora, de más de 190 m de longitud en terrenos de la estación de Chamartín, un pozo para desmontaje de la tuneladora, de unos 480 m² de superficie y 45 m de profundidad delante de la fachada histórica de la estación de Atocha, y seis pozos circulares de 8 m de diámetro interior y una profundidad

Fig. 2. Montaje rueda de corte marzo 2010 en Chamartín y desmontaje en Atocha en febrero de 2011.





Fig.3. Ejecución pozo ataque enero 2010.

superior a los 45 m en algunos de ellos. Cuatro de estos pozos, concretamente los situados en la calle de Alberto Alcocer, avenida de Concha Espina, plaza de República Argentina y calle de Espalter, servirán como salidas de emergencia. Los otros dos, situados en el paseo de la Habana y en la calle Serrano, cerca del cruce con M^a de Molina, servirán como pozos de ventilación.

Las salidas de emergencia, situadas a una distancia máxima de 1.000 m (4), son 9, las cuatro anteriormente mencionadas, otra en la boca norte del túnel, en la calle Hiedra, otra en el pozo de Atocha, y las tres restantes inicialmente previstas en pozo, debido a las interferencias de dichos pozos con las obras de los aparcamientos de Serrano, se cambiaron por galerías que conectan con la última planta de cada uno de los aparcamientos.

Como se ha comentado anteriormente, el túnel tiene una vía doble en ancho UIC, y después de un estudio de ruido y vibraciones se decidió que la tipología fuera de vía en placa con el carril embebido en elastómero. Dicho sistema tiene uno de los mejores comportamientos en cuanto a la transmisión de las vibraciones debidas a la circulación de los trenes, lo cual es muy importante cuando el túnel es urbano y con una cobertura pequeña como ocurre en nuestro caso en la parte norte del trazado. Esta tipología de vía tiene la ventaja añadida de facilitar el acceso a cualquier punto del túnel, que se puede hacer con cualquier tipo de vehículo no ferroviario, tanto para la fase de construcción como para la de mantenimiento. La distancia entre ejes de vía es de 4 m y el túnel cuenta con dos caminos laterales de evacuación de 1 m de ancho y una altura de 55 cm sobre la cabeza del carril, para facilitar la evacuación de los trenes.

El proyecto también incluye el montaje de las instalaciones que podríamos llamar no ferroviarias, las no relacionadas directamente con el tráfico ferroviario, entre las que podemos incluir los sistemas contraincendios, el sistema de bombeo del drenaje, iluminación, ventilación, centros de transformación, etc.

2. Trazado

El trazado de esta nueva infraestructura comienza en Atocha, frente a la fachada de la marquesina his-

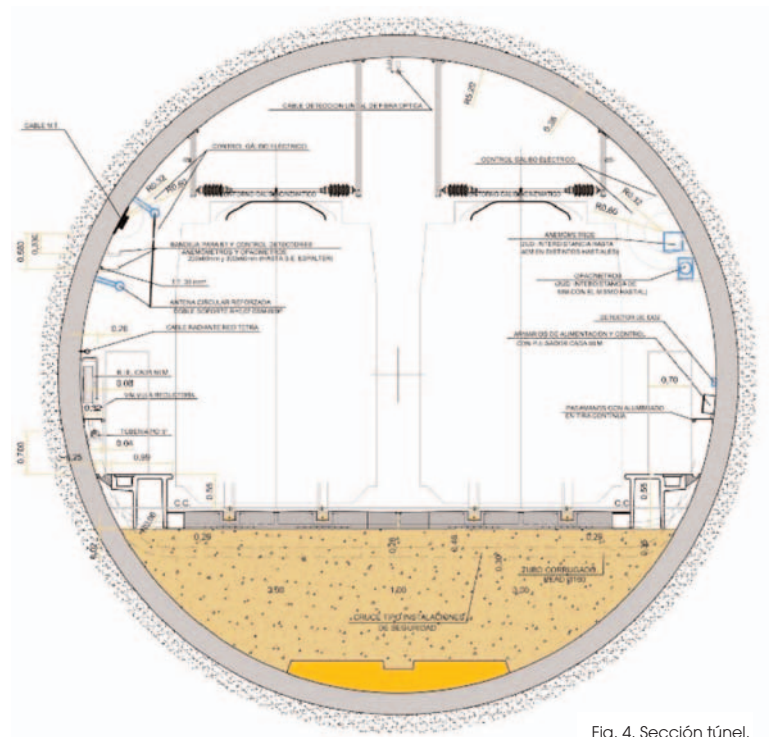


Fig. 4. Sección túnel.



Fig. 5.
Alzado túnel.



Fig. 6.
Planta túnel.

tórica de la estación, pasa bajo el Real Jardín Botánico describiendo una curva y contracurva, ambas de 270 metros de radio, para alcanzar el eje de la calle Alfonso XII, pasar bajo la Puerta de Alcalá, y continuar bajo la calle Serrano hasta la Plaza de la República Argentina, para desde aquí y discurriendo bajo edificaciones, atravesar calles como Concha Espina y Alberto Alcocer hasta alcanzar la cabecera sur de la estación de Chamartín.

Aunque el terreno atravesado a lo largo del túnel ha sido netamente arcilloso, la variación de proporciones entre materiales detríticos gruesos (arena) y los finos (limo y arcilla) ha ido variando gradualmente desde los inicios de la excavación en Chamartín, donde predominaba la arena de miga, para ir pasando paulatinamente a arena tosca, tosco arenoso y tosco, en función del porcentaje de finos, hasta llegar al final del tramo, en la zona de Alfonso XII y glorieta del Emperador Carlos V, donde se encontraba la facies peñuela.

La tipología del terreno atravesado, suelo bastante compacto y con poco contenido de agua, junto a un control exhaustivo en la ejecución, ha permitido obtener rendimientos excelentes a lo largo de toda la excavación.

3. Sistemas de excavación

3.1. Excavación mediante Tunneladora

Para la ejecución de la mayor parte del túnel se ha utilizado una tunneladora tipo EPB (Earth Pressure Balanced) del fabricante Herrenknecht(5), bautizada como "GRAN VÍA". Tiene un diámetro de excavación de 11,495 m, una longitud total de 125,6 m, y un peso de 2.200 t aproximadamente. La construcción de esta tunneladora se llevó a cabo en su mayor parte en la fábrica que Herrenknecht tiene en Schwanau (Alemania), en un plazo de 1 año, contando

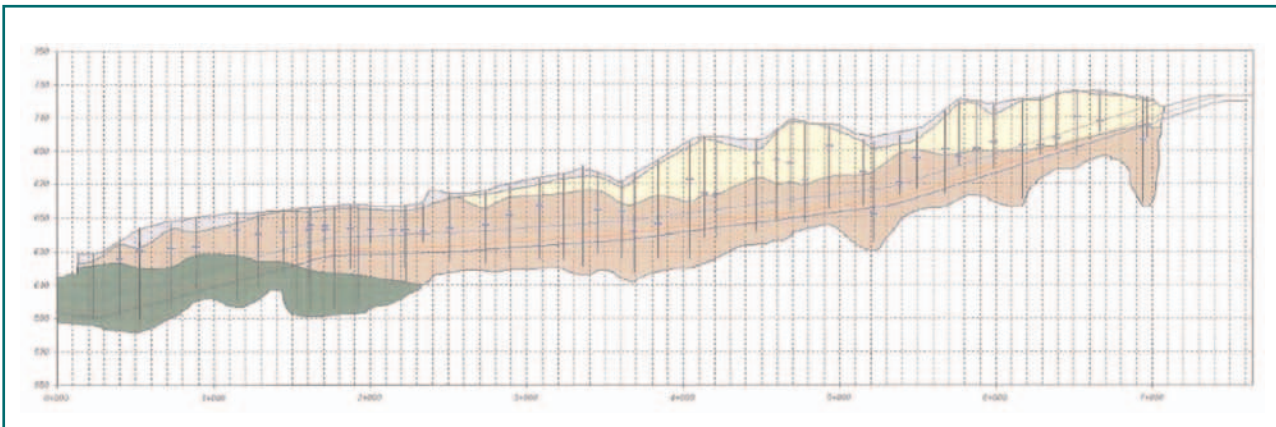


Fig. 7. Perfil
geológico
longitudinal del
túnel.



Fig. 8. Recepción tuneladora diciembre 2009.

desde que se realizó el pedido, hasta su recepción, en diciembre de 2009.

El proceso de montaje duró 4 meses, transportándose las piezas de mayor peso y más voluminosas por barco hasta el puerto de Alicante, y desde allí mediante transporte especial hasta la obra.

El arranque de la tuneladora se efectuó el 24 de abril de 2010. Como ya hemos comentado, los primeros 120 m se excavaron al abrigo del falso túnel dado la escasa cobertura existente, pasando por encima de la línea 9 de Metro. Al final de este túnel artificial, se construyó un pozo que sirvió como punto de parada y mantenimiento. En esta parada se revisó la rueda de corte, y se terminó de poner a

Fig. 9. Interior de la tuneladora.



punto la tuneladora y las instalaciones exteriores que no se había podido terminar debido a la falta de espacio en la cabecera sur de Chamartín.

A lo largo de su trazado, la excavación del túnel ha pasado bajo otras 7 líneas de Metro, bajo un ramal de Metro y bajo 3 túneles de Cercanías, sin que se produjese ninguna incidencia.

Además de estas infraestructuras, la tuneladora pasó bajo los 3 aparcamientos que en ese momento se estaban construyendo en la calle Serrano, llevándose a cabo una coordinación del todo satisfactoria entre ambas Direcciones de Obra.

Otros elementos de gran interés cultural e histórico bajo los que se pasó sin ningún tipo de incidencia fueron la Puerta de Alcalá y el Pabellón Villanueva, situado en el Real Jardín Botánico.

Al excavar con una tuneladora EPB en un entorno urbano el principal objetivo es reducir, tanto como sea posible, la pérdida de volumen de terreno, de modo que los asentamientos que se puedan producir se mantengan dentro de unos límites aceptables. Para ello es fundamental operar la máquina de acuerdo a un plan de avance con valores de referencia y rangos de operación basados en una serie de parámetros.

Los parámetros de control más relevantes durante la fase de excavación con tuneladora han sido las presiones en el frente, la inyección de mortero en el trasdós de las dovelas (para rellenar el gap) y el peso del material excavado con el objeto de evitar sobreexcavaciones o subsidencias fuera de los márgenes de tolerancia establecidos previamente, en base a la tipología de terreno y edificación existente.

Las presiones que se definieron como las más adecuadas antes del comienzo de la excavación se han ido cumpliendo, y únicamente se han debido modificar en zonas concretas, como fueron los cruces con algunas líneas de Metro y el paso bajo los aparcamientos de Serrano, reduciéndose en estos casos tanto la presión en la cámara como la de inyección de mortero para evitar levantamientos en dichas estructuras.

Las presiones en la cámara han variado en un rango de 0,2-1,4 bares por encima de la presión atmosférica (Tabla 1), con una tasa de tratamiento del terreno del 35-40% de su volumen, un peso medio de 400 t de terreno por anillo excavado, y un volumen de inyección de mortero en el gap de unos 12 m³ por ani-

Tabla 1. Total parámetros.

	Rango	Valor medio	Valor máximo
Presión cámara (bar)	0,2-0,4	0,3	1,4
Tasa de tratamiento (%)	35-40	40	60
Empuje de contacto (kN)	10.000-15.000	12.000	22.500
Empuje total (kN)	20.000-25.000	22.500	38.000
Par (MNm)	10-12,5	11	19,13
Velocidad rueda (rpm)	1,2-1,6	1,3	1,8
Avance (mm/min)	40-80	60	90

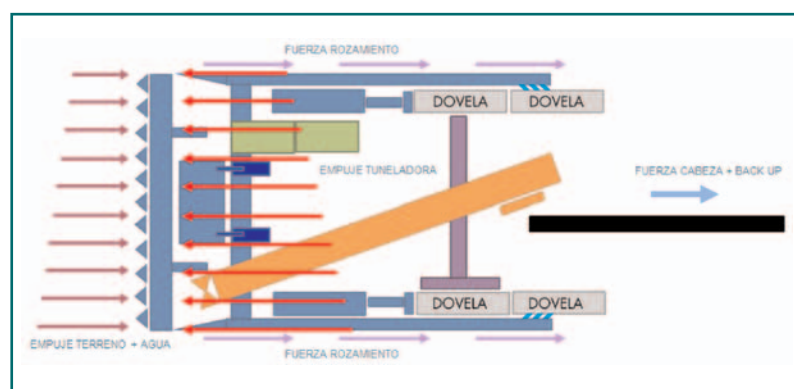


Fig.10. Representación de esfuerzos durante el avance de la EPB.

Tabla 2. Resumen consumo herramientas de la rueda de corte.

	Picas	Rastreles	Rippers
Total	1719	338	336
Ud./m lineal túnel	0,232	0,046	0,045
m³ excavado/Ud.	446	2270	2284

llo excavado, con una presión entre 0,2-0,6 bares por encima de la presión de la cámara.

Además del control de estos parámetros, y dentro de la propia planificación de la excavación se encontraba la previsión de las paradas programadas para la revisión de la rueda de corte (Tabla 2). Debido al fuerte desgaste que la arena de miga produce, con un alto contenido en sílice, en el tramo inicial se programaron paradas de mantenimiento cada 150-200 m aproximadamente, realizándose previamente tratamientos desde superficie para consolidar el terreno en las zonas donde se llevaría a cabo dicho mantenimiento. Dichas paradas en terrenos mixtos o arcillosos se ampliaron hasta unos 500-600 m, ya sin necesidad de ejecutar consolidaciones previas del terreno debido a la mayor profundidad y al mejor comportamiento del frente de excavación.

En referencia al anillo empleado para el revestimiento del túnel, se trata de un anillo tipo Universal, formado por 6 dovelas más una de cierre. El tamaño de la dovela de cierre es 1/3 de las restantes, lo que da lugar a 19 posibles posiciones de las dovelas, y que al tener una sección troncocónica, permite orientar, no solo en planta como sería en un anillo de izquierda-derecha, sino también en alzado cada sección de anillo. La longitud de cada dovela es de 1,8 m, espesor de 36 cm y el hormigón empleado un HA-40(6) con adicción de fibras metálicas, para evitar en la medida de lo posible las roturas de las esquinas durante la manipulación (efecto spalling).

Debido a la existencia en el trazado en planta de curvas de 270 m, la conicidad del anillo se tuvo que diseñar para que permitiese describir curvas de 200 m, y

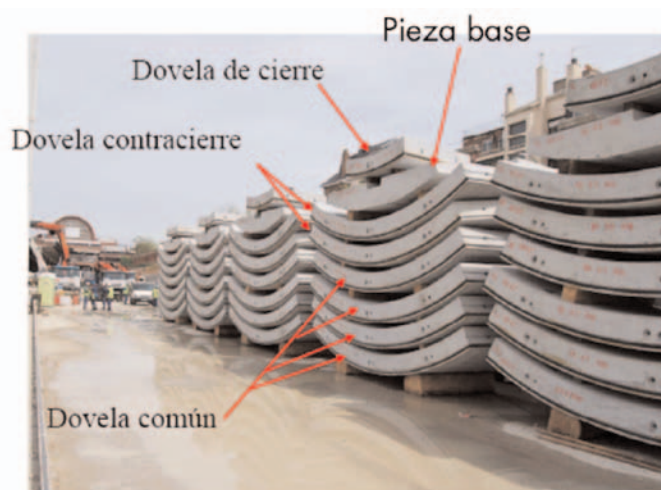


Fig.11. Acopio de dovelas que conforman el anillo, junto con la pieza base.



Fig. 12. Dovelas con juntas hidrofílicas.

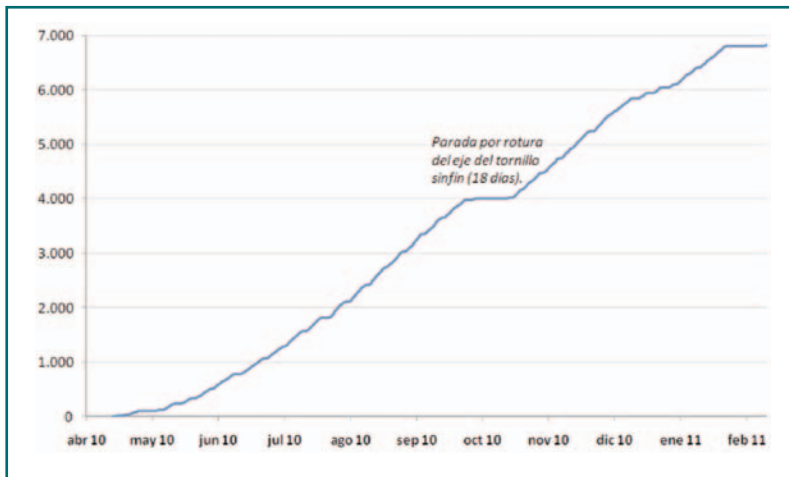


Fig.13. Avanzado acumulado a origen.

tener la suficiente holgura para corregir posibles desvíos de la tuneladora.

En las zonas con presencia de agua, además de la junta propia de las dovelas (EPDM), se emplearon juntas hidrofílicas expansivas, las cuales aumentan su volumen hasta 6 veces cuando entran en contacto con el agua, de manera que hacen un segundo sello por detrás de la junta clásica de la dovela.

A lo largo de toda la excavación no ha habido prácticamente incidencias, lo que se debe en gran parte a la buena organización tanto en la producción como en el mantenimiento de la maquinaria, que al final se ha traducido en unos excelentes rendimientos y una muy buena ejecución del túnel. De las pocas incidencias que ha habido, sólo dos son reseñables:

El 2 de mayo de 2010, a los pocos días de iniciarse la excavación desde Chamartín, se produjo un desvío vertical hacia abajo sobre la alineación teórica de 655 mm, ocasionado por un fallo de los potenciómetros de los gatos de empuje. Se reajustaron los potenciómetros de los cilindros solventando el problema. De cualquier forma, este incidente no tuvo consecuencia alguna en el trazado, puesto que solo se tuvieron que demoler cinco anillos más de los que ya se tenía planificado demoler, y así obtener el gálibo suficiente bajo la losa de protección del falso túnel.

El 6 de octubre de 2010 se produjo la rotura del eje del tornillo sinfin. Tras el análisis de la rotura y de todo el tornillo por los técnicos de la obra y de Herrenknecht, se determinó que la rotura estaba causada por un defecto de fábrica en una de las soldaduras del tornillo. Dada la imposibilidad de sacar la pieza rota se procedió a su reparación *in situ*, con la dificultad que entraña mover piezas de decenas de toneladas en un espacio tan re-

ducido. Se abrió la camisa del tornillo, se procedió al saneo de la soldadura, se alineó el eje y se soldó de nuevo. Se reanudó la marcha de la excavación el día 23 de octubre de 2010, con una parada total de 18 días.

Teniendo en cuenta estas dos incidencias, así como otros percances de menor importancia y los tiempos de parada para mantenimiento, la excavación de los prácticamente 6,9 km se efectuó en algo más de 9 meses. Un hito reseñable es el máximo de excavación obtenido el 19 de septiembre de 2010 con 1.167,56 m en 31 días, con un máximo de 57,47 m en una sola jornada. El avance medio final de la obra ha sido de unos 25 m/día. El coeficiente de utilización (tiempo de producción / tiempo total) de la máquina a origen es del 56,92 %, siendo el mejor mes de producción el de agosto de 2010 con un valor del 68,91 %.

3.2. Excavación en mina

Método Alemán

Además de la tuneladora empleada, y motivado por la necesidad de ejecutar una bifurcación para conectar con el túnel bypass, bajo la estación de Atocha, y el túnel de la futura estación pasante, a construir bajo la calle de Méndez Álvaro, se tuvo que recurrir a este método para obtener una mayor anchura del túnel (14 m) en los últimos 27 m antes de llegar al pozo de desmontaje. El método consiste básicamente en la construcción de los hastiales antes de la bóveda, al contrario que en el más habitual Método Tradicional de Madrid, y se suele utilizar cuando el ancho requerido es im-

Fig.14. Cale en Atocha el 11 de febrero de 2011.



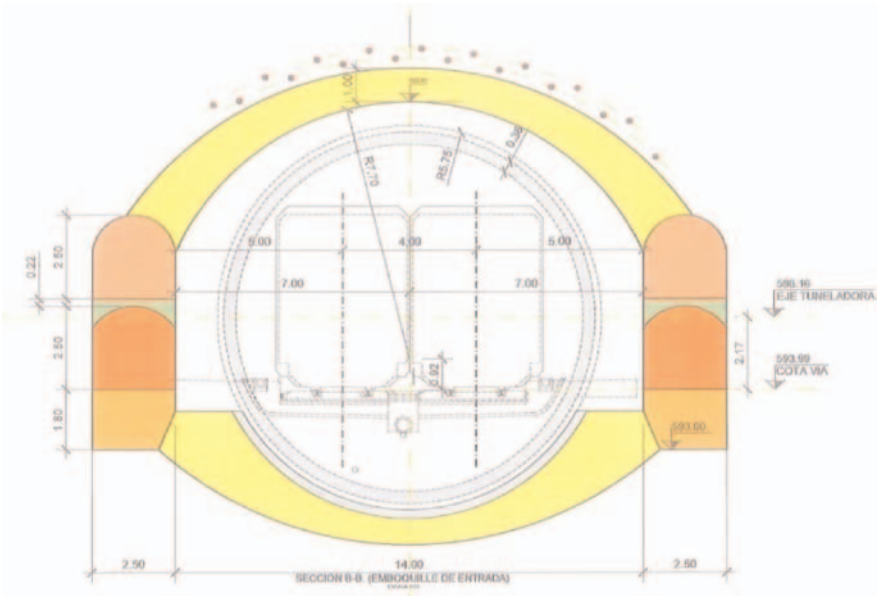


Fig. 15. Sección túnel método Alemán.

Tabla 3. Resumen ejecución túnel método Alemán.					
Hastial derecho (m)		Hastial izquierdo (m)		Bóveda (m)	Contra-bóveda (m)
Galería inferior	Galería superior	Galería inferior	Galería superior		
26,75	26,70	27,85	27,85	27,60	27,65

Tabla 4. Resumen ejecución a origen salida emergencia aparcamiento 1.				
Avance		Destroza		
		Hastiales		Contra-bóveda
Nº de pases	Longitud a origen (m)	Nº de bataches	Longitud a origen (m)	Longitud a origen (m)
35	74,95	38	75,00	75,00

Fig. 16. Excavación de la galería para la salida de emergencia a uno de los aparcamientos de Serrano.



portante. Dentro de este método de excavación existen diversas variaciones, que en nuestro caso consistieron en la ejecución de dos galerías de 2,5 x2,5 m² de sección en cada uno de los hastiales, con una segunda fase de destroza de 1,8 m de altura, para posteriormente rellenarlas de hormigón. Sobre esas galerías hormigonadas se procedió a excavar una nueva galería similar a la del avance de la inferior, para hormigonarla de nuevo y así obtener el hastial completo. Posteriormente se atacó la construcción de la bóveda de manera similar al Método Tradicional de Madrid, con una galería de avance y ampliaciones laterales hasta completar todo el ancho y hormigonar toda la bóveda de una vez, apoyándola en los hastiales previamente hormigonados. Los tramos de bóveda ejecutados tenían una longitud de 2,5 m. Una vez terminada toda la bóveda se procedió a excavar la destroza del túnel, entre los hastiales ejecutados anteriormente, y al hormigonado de la contra-bóveda, que en este caso era especial, ya que debía servir como cuna a la tuneladora, para que la guiase hasta el pozo de desmontaje.

Los rendimientos obtenidos fueron bastante buenos para tratarse de una excavación en mina. Así, para las galerías inferiores de los hastiales, que se realizaron en dos fases, de avance y destroza, los rendimientos obtenidos en la fase de avance estuvieron entre 3,5 a 6 m/día, mientras que para la destroza fueron entre 7 a 9 m/día. Respecto a la bóveda, ejecutada a sección completa (en tramos de 2,5 m), se terminó en menos de 1 mes.

Método Tradicional de Madrid

Aunque no en el túnel principal, este método se ha utilizado en las galerías de conexión del túnel con los pozos de ventilación, con los pozos de salida de emer-





Fig.17. Plano con la traza del túnel, zona de influencia y localización de los dispositivos de auscultación.

gencia, con los aparcamientos de la calle Serrano, y para las cavernas de instalaciones. Como hemos comentado, en este método se comienzan los trabajos con la construcción de la bóveda para posteriormente ejecutar los hastiales a la vez que se excava la destroza del túnel, terminando con la ejecución de la contrabóveda. Los pases normales han sido de 2,5 m, y para el revestimiento se ha utilizado en las galerías horizontales el hormigón y en la inclinadas el ladrillo.

4. Controles

Como trabajos previos de control, a finales de 2008 se inició una campaña de inspecciones de edificios que se encontraban próximos a la traza. Para ello se definió la franja de la cubeta de asientos, dependiente de la profundidad del túnel, moviéndose en el rango de 50 a 120 metros de ancho. Se trataba de inspecciones visuales, de fachada, zonas comunes, vi-

viendas y locales. En total se inspeccionaron más de 500 edificios, así como cerca de 1400 viviendas y locales sitios en estos.

El resultado de las inspecciones se documentaba en un informe que, previo depósito ante notario, era entregado al presidente de la comunidad (la parte del informe que afectaba al edificio en su conjunto) y a los propietarios de las viviendas y locales inspeccionados (en la parte que afectaba a su propiedad).

Respecto a la auscultación, el hecho de que la ejecución del túnel haya discurrido al 100% en entorno urbano, ha implicado la puesta en marcha de un amplio dispositivo de control con más de 3.500 sensores dispuestos a lo largo de la traza.

Estos sensores han permitido realizar un seguimiento exhaustivo de las distintas estructuras afectadas, como son los aparcamientos de la C/ Serrano (en ejecución al paso de la tuneladora), 9 túneles de Metro de Madrid, 3 túneles de Cercanías, y más de 500 edificios, entre los que se podrían destacar la Puerta de Al-

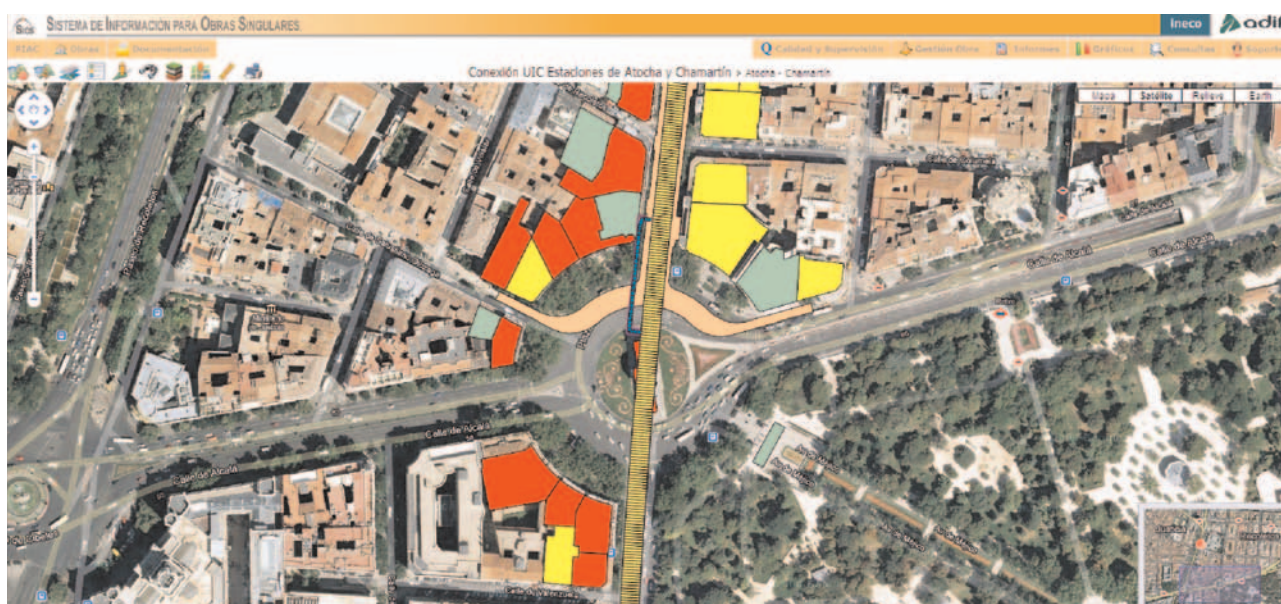


Fig.18. Plano con el trazado del túnel y los edificios con la sensibilidad asignada a cada uno de ellos.

calá, el Real Jardín Botánico, el Casón del Buen Retiro, museo Arqueológico, etc.

Como ya se ha dicho, en el caso de las edificaciones se realizó un exhaustivo estudio de la sensibilidad estructural de cada inmueble, así como un meticuloso trabajo de inspección de patologías, todo ello previo al inicio de la excavación. Con todos estos datos y con la información proporcionada por Patrimonio Histórico, se estableció un código de colores verde, amarillo y rojo en función de la menor o mayor sensibilidad estructural de cada edificio afectado por la cubeta de asientos, de forma que en una misma manzana podían coexistir edificios de los tres tipos, independientemente de la distancia al eje del túnel. Cada código lleva asignado unos umbrales y unas frecuencias de lecturas específicas, siendo los edificios con código rojo los que presentan los umbrales de asiento más restrictivos, así como la mayor frecuencia de lecturas, llegando a realizarse de 3 a 4 campañas de nivelación topográfica al día (mañana, mediodía, tarde y noche).

En el caso de los túneles existentes (Metro de Madrid y Cercanías), además de los controles manuales de asientos, convergencias, peralte y alabeo (no siendo estos dos últimos controles habituales en la auscultación convencional, pero que en esta obra se han instaurado de forma rutinaria), se optó por la utilización de instrumentación automatizada a través de electroniveles instalados en las vías. El uso de los electroniveles permitió tener un control continuado y en tiempo real de los asientos 24h al día con el fin de po-

der observar el comportamiento de las vías incluso con el servicio de trenes restablecido. Esta información se proporciona vía web y lleva asociada un sistema de alertas telefónicas y por correo electrónico en el momento en el que alguno de los electroniveles rebasa el umbral establecido.

Como medida adicional, para minimizar las posibles afecciones al tráfico de trenes, y para garantizar en la mayor medida posible la seguridad de los túneles, se estableció un protocolo de cruces cuya premisa principal era que el cruce de la tuneladora bajo los túneles no podía iniciarse antes de las 22:00h. De este modo se ejecutaba el tramo de excavación de mayor riesgo, el que coincide con la proyección vertical del túnel, en el momento de menor tráfico ferroviario.

Para realizar todo el control de los distintos frentes de trabajo abiertos (excavación con tuneladora, excavación de pozos, instalación de sensores...) se necesitó un amplio equipo humano de auscultación las 24h del día, 7 días a la semana, durante todos los meses que duró la excavación. Este amplio dispositivo permitió tener en todo momento un conocimiento exhaustivo de los distintos movimientos con la suficiente antelación como para tomar las medidas necesarias para frenar dichos movimientos.

Todos los datos registrados diariamente han sido cargados en un moderno software de análisis (SIOS) cuyo sistema de aviso de umbrales ha permitido estar informados en todo momento de los movimientos que se han ido detectando en cada campaña de lectura.

5. Relleno

Una vez finalizada la fase de excavación, la siguiente operación de entidad en ponerse en marcha fue la del relleno de parte de la contrabóveda del túnel(7), a fin de obtener el ancho requerido para el montaje de las vías, con la dificultad añadida de que el túnel solo contaba con una boca de acceso y que los camiones no podían dar la vuelta en el interior.

Para ello, y como otro más de los procedimientos aplicados en esta obra que han resultado de extrema eficacia, se decidió utilizar para introducir el material de relleno la propia cinta transportadora de extracción del material excavado por la tuneladora (Fig. 21), para lo cual en la fase de diseño de la cinta ya se tuvo en cuenta esta circunstancia.

En base a los requerimientos de gálibo del túnel, la altura de relleno necesaria era de 2,10 m, a partir de la cara superior de la dovela base. Esto suponía, que para alcanzar esta cota a lo largo de los 6,9 Km del túnel, se tenían que verter unos 104.000 m³ de hormigón HM-15 que sirviesen de base para el posterior montaje de la vía en placa.

Como trabajos previos se tuvieron que hacer algunas modificaciones a la cinta, como el desmontaje de los motores intermedios, una tolva de recepción del material en el exterior del túnel y una cinta de transporte hasta la cinta de la tuneladora en un punto posterior al motor principal, e instalar un mecanismo móvil que permitiese el vertido del material de relleno en las zonas de trabajo. Para introducir el material sin tener que cambiar el sentido de giro de la cinta se aprovechó la cara superior de la banda de retorno, donde se instaló una mesa-trailla o rascador, que se deslizaba en tramos de 500 metros mediante un cablestrante. A este conjunto se le denominaba tripper, y permitía descargar el material en el punto del túnel necesario.

El material de relleno, un hormigón seco de resistencia característica 15 MPa, transportado por la cinta se extendía por tongadas de unos 40 cm mediante buldózer o motoniveladora, compactándose a continuación mediante compactadores mixtos de 19 t. Una vez se terminaba de compactar una capa se procedía a extender otra nueva sobre la anterior. Esto quiere decir que el material de la primera capa debía tener un plazo de trabajabilidad lo suficientemente grande como para que la segunda capa quedase compactada durante ese tiempo, de forma que la vi-

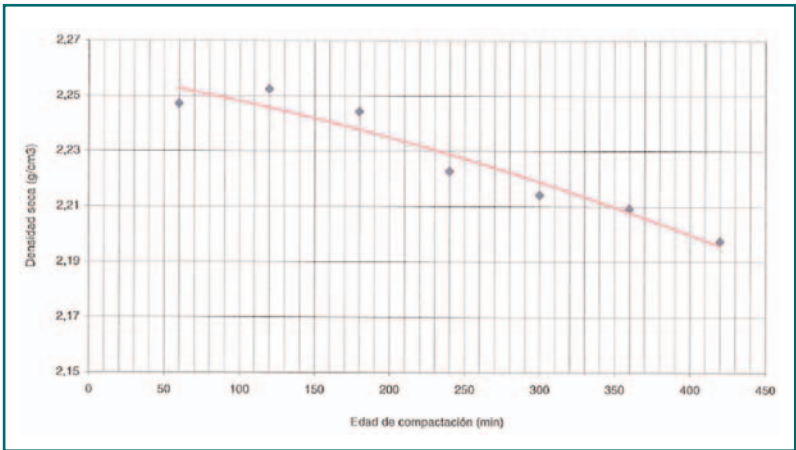


Fig.19.: Gráfica de resultados de ensayos de compactación Proctor Modificado.

bración producida en la compactación de esta segunda capa no produjese la rotura de enlaces de hidratación y fraguado del cemento de la primera capa (Fig. 19).

Indicar que en el inicio del túnel, con menos cobertura y edificaciones más próximas, y a fin de minimizar las afecciones por vibración de la compactadora, las tongadas se redujeron a 20 cm y la compactación se hizo sin vibración. A medida que se incremen-

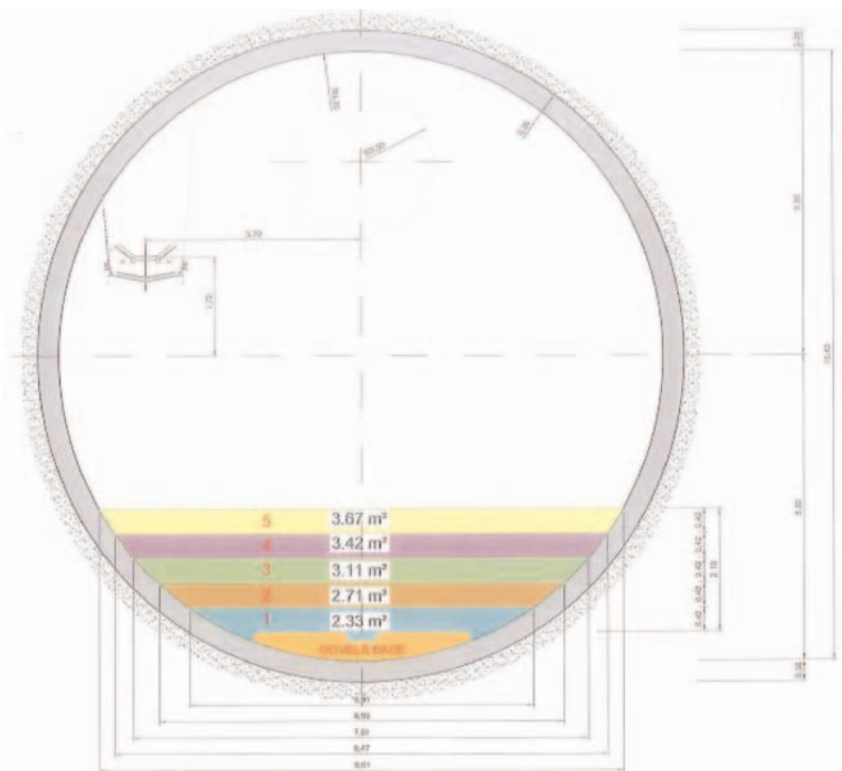


Fig.20. Sección del túnel con la representación de las tongadas que conforman el relleno.



Fig.21. Vertido del hormigón del relleno mediante la cinta transportadora de extracción del material de excavación. A la derecha, Fig.22. Compactación del relleno.

taba la cobertura, se pudo ir ampliando el espesor de tongada y aplicarse la vibración.

Los trabajos de relleno comenzaron el día 16 de marzo de 2011, finalizando el 19 de mayo de ese mismo año, es decir, en algo más de 2 meses se extendieron y compactaron 104.000 m³ de hormigón a lo largo de los 6,9 Km de túnel, con un rendimiento medio de 1.600 m³/día.

6. Vía en placa

6.1. Losa de hormigón

Con el mismo problema que en la anterior fase de contar solo con una entrada y que la anchura de la

plataforma, menos de 10 m, no es suficiente para que los camiones den la vuelta salvo en el pozo final de extracción, se acometió el trabajo de hormigonado de la superestructura de la vía. Para ello se realizó un profundo estudio previo de las diferentes actividades a realizar, buscando mejorar el ciclo y evitar las interferencias entre las distintas actividades motivadas por el hecho de que solo se podía contar con un carril de paso.

El tajo se dividió en tres zonas, una primera de montaje de ferralla y encofrado, una segunda de hormigonado, y una tercera de desmontaje y limpieza de encofrados. En cuanto a las actividades, por la mañana se procedía a la colocación de los encofrados en la primera zona y el hormigonado en la segunda, por la tarde se comprobaban topográficamente los encofrados de la primera zona y se desencofraban



Fig.23. Moldes y armadura para el vertido del hormigón de la losa. A la derecha, Fig.24: Vertido de hormigón en los moldes.



Fig. 25. Plataforma para el giro de los camiones dentro del túnel. A la derecha, Fig. 26. Operación de comprobación topográfica de canaleta.

y limpiaban los encofrados en la tercera, dejando para el turno de noche el trasiego de los encofrados de esta zona a la primera. El tráfico para este tajo, y otros en marcha a lo largo del túnel, se tuvo que regular y hacer convoyes de tres hormigoneras para que los tiempos de vertido y espera fueran mínimos.

Para facilitar el giro de los camiones y evitar que los camiones tuvieran que ir hasta el final del túnel, se instaló una plataforma giratoria hidráulica que acompañaba al tajo y reducía los trayectos y los ciclos de trabajo.

Por último, se diseñaron en obra unos encofrados *ad hoc* que facilitaban los trabajos de colocación, desmoldaje y transporte, aumentando la eficacia del ciclo. Se construyeron 600 m de encofrado, de 2,50 m de longitud, que dieron muy buen resultado desde el primer momento. Dichos encofrados se adaptaron a zonas en curva o peraltadas sin ningún problema.

El hormigón utilizado fue del tipo HA-35/F/20/IIa adicionado con fibras para evitar el fisuramiento de la losa por retracción y ferralla alrededor de la canaleta que alojará posteriormente el carril.

Previo al posicionamiento de los encofrados, se procedió a una exhaustiva comprobación topográfica del ancho de canaleta y la longitud de encofrado para asegurar que sus medidas cumplieran con los datos de proyecto.

Cuando la UTE comunicaba que tenía un tramo preparado para poder hormigonar, se hacía un control por parte de la ACO midiendo cada 2,5 metros la alineación, nivelación y peralte de los encofrados de las canaletas del tramo que estaba preparado.

Posteriormente al desencofrado, se repetía la comprobación de canaleta para comprobar si durante el hormigonado se habían movido los moldes y para localizar las zonas donde podríamos tener problemas durante el montaje del carril.

El día 27 de septiembre comenzó el hormigonado de la losa de la vía 1 desde el P.K. 5+169,3, a la altura de la Salida de Emergencia de la calle Concha Espina, en sentido Atocha. Cabe destacar la zona entre los PP.KK. 0+833 y 0+285 que corresponde a las dos curvas de radio 270 m. Esta zona fue de especial dificultad en el posicionamiento de los encofrados debido al reducido radio, y a que se necesitaba ir manipulando los moldes para que se produjesen la variación de sobreancho de vía (+5 mm) que aconsejaba la normativa para estos radios tan pequeños.

Al igual que la actividad anterior, los rendimientos han sido excelentes, habiéndose ejecutado ambas losas a lo largo de todo el túnel en unos 3 meses, con una media superior a los 190 m/día y un máximo diario de 230 m.

Tabla 5. Diferencias máximas permitidas en el control de medidas.

	Tolerancia
Alineación	±10 mm
Nivelación	± 10 mm
Peralte	± 4 mm
Variaciones entre 2 medidas consecutivas de diferencia de alineación, nivelación o peralte	± 2 mm



Fig. 27. Carril nivelado mediante las falsas traviesas y vertido el elastómero.

Tabla 6. Tolerancias absolutas y relativas aceptadas previo al vertido del elastómero.		
	Tolerancias absolutas	Tolerancias relativas
Alineación	± 10 mm	2 mm
Altimetría	± 10 mm	2 mm
Peralte	± 2 mm	2 mm
Ancho	+2 / -1 mm	2 mm
Inclinación	90 °	1°

6.2. Posicionamiento del carril

Previamente al hormigonado de la placa, se procedió a repartir por el interior del túnel los carriles UIC-60 que en barras de 90 m se habían acopiado en Chamarín, llegados mediante carrileros desde la fábrica en Asturias. El transporte de estos carriles desde la cabecera sur de la estación hasta el interior del túnel se realizó mediante rodillos, acopiándose en cada lado del túnel dos carriles.

Una vez finalizado el hormigonado de la losa, se colocaron los carriles en el interior de las canaletas de la placa y se procedió a la soldadura aluminotérmica de los carriles(8). Empleando 3 equipos de soldadores, en un solo turno, y a lo largo de 1 mes, se han efectuado 270 soldaduras verificándose su validez mediante controles geométricos y de soldadura, realizados por la UTE y por la ACO junto a Dirección de Obra.

Para el posicionamiento del carril(9) antes del vertido del elastómero, la oficina de obra ha diseñado unas falsas traviesas que abrazando los carriles por la cabeza a la vez alinean, ajustan en cota y le dan la inclinación de 1/20 sin necesidad de usar cuñas ni galgas como se hacía habitualmente.

Dado que este sistema de colocación de carril no tiene la posibilidad de reajuste como cuando se monta vía sobre traviesas, las tolerancias son las más estrictas de las que figuran en la normativa y los controles topo-



Fig. 28. Operación de vertido del elastómero. A la derecha, Fig. 29. Control topográfico.

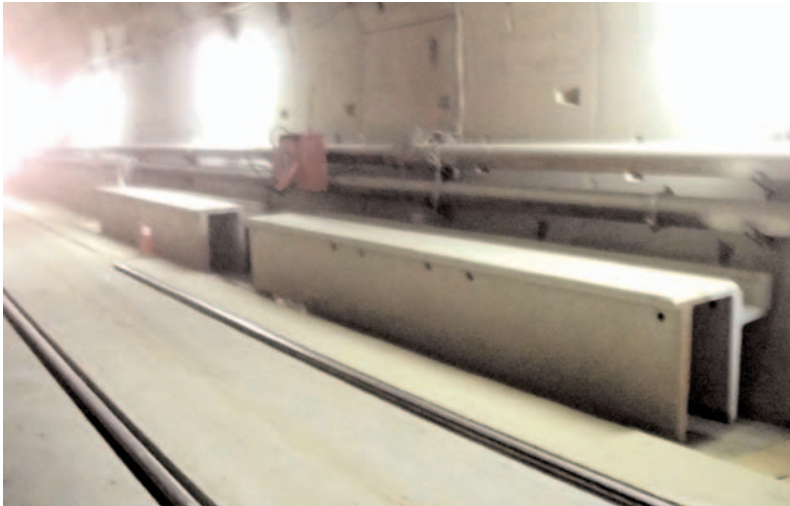


Fig.30. Muestra de los andenes prefabricados a instalar.

gráficos previos al vertido del elastómero son exhaustivos, incluyendo el de la inclinación del carril.

Las tolerancias absolutas y relativas aceptadas para comprobaciones de la vía en puntos consecutivos cada 5 m con una cuerda de 10 m en planta y cada 5 m en cota, ancho, peralte e inclinación de carril son las que se ven en la tabla 6.

Aunque en todas las fases anteriormente descritas, la labor topográfica ha sido muy importante, en esta fase es especialmente relevante, por lo que la coordinación entre los equipos de topografía de la constructora y de la Dirección de Obra ha sido fundamental para que se haya alcanzado un rendimiento medio superior a los 300 m/día con un solo turno de trabajo diurno, superándose algunos días los 400 m.

7. Andenes y drenaje

Otra de las aportaciones novedosas de la obra ha sido la incorporación al túnel de un andén prefabricado, de diseño desarrollado en obra, ajustado a las dimensiones del túnel y que incorpora la canaleta para el cableado de comunicaciones y de señalización ferroviaria. Dichas piezas, actualmente en fase de fabricación, tendrán una longitud de 6 m en zonas rectas y de radios amplios, y de 3 m en la zona de radios más cerrados. Previamente a la colocación de los andenes, se está nivelando y dejando a cota la base para facilitar el posicionamiento final de las piezas prefabricadas.

Posteriormente entre las piezas y el hastial del túnel se ejecutará *in situ* una pequeña canaleta para recoger las posibles filtraciones del túnel, que cada 50 m se

conectará con la canaleta principal del drenaje longitudinal, y que en este túnel se ha dividido en dos, situadas entre la placa de la vía y los andenes. Esta disposición permite no tener interferencias entre la canaleta de drenaje y los cuatro escapes situados en el interior del túnel, eliminando la tubería que habría sido necesaria colocar en el relleno a lo largo de todo el túnel.

El túnel dispone de cuatro pozos de bombeo para el drenaje, uno en la boca de Chamartín, encargado de evitar que entre agua del exterior por motivos meteorológicos, con un depósito de más de 450 m³, otro en el punto bajo de unos 150 m³ ejecutado en mina a partir del túnel, y dos más intermedios aprovechando los pozos de ventilación, de igual capacidad que el del punto bajo. A parte de las filtraciones propias del túnel, cada uno de estos tres pozos interiores puede recoger toda el agua procedente del aljibe de incendio (120 m³) sin tener que verterlo al alcantarillado, por si es necesario hacer cualquier tipo de descontaminación después del incidente.

8. Instalaciones no ferroviarias

Dentro de nuestro proyecto se incluyen toda una serie de instalaciones asociadas a la propia infraestructura, mientras que las instalaciones asociadas a la superestructura (catenaria, comunicaciones, señalización, etc.) se incluyen en otros proyectos actualmente en fase de redacción o licitación. De todas las instalaciones detallaremos a continuación solo las más importantes.

8.1. Media Tensión

El proyecto incluye el montaje de cuatro centros de transformación, uno en el exterior, junto a la boca norte en Chamartín, en un edificio bajo la rasante de la calle, otro en uno de los forjados intermedios del pozo de Atocha, y los otros dos en unas cavernas situadas junto a los pozos de ventilación.

Dichos centros de transformación estarán unidos por el interior del túnel mediante una línea de media tensión perchada en el hastial del túnel y se suministrarán del exterior mediante dos dobles acometidas de 3.630 KVA de potencia, en el norte por la compañía Iberdrola y en el sur por la compañía Unión Fenosa. Dado que el suministro norte es en 20 Kv y el sur en 15 Kv, en el pozo de Atocha ha sido necesario montar dos transformadores adicionales de 2.000 KVA de po-

tencia para igualar la tensión de suministro. Cada suministro, en situación normal, se hará cargo de dos centros de transformación, pero en caso de fallo de uno de ellos, automáticamente el otro suministro se hace cargo de todo.

8.2. Ventilación

Para la ventilación del túnel se van a instalar cuatro ventiladores axiales de 315 Kw en los pozos de ventilación intermedios y dos de 250 Kw en el pozo de Atocha. Dichos ventiladores cuentan con variadores de frecuencia para adaptar su potencia a las necesidades de cada momento según el protocolo de actuación que se ha elaborado. Dicho protocolo toma la información de otras instalaciones asociadas, como el cable sensor que se va a colocar en la clave del túnel, que identificará la posición del posible incendio con una precisión menor a 5 metros, y los anemómetros, que informarán de la velocidad y dirección del viento en el interior del túnel. A partir de dichos datos se propondrá al centro de control unas actuaciones previamente estudiadas para facilitar la evacuación de los trenes en caso de que ocurra un incidente con fuego. También se colocarán opacímetros y detectores de CO en diversos puntos del túnel que podrán hacer funcionar la ventilación para mejorar las condiciones de salubridad del aire.

Los centros de transformación también contarán con un sistema de ventilación propio y los cuartos técnicos con equipos electrónicos estarán dotados de climatización. Así mismo, las salidas de emergencia interiores del túnel dispondrán de unos equipos de ventilación autónomos que se encargarán de presurizar la parte de la salida más cercana al túnel, evitando así que el humo pueda entrar en la salida.

8.3. Alumbrado

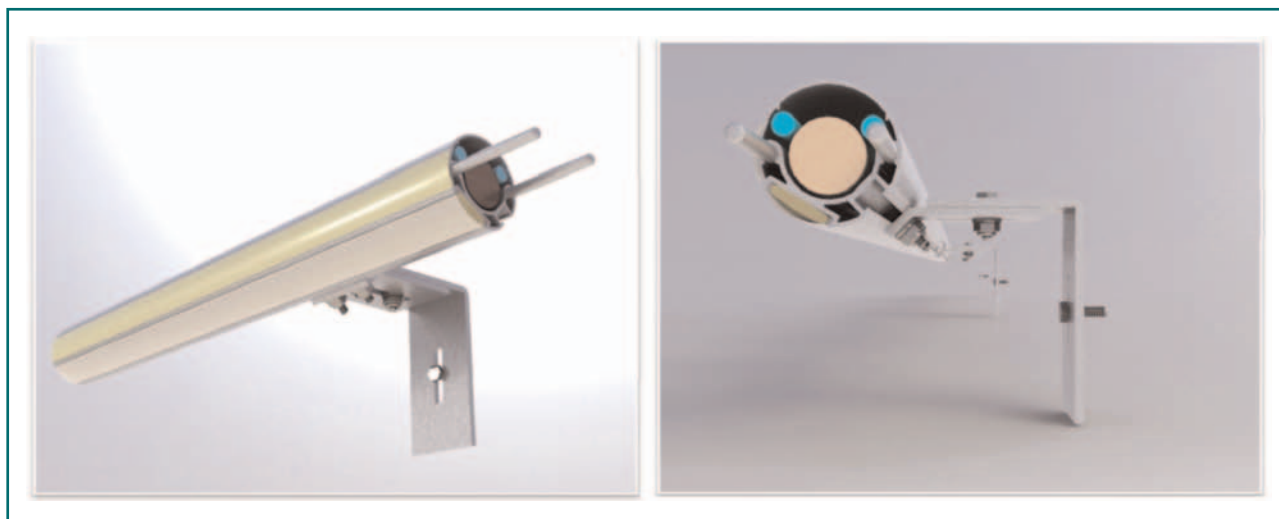
Este proyecto incluye el alumbrado de los cuartos técnicos, siguiendo las recomendaciones del CTE, de las salidas de emergencia compuestas por pantallas dobles de fluorescentes con baterías de emergencia de 3 h, para que en cualquier circunstancia los caminos de evacuación cuenten con iluminación suficiente, y por último del propio túnel. En este último caso hemos contado con la colaboración de la Dirección de Mantenimiento y de la de Protección Civil de ADIF.



Fig. 31. Pozo ventilación y losa para la instalación de 2 ventiladores axiales.

En el proyecto inicial el alumbrado del túnel se había resuelto mediante una iluminación principal con lámparas de vapor de sodio a baja presión y una iluminación de emergencia con lámparas fluorescentes y baterías, como en el resto de túneles construidos hasta el momento. Por parte de Protección Civil y de Mantenimiento se nos trasladó su preocupación por los altos consumos que estas instalaciones generan, por lo que entre todos estuvimos buscando sistemas alternativos. Entre todos ellos se estudió el sistema LED, con unos consumos mínimos y un mantenimiento bajo. Dado que este sistema está empezando a utilizarse en alumbrado urbano, no hay nada específico para túneles, por lo que se contactó con varios suministradores para ver que posibilidades podrían ofrecer. De entre todas las presentadas, se ha elegido una tira de leds integrada en la barandilla de los pasillos de evacuación, con dos niveles de alumbrado, uno de 2 lux para la situación normal durante el tránsito de trenes, y otra de 5 lux para los casos de incidente o de mantenimiento. El cambio de iluminación se podrá hacer mediante los pulsadores colocados cada 50 m en el túnel o desde el centro de control.

Fig.32.
Barandilla con
la iluminación
mediante leds
integrados.



9. Atención al ciudadano

Al tratarse de un túnel ejecutado en zona urbana, una de las premisas de ADIF ha sido siempre ejecutar las obras con las menores afecciones posibles, y además disponer de los máximos canales de comunicación con los vecinos y resto de ciudadanos afectados, o simplemente interesados por el nuevo túnel.

Para ello desde el inicio se dispuso dentro de la Dirección de Obra de un departamento de Relaciones Institucionales, que pudiese tramitar y gestionar cuantas posibles incidencias surgiesen relacionadas con la nueva infraestructura a construir.

Como primera medida se instaló un Punto de información y Atención al Ciudadano (PIAC) en la Plaza de Colón, y por el cual se atendieron más de 11.000 consultas relacionadas con las obras.

Fig.33. Punto
de información
y atención al
ciudadano en
la Plaza de
Colón de
Madrid.



Actualmente se cuenta con un teléfono de atención y una dirección de correo electrónica, donde se siguen atendiendo cuantas consultas llegan, una vez que el PIAC dejó de prestar sus servicios la primavera pasada, al finalizar la fase de excavación, que era foco de la mayoría de solicitudes y consultas.

Otra de las actividades ha sido la de servir de interlocutor con distintos organismos e instituciones que se podían ver afectadas, como es el caso de gran número de embajadas, instituciones públicas y privadas.

En las propias instalaciones de Dirección de Obras en Chamartín, se montó un centro de exposiciones que pudiese servir de base para atender a las visitas de carácter institucional y profesional que una obra de la entidad como esta originaría. Desde su inauguración a mediados de 2009, y especialmente durante el 2010, se atendieron cerca de 2.000 visitantes, desde profesionales del mundo de la construcción, hasta delegaciones internacionales de multitud de países.

10. Agradecimientos

Los autores quieren expresar su felicitación a todos los trabajadores que están participando en esta obra, de las empresas contratistas, de la asistencia técnica, de la Dirección de Obra y de ADIF, así como agradecer su colaboración en este artículo a los Ingenieros de Caminos Noelia Alonso Fernández, asesora de tuneladora para la Dirección de Obra, y Pedro Sanz Mateos, responsable de Relaciones Institucionales. ♦

Ficha técnica

Nombre de la obra:

Proyecto de Construcción de Plataforma y Vía de la Conexión Ferroviaria en ancho U.I.C. entre las Estaciones de Atocha y Chamartín (Madrid)

Promotor:

ADIF

Ingenieros de Caminos Subdirectores de Área de la Dirección de Proyectos y Obras de Alta Velocidad ADIF

Manuel M^o Puga Fernández

Ángel A. López López

Ingeniera de Caminos Gerente de Área de la Dirección de Proyectos y Obras de Alta Velocidad ADIF

Violeta González Aleñar

Ingeniero de Caminos Jefe de Infraestructuras ADIF

Lucía G. de la Ossa González

Ingeniero de Caminos Director de Obra INECO

Pedro Antonio Lázaro Molinero

Ingeniero de Caminos Asesor Geotécnico

Carlos Oteo Mazo

Ingeniero de Caminos Jefe de Unidad Dirección de Obra INECO

Elisa Bueno Carrasco

Ingeniero de Caminos autor del Proyecto TYPESA

M^o Jesús Espinosa

Ingeniero de Caminos Jefe de Unidad Asistencia Técnica TYPESA

Jesús Barrio Sotillo

Contratista:

Ave Túnel de Serrano Ute (Dragados S.A., FCC Construcción, S.A., COPISA Constructora Pirenaica, S.A. y TECSA Empresa Constructora, S.A.)

Ingeniero de Caminos Gerente UTE (DRAGADOS)

Manuel Orea Palomino

Ingeniero de Caminos Jefe de Obra UTE (FCC Construcción)

Joaquín Arroyo Represa

Principales características:

Longitud total: 7.300 m
 Longitud excavada mediante tuneladora: 6.835 m
 Diámetro excavación tuneladora: 11.495 mm
 Diámetro interior túnel: 10.400 mm
 M³ excavados: 714.489,76 m³
 Ancho vía doble: 1.435 mm
 Longitud vía en placa con carril embebido: 14.350 m
 Desvíos sobre vía en placa: 17
 Travesías sobre vía en placa: 3
 9 salidas de emergencia
 3 pozos de ventilación
 4 pozos de bombeo
 4 centros de transformación

Referencias:

- (1) Proyecto de Construcción de Plataforma y Vía de la Conexión Ferroviaria En Ancho U.I.C. Entre Las Estaciones De Atocha Y Chamartín (Madrid). Typsa. 2008.
- (2) 2008/217/Ce Especificación Técnica de Interoperabilidad del Subsistema de Infraestructu-

- ra del Sistema Ferroviario Transeuropeo De Alta Velocidad
- (3) Manual de Túneles y Obras Subterráneas. *Ingeniería de Túneles*. 2011. Tomos I Y II. I.S.B.N.: 978-84-96140-35-6
- (4) 2008/163/CE Especificación técnica de interoperabilidad sobre seguridad en los túneles en los sistemas ferroviarios transeuropeos convencional y de alta velocidad

- (5) Ficha características técnicas tuneladora Herrenknecht S-535
- (6) EHE-08
- (7) Instrucciones y recomendaciones para la redacción de proyectos de plataforma (IGP) ADIF
- (8) Normas referentes a soldadura aluminotérmica N.R.V. 3-3-2.0. a 3-3-2.5, y N.R.V. 7-3-7.1.
- (9) Nivelación y alineación de los carriles según normas N.R.V. 7-1-3.1, 7-3-5.0, 7-3-5.5, 7-3-6.0

New High Speed Tunnel between Atocha and Chamartín Stations

Adif (*Railway Infrastructure Management*) is a public company directly dependent on the Ministry of Public Works. Adif plays an essential role in the development of the railway sector, promoting the use of railway service and making it easier to access all infrastructures involved.

The main goal of the company is to promote the Spanish railway transport by developing and managing a safe, efficient and sustainable infrastructure system, where quality standards are the main priority.

Adif is in charge of:

- Managing railway infrastructures (tracks, stations, freights terminals, etc).
- Managing railway traffic.
- Managing the capacity of railway operators.
- Collecting the fees resulting from the use of infrastructures, stations and freights terminals.

The Transport and Infrastructure Strategic Plan (PEIT) 2005-2020 forecasts an investment of 248.892 million, 50% of which will be used for railway.

This new plan enhances the current territory scheme by implementing a network design that is less dependent on ring road corridors and fosters the intermodal system, integrating Spain in the HS Trans-European network and making passenger and freights traffic compatible (through the creation of mixed HSL).

By the end of the PEIT, the HS network will have dramatically expanded, from the current 1,031km to 10,000km. 90% of the population will have a HS station at less than 50km from their home, and all province capitals will have direct access to the HS network.

The UIC gauge railway connection linking the stations of Madrid-Puerta de Atocha and Madrid-Chamartín will be an essential infrastructure for the development of a vertebrate network with international gauge in Spain.

This tunnel will articulate all HSL railway branch connections that depart or arrive in the southern and eastern areas of Spain with those departing or arriving in the northern areas (promoting the interoperability among high-speed trains).

The tunnel will improve the exploitation model of both Madrid stations, as they will transform from terminal into commuter stations.

The Atocha-Chamartín tunnel is 7.3km long, 6.9km of which are subterranean, making it easier to integrate the system into the urban areas.

Once finished, it will be the longest and will have the greatest diameter of all railway tunnels in Madrid (excavated using a TBM).

The layout starts in Méndez Álvaro street, crosses glorieta del Emperador Carlos V, and goes under the Botanic Garden to finally

reach the axle of Alfonso XII street. It follows that path until Plaza de la República Argentina, and from then on it runs under blocks of buildings until it finally gets to the southern railhead in Chamartín station.

On its way it passes by 8 underground lines, it runs under the Suburban tunnels of Recoletos and Sol in Atocha, and runs 400m parallel to the Recoletos tunnel in the Chamartín area. Most of the excavation will be carried out using the TBM, except for a section in glorieta del Emperador Carlos V that will be bored using the German method.

Due to the scarce initial roofing existing in the intersection with Mateo Inurria Street, a false-creek-tunnel will be built along the first 120m of the TBM excavation area for safety purposes.

The excavation of the bypass tunnel will be mainly executed using the Traditional Method of Madrid, except for the branch connexion with the southern railhead in Atocha, to be executed with continuous concrete shields.

As part of the extension of the New High-speed Tunnel, a bypass tunnel will be built for the new commuter station. It will run from the TBM excavation shaft, go southbound under Atocha's historical building and tracks 10 and 11, and will finally end beyond the platform area of the station (in the junction with the future tunnel of the commuter station).

The tunnel will have 9 emergency exits; 3 ventilation shafts and 4 pumping shafts. The bypass tunnel will include an additional pumping shaft.

The 3 emergency exits located in Serrano street will be connected with the exterior through the 3 car parks currently under construction in that street. The rest of emergency exits are located in Atocha, Espalter street, Plaza de República Argentina, Concha Espina, Alberto Alcocer and Hiedra street, next to the tunnel entrance in Chamartín station.

Before starting the tunnel construction works, some inspection tasks have been carried out on the buildings located along the tunnel's layout in order to gather as much information as possible in order to prevent any disturbances on the surroundings.

Among the inspected buildings there are peculiar constructions and monuments such as *Puerta de Alcalá*, *Casón del Buen Retiro* (in Retiro Park) and the Archaeological Museum.

Also, tests have been carried out periodically thanks to the installation of devices and equipment, and monitoring of surface and in-depth terrains is taking place all along the tunnel's layout. All subterranean infrastructures near the tunnel will undergo an instrumentation process (subterranean parking sites, Suburban and Underground tunnels, as well as any other constructions nearby). ♦