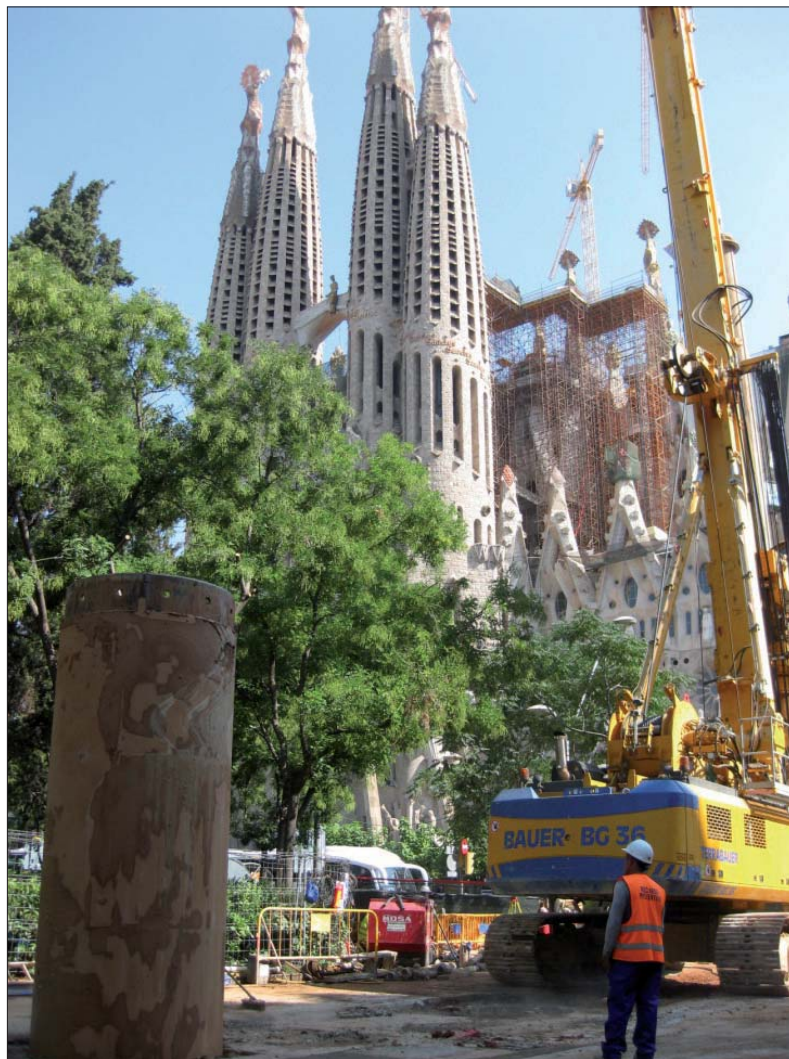


EN EJECUCIÓN LOS TÚNELES PASANTES DE ALTA VELOCIDAD DE BARCELONA Y MADRID

# Bajo dos grandes urbes

MACARENA HERRERA  
LORENZO

Barcelona y Madrid perciben cada vez con mayor nitidez en sus respectivas superficies urbanas las obras de los futuros túneles pasantes de alta velocidad que atravesarán ambas ciudades para enlazar las estaciones situadas en los dos extremos de las mismas. En la Ciudad Condal, la tuneladora *Barcino* ya está lista para iniciar la excavación de un subterráneo de 5,6 kilómetros entre las estaciones de La Sagrera y Sants. Y en Madrid ya están en marcha los trabajos previos del futuro túnel de 6,9 kilómetros entre las terminales de Chamartín y Atocha, que ejecutará otra tuneladora a partir de la próxima primavera.



**B**arcelona y Madrid, extremos actuales del Corredor Nordeste de alta velocidad, enlazarán las respectivas terminales ferroviarias de cada ciudad entre sí mediante túneles urbanos pasantes de alta velocidad. En la actualidad, las terminales de Sants y La Sagrera,

en Barcelona, y las de Atocha y Chamartín, en Madrid, comparten una similar ubicación urbana, en extremos opuestos de cada ciudad, sin conexión de alta velocidad entre ellas, y con configuración de estaciones término. Con los nuevos ejes subterráneos, las dos estaciones de cada ciudad quedarán enla-

zadas entre sí y tendrán una configuración pasante, propiciando así una permeabilidad ferroviaria urbana a través de ambas ciudades que es decisiva para extender la red de alta velocidad prevista en el Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT).

Ambos túneles, por tanto,

permitirán al AVE circular por el subsuelo urbano de Madrid y Barcelona entre sus respectivas estaciones, pero su función permeabilizadora tiene alcances distintos. El túnel de Barcelona servirá exclusivamente para dar continuidad al Corredor Noreste de alta velocidad, ahora interrumpido en la estación de

Sants, que se proyecta desde esta terminal hacia la frontera francesa a través del tramo Barcelona-Figueras, actualmente en ejecución.

En el caso de Madrid, el túnel previsto tiene un carácter estratégico para el desarrollo de la red vertebradora de alta velocidad en España, ya que permitirá la interconexión de las líneas con origen o destino en la mitad sur peninsular (Andalucía y Levante, que llegan o llegarán a Atocha, además del Corredor Noreste) con las de origen o destino en la mitad norte (Corredor Noroeste, que actualmente llegan a Chamartín). Su construcción, por tanto, permitirá articular la conexión de todas las líneas españolas de alta velocidad, posibilitando, por ejemplo, que un tren pueda viajar ininterrumpidamente por una línea de alta velocidad desde Gijón hasta Alicante.

Estos futuros túneles, que figuran entre los de mayor sección y longitud entre dos estaciones en entornos urbanos, se configuran como dos de las grandes obras subterráneas de alta velocidad que se construyen actualmente en España, junto con los túneles de A Madroa (Eje Atlántico), Sorbas (línea Murcia-Almería) y Los Pontones (Variante de Pajares), todos ellos de más de 6 kilómetros de longitud y que se construyen con tuneladora. A continuación se describen los proyectos de estos dos túneles pasantes y su actual estado de ejecución:

#### TÚNEL SANTS-LA SAGRERA

Este subterráneo, que discurrirá por el subsuelo del Eixample entre las estaciones de Sants y La Sagrera a lo largo de 5,64 kilómetros, es una obra de singular trascendencia para la línea de alta velocidad entre Madrid y la frontera francesa, ya que le dará continuidad desde Bar-

## Ambos túneles urbanos son decisivos para extender la red de alta velocidad contemplada en el Plan Estratégico de Infraestructuras de Transporte

celona-Sants hacia el norte, además de ser el último tramo de la mencionada línea en iniciar las obras. Tanto sus tramos previos (desde L'Hospitalet de Llobregat) como los posteriores (entre La Sagrera y Montcada) son o serán totalmente subterráneos, lo que, junto al nuevo túnel, dará lugar a un continuo pasillo ferroviario bajo tierra de 18 kilómetros de longitud a su paso por el área metropolitana de Barcelona. Como beneficios principales, la nueva conexión urbana de alta velocidad reducirá los tiempos de viaje y aportará una mayor seguridad, capacidad y regularidad de los servicios ferroviarios.

La ejecución del túnel se adjudicó en enero de 2008 a una unión temporal de empresas (Sacyr, Cavosa, Scinser y Obras y Proyectos) por importe de 179,3 M€ y un plazo de ejecución de 35 meses. El terreno que atraviesa el futuro subterráneo está formado en su mayoría por arcillas con

gravas y arcillas con arenas pertenecientes al Terciario y al Cuaternario, circunstancia que ha sido determinante en la elección de una tuneladora del tipo EPB (escudo de presión de tierras) para perforarlo. Esta máquina excavará un total de 4.823 metros y los revestirá con dovelas de hormigón, construyéndose los 817 metros de los dos extremos mediante pantallas de hormigón.

El túnel, de sección circular y 10,4 metros de diámetro, en el que se instalará una doble vía de ancho UIC, discurrirá a distintas profundidades, situándose la cota mínima de la clave a 9 metros y la máxima a 28 metros de profundidad. En su recorrido pasará bajo siete líneas de metro y de ferrocarril. Como elementos singulares, destacan el pozo principal de instalaciones, los pozos de ataque y extracción de la tuneladora y una decena de pozos para salidas de emergencia del túnel, cinco de los cuales serán empleados para ventilación.

### Máxima seguridad

Toda obra subterránea en un entorno urbano requiere un elevado grado de seguridad en su ejecución y en su posterior explotación. Y esto es algo que caracteriza al proyecto de ejecución del túnel Sants-La Sagrera, en el que se contemplan diversas medidas para garantizar la mayor seguridad posible de la infraestructura, desde la elección del trazado hasta el proceso constructivo.

En cuanto al trazado, la solución elegida permite que el túnel no discurra en ningún punto de su recorrido bajo edificios, haciéndolo siempre por la zona central de las calles Mallorca, Diagonal y Provença. Todo este trazado está siendo o será vigilado por una red de sensores que comprobarán los movimientos del terreno y de los edificios colindantes.

El procedimiento constructivo seleccionado para la obra, mediante una tuneladora de última generación, también se cuenta entre los que ofrecen mayor seguridad, tanto para los operarios que la manejan como para la integridad del terreno y de los edificios colindantes. A lo largo del túnel, además, están previstas una decena de salidas verticales de emergencia, que durante la fase de ejecu-

## 'Barcino', estrella del túnel de Barcelona

● **CARACTERÍSTICAS.** *Barcino* (nombre latino de Barcelona) es una tuneladora del tipo EPB (escudo de presión de tierras) diseñada a la medida para ejecutar el túnel Sants-La Sagrera. Perforará el terreno y colocará simultáneamente las dovelas de hormigón que revestirán el túnel, con una media de avance estimada de 10 metros diarios. Tiene 100 metros de longitud (incluido el *back-up*), 11,5 metros de diámetro y 2.300 toneladas de peso, con un potencial total de 8.000 kW y un empuje nominal de 135.000 kN que le proporcionan sus 18 motores. Su coste ha sido de 25 M€.

● **TRANSPORTE INTERMODAL.** Su traslado hasta Barcelona se ha realizado en tres modos de transporte: terrestre, fluvial y marítimo. Así,

mientras las piezas menores viajaron por carretera desde la fábrica de Herrenknecht en Schwanau (Selva Negra alemana) hasta la Ciudad Condal, las 23 piezas mayores se trasladaron por el río Rin desde la factoría hasta el puerto de Schiedam (Holanda), cubriendo desde allí la travesía por mar hasta el puerto de Barcelona.

● **MONTAJE.** Las 23 grandes piezas, con un peso superior a 1.200 toneladas y un volumen de 4.000 m<sup>3</sup>, se descargaron en el puerto barcelonés a partir del 1 de septiembre para su traslado mediante convoyes especiales hasta la zona de instalaciones de La Sagrera. Una vez allí se inició el ensamblaje de la tuneladora y las pertinentes verificaciones técnicas, tras lo cual se trasladó al pozo de ataque para iniciar la excavación.

ción servirán para facilitar el mantenimiento de la tuneladora.

Finalmente, en los puntos más sensibles del recorrido, como la Sagrada Familia o la Torre del Fang, por cuyas inmediaciones discurrirá el túnel, se han previsto actuaciones de protección adicionales para aislarlos de las obras y garantizar su integridad. En concreto, en el entorno del templo modernista diseñado por Gaudí, cerca de cuyo emplazamiento pasará el túnel, se ha dispuesto una protección específica mediante una pantalla permeable de 120 pilotes de 1,5 metros de diámetro a 40 metros de profundidad para asegurar que los movimientos del terreno generados por las obras no se transmitan al templo. Esta barrera subterránea se ejecuta bajo supervisión judicial antes de la llegada de la tuneladora a la zona. Como medidas adicionales, se construye un dado longitudinal de hormigón junto a la pantalla de 3 x 3 metros y se mejorará el terreno mediante inyecciones de consolidación.

## Proceso de ejecución

La construcción del túnel Sants-La Sagrera, que muestra desde hace meses sus primeras obras en superficie, tenía a principios de año todo listo para iniciar la excavación mediante tuneladora. Pero para llegar hasta este punto se ha tenido que pasar previamente por las fases de estudio y preparación de la obra, apenas visibles pero igualmente importantes para el éxito final. En este tiempo se han identificado los servicios urbanos afectados por la construcción de los distintos pozos verticales previstos (electricidad, gas, agua, saneamiento, telefonía, etc.), procediéndose en gran medida a su desvío y reposición.

Además, Adif puso en marcha en abril de 2008 un plan

de control y auscultación para garantizar la seguridad del terreno, de las obras y de las edificaciones colindantes. Como parte del mismo se han instalado distintos dispositivos (estaciones robotizadas, prismas, hitos de nivelación, teodolitos, piezómetros, extensómetros, etc.) a lo largo del trazado del túnel para conocer los movimientos, tanto verticales como horizontales, en los edificios y estructuras estudiadas. Asimismo, y con carácter previo a la obra, se han llevado a cabo más de 2.600 reconocimientos de viviendas cercanas al trazado del túnel.

Las obras propiamente dichas están en marcha desde hace meses en ambos extremos del túnel y a lo largo de su itinerario urbano. En el entorno de La Sagrera, donde se levantará la segunda estación de alta velocidad de Barcelona, se encuentra el pozo principal de instalaciones del túnel. En esta zona se ultima la construcción de un falso túnel entre pantallas de 422 metros de longitud, que conduce desde la futura estación hasta el pozo de ataque de la tuneladora. Como su trazado discurre bajo la Torre del Fang, una masía del siglo XIV que había que preservar, la construcción del falso túnel ha incluido una compleja operación de ingeniería consistente en el mantenimiento de la estructura del edificio con un sostenimiento especial mientras se ejecutaban las pantallas de hormigón del subterráneo.

Al final del falso túnel, en la confluencia de las calles Mallorca y Biscaia, se ha construido ya el pozo de ataque de la tuneladora, un enorme agujero en el terreno de 19 metros de ancho por 22 de largo, excavado a una profundidad de 20 metros. Las distintas piezas de la tuneladora *Barcino* se trasladaron hasta este pozo para su ensamblaje y la realización de las oportunas verificaciones

técnicas, finalizadas las cuales la gigantesca máquina quedó lista para iniciar la perforación del túnel en dirección a Sants.

En el otro extremo, junto a la estación de Sants, también se ejecuta desde mediados de 2009 un falso túnel compuesto por pantallas de pilotes y pantalla continua, de 395 metros de longitud, que conectará la estación con el pozo de extracción de la tuneladora. Este pozo, cuya construcción aún no se ha iniciado, estará situado en la confluencia de las calles Provença y Entença.

Entre ambas estaciones también está en marcha la construcción de los pozos que servirán como salida de emergencia, para ventilación y para mantenimiento de la tuneladora. Se trata de pozos circulares de 20 metros de diámetro exterior excavados hasta profundidades de 48 metros, con pantallas de un metro de espesor colocados mediante máquinas hidrofresa. Los primeros pozos en iniciar su ejecución fueron los de las calles Mallorca/Trinxant y Mallorca/Padilla, a los que seguirán los de las calles Roger de Flor, Independencia y Sardenya (todos en la confluencia con la calle Mallorca) y Bruc, Enric Granados, Casanova, Rambla Catalunya y Comte Borrell (todos en la confluencia con la calle Provença). Todas estas obras generan afecciones en superficie, ocupando carriles de circulación, por lo que se ha procedido a reordenar el tráfico en sus inmediaciones.

## TÚNEL ATOCHA-CHAMARTÍN

Este futuro túnel de vía doble en placa de ancho UIC enlazará las estaciones de Chamartín y Puerta de Atocha en un trazado de 7,3 kilómetros, de los cuales 6,9 kilómetros discurrirán de forma soterrada, correspondiendo el resto

a actuaciones sobre las vías de la cabecera sur de la estación de Chamartín que supondrán la remodelación de la configuración del haz de vías. Este túnel, tercero entre ambas estaciones (los otros dos son de Cercanías), una vez estén remodeladas las dos terminales, permitirá articular una conexión estratégica en ancho UIC a través de la ciudad de todas las líneas de alta velocidad españolas (las del norte/noroeste con el resto de la red), aportando beneficios en términos de seguridad, capacidad de la red, regularidad y confort. También permitirá la conexión con el aeropuerto de Barajas a las líneas procedentes del noreste, este y sur.

La construcción del túnel, que incluye la ejecución de la plataforma, el montaje de la vía en ancho UIC y los equipamientos de seguridad y protección civil, fue adjudicada en septiembre de 2008 a un consorcio de empresas (FCC, Dragados, Cospa y Tecsca) por un importe global de 206 M€ y un plazo de ejecución de 32 meses. Su trazado discurrirá en sentido sur-norte desde la calle Méndez Álvaro, junto a la estación de Atocha, a través de la calle Alfonso XII, manteniéndose centrado bajo este vial y el de la calle Serrano hasta la plaza de la República Argentina, a partir de la cual discurrirá bajo zonas edificadas, hasta llegar a la calle Mateo Inurria, junto a la estación de Chamartín. El trazado salva un desnivel de 120 metros entre Chamartín (720 metros de altitud) y Atocha (600 metros).

El túnel tendrá una sección circular, de 10,4 metros de diámetro interior, y se construirá mediante distintos métodos. La mayor parte, cerca de 6.800 metros, se realizará con una tuneladora que permite simultáneamente la perforación y revestimiento del túnel. La exca-

## Plan de auscultación en Madrid

**El Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (Adif) ha puesto en marcha un plan de control y auscultación para garantizar la seguridad del terreno, de la obra y de las edificaciones colindantes durante la construcción del túnel Atocha-Chamartín. Este plan consiste en la instalación de diversos aparatos de medición que, a través de la continua toma de datos tanto en superficie como en profundidad, permiten a los responsables de la obra controlar a diario que el comportamiento del terreno se ajusta a lo previsto en el proyecto de construcción. En julio pasado se inició la colocación de la instrumentación en el trayecto comprendido entre las calles Hiedra/Mateo Inurria y Fray Bernardino Sahagún, correspondiente al primer tramo del túnel, y posteriormente se completará a lo largo del trazado del subterráneo hasta la estación de**

**Atocha. También está previsto instrumentar todas las infraestructuras subterráneas cercanas al túnel (aparcamientos subterráneos y túneles de metro y Cercanías).**

**Asimismo, y con carácter previo a los trabajos de construcción, Adif ha elaborado un catálogo de los 468 edificios y más de 3.200 viviendas que se encuentran en la zona de influencia del túnel, siendo inspeccionados la totalidad de los edificios y más de un tercio de las viviendas, lo que permitirá comprobar su estado antes y después del paso de la tuneladora. Hasta ahora se han inspeccionado ya más de 900 viviendas. Entre los edificios a inspeccionar se encuentran diversas edificaciones singulares y monumentos, como la Puerta de Alcalá, el Casón del Buen Retiro, el Museo Arqueológico y el edificio Villanueva del Jardín Botánico.**

vación se inicia en la cabecera sur de Chamartín, donde ha sido necesaria la ejecución de un falso túnel de 120 metros, mediante pantallas de pilotes, por dentro del cual pasará la tuneladora. Los últimos 20 metros del túnel se ejecutarán por el método alemán, método de excavación en mina mediante galerías sucesivas.

### Terrenos y profundidad

El terreno que cruzará el futuro subterráneo se compone de una zona arenosa durante los primeros 800 metros, una zona central de terrenos tosquizos (de carácter arcilloso, muy frecuente en el subsuelo de la capital) hasta la plaza de la Independencia y una parte final dominada por peñuelas (margas arcillosas). Para la excavación se ha seleccionado una tuneladora del tipo EPB, con un buen comportamiento en esta clase de terrenos y suficientemente contrastada en las obras de este tipo ejecutadas en Madrid. En el tramo con predominio arenoso se han previsto tratamientos del terreno para garantizar su total estabilidad.

El inicio de la excavación se realiza a un nivel bastante superficial para poder salvar la línea 9 de metro, pero pro-

fundiza cada vez más hasta alcanzar los 20 metros en el primer medio kilómetro de excavación, con una montura máxima de 48 metros. Estas profundidades evitarán en buena medida posibles interferencias con otras infraestructuras subterráneas, como las ocho líneas de metro que cruzará o los tres nuevos aparcamientos subterráneos que el Ayuntamiento de Madrid construye en la calle Serrano, y facilitarán las labores de perforación.

Como elementos singulares del túnel, destacan un centro de instalaciones (en Atocha) y dos pozos para introducción (cabecera sur de la estación de Chamartín) y extracción de la tuneladora (plaza del Embarcadero, junto a la estación de Atocha, consistente en una excavación de 20x25 metros a 20 metros de profundidad). También hay que destacar las ocho salidas de emergencia, cinco de ellas con salida directa a la superficie y las otras tres que se comunicarán al exterior a través de los tres aparcamientos que se ejecutan en la calle Serrano. El resto de las salidas de emergencia, situadas a una distancia máxima de 1.000 metros, se localizan en la calle Espalter, en la plaza de la

República Argentina y en las calles Concha Espina, Alberto Alcocer y Hiedra, esta última junto a la embocadura del túnel en Chamartín.

Asimismo, se construirán tres pozos de ventilación (situados en Puerta de Alcalá, Serrano y paseo de La Habana), cinco pozos de bombeo y cuatro centros de transformación.

### Actuaciones en marcha

Actualmente ya son visibles en la ciudad diversas obras a lo largo del trazado del túnel, que corresponden a la construcción de los pozos verticales que constituirán las de emergencia y los pozos de ventilación/bombeo y de tratamiento del futuro subterráneo. En concreto, en verano se iniciaron las obras de estos pozos en la plaza de la República Argentina y en las calles de Alberto Alcocer, paseo de La Habana y Serrano, a los que han seguido los demás previstos en el proyecto. Como consecuencia de estas actuaciones se han ocupado varios carriles de vía pública, lo que ha obligado a reordenar el tráfico en colaboración con el Ayuntamiento de Madrid.

También en verano dieron comienzo los trabajos de preparación del terreno en el pri-

mer tramo del túnel, dentro del recinto de la estación de Chamartín aunque afectando a las colindantes calles Hiedra y Mateo Inurria, desde donde se iniciará el ataque de la tuneladora. En este lugar se está ejecutando actualmente un falso túnel de unos 120 metros mediante pantallas de pilotes que será cubierto por una losa de hormigón. Las afecciones en superficie se prolongarán en esta zona hasta el primer trimestre de 2010, aunque cuando el falso túnel esté construido, la tuneladora podrá iniciar su excavación en dirección sur sin afección alguna en superficie. Del mismo modo, en la zona de Atocha se llevan a cabo otras actuaciones para identificar y reponer los servicios urbanos afectados.

Todos estos trabajos preparan el terreno para la llegada a la zona de ataque de la tuneladora que perforará la mayor parte del túnel y lo revestirá con dovelas de hormigón. Esta máquina, un gigantesco *topo* con un diámetro de 11,5 metros en su escudo frontal, 2.200 toneladas de peso y una potencia de 8.450 kW, se ha fabricado *ex profeso* para el subterráneo madrileño en la factoría de la empresa alemana Herrenknecht. Entregada el pasado 9 de diciembre a las empresas constructoras, la tuneladora será trasladada por vía marítima hasta el puerto de Alicante, y desde allí por carretera hasta la estación de Chamartín, adonde llegará a mediados de enero. Una vez montada, iniciará la excavación del túnel, previsiblemente a principios de la primavera. A una velocidad prevista de 500 metros al mes, las previsiones de Adif estiman que podrá concluir su trabajo en la estación de Atocha en el segundo trimestre de 2011. El túnel, según las mismas previsiones, estará en servicio a finales de 2012. ■