

L9 del Metro de Barcelona, aspectos tecnológicos e industriales

La Línea 9 del Metro de Barcelona, cuyo primer tramo será inaugurado previsiblemente este mismo mes, es el proyecto más emblemático de esta ciudad. Con sus casi 48 kilómetros de longitud y 52 estaciones, será la que una más municipios (El Prat de Llobregat, Hospitalet de Llobregat, Barcelona, Badalona y Santa Coloma de Gramanet), la primera con conducción automática, andenes cerrados, circulación de trenes a dos niveles y profundidades superiores a las de todas las líneas actuales. Y, además, será la línea de metro automática más larga de Europa.

BELÉN GUERRERO, AMALIA JULIÁN Y ÁNGEL RODRÍGUEZ

La línea automática más larga de Europa

El pasado 6 de octubre se celebró en Barcelona una jornada de divulgación en la que, bajo el nombre de "Impacto tecnológico e industrial del proyecto de la Línea 9 de Metro de Barcelona", se hacía una presentación de este emblemático proyecto barcelonés, así como del estado actual de las obras, la explicación de la obra civil, de las instalaciones y comunicaciones, ingenierías diversas, material móvil y evolución del diseño de los trenes y análisis de la conducción automática, entre los temas más destacados.

La Jornada estuvo auspiciada por Railgrup, una asociación de más de cien empresas que nace en el año 2002 con el objetivo de reforzar la competitividad de la industria ferroviaria en Cataluña. Concentra a más de 100.000 trabajadores y tiene una facturación global superior a 15.000 millones de pesetas.

■ Ifercat

El proyecto de construcción de la Línea 9 (en adelante L9) del Metro de Barcelona es de Ifercat (Infraestructuras Ferroviarias de Cataluña), que tiene como objetivo conservar, gestionar y administrar las mismas. En este sentido, Ifercat es el propietario y administrador de la infraestructura de la Línea 9.

■ La línea más larga

La L9 de metro será la línea automática de metropolitano más larga de Europa, una experiencia innovadora en este

■ Los tres grandes proyectos de Ifercat

- La propiedad y administración de la infraestructura de la Línea 9.
- Proyecto de los grandes ejes ferroviarios.
- Línea orbital ferroviaria de la región metropolitana de Barcelona.
- Proyecto del eje transversal ferroviario.
- El desarrollo de estudios y proyectos destinados a la potenciación del método ferroviario.
- La adecuación de infraestructuras existentes para la explotación del tren-tranvía.

sector. Constituirá un anillo en torno al centro de Barcelona que incrementará la eficiencia de la actual red de transporte metropolitano, romperá el actual modelo radial y potenciará la conexión con el resto de líneas de metro.

El principal objetivo de su construcción es dar respuesta a las necesidades de movilidad de un territorio muy poblado. Así, hay que destacar que la L9 recorre cinco municipios de la región metropolitana de Barcelona: conecta Santa Coloma de Gramanet y Badalona con Hospitalet de Llobregat y el Prat de Llobregat.

Se caracteriza también porque llega al Aeropuerto del Prat y a la Zona de Actividades Logísticas (ZAL), da servicio a la parte alta de la ciudad de Barcelona evitando el paso por el centro y une el Aeropuerto, el puerto, los recintos feriales y las zonas residenciales.

Trazado de la línea 9.



DATOS GENERALES

Longitud total L9 y L10	47,837 km
Longitud total de las actuaciones	50,080 km
Número de tramos	4
Métodos constructivos	Túneles de 12 y 9,4 metros de diámetro con tuneladoras, túnel en mina, túnel entre pantallas y viaducto
Número de estaciones	52
Cocheras y talleres	3 (Can Zam, calle A de la Zona Franca y polígono Pratenc)
Subestaciones	2, de 100 MW (más una provisional de 24 MW)
Alimentación	Doble anilla de 25 kV en toda la línea
Catenaria	Rígida a 1500 V
Ancho de vía	1.435 mm
Carril	54 kg/ml
Velocidad comercial	33 km/h. Máxima 80 km/h

DATOS DE EXPLOTACIÓN

Previsión de viajeros en 2020	130 millones
Velocidad comercial	33 km/h
Frecuencia de paso en tramo central	Tres minutos en cada sentido
Servicios comerciales L9	Cam Zan a la T1 del Aeropuerto
Servicios comerciales L10	Gorg a ZAL
Material móvil	50 trenes Metròpolis serie 9000
Fabricante	Alstom
Longitud	85,86 m
Velocidad máxima	80 km/h
Número de pasajeros	975 viajeros. 122 sentados
Tipo de composición	Continua
Equipamiento del tren	Vídeo-vigilancia, megafonía e interfonía, paneles de tv para información al viajero
Sistema de conducción automática	ATC de Siemens

■ El efecto red

Para el Ifercat, un factor clave de esta infraestructura es lo que denomina el incremento del efecto red, que se consigue con las posibles interconexiones entre las L9 y L10 con la propia red de metro barcelonesa y otros modos de transporte. Así, en su trazado, enlaza estratégicamente con el resto de líneas del Metro, de ferrocarril (Renfe y FGC), con el tren de alta velocidad y con infraestructuras tan importantes como la Feria de Barcelona, el aeropuerto del Prat o la futura Ciudad de la Justicia de Hospitalet de Llobregat. La nueva línea conectará con diecisiete estaciones y nueve del propio Metro de Barcelona (TMB), cuatro estaciones de Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (FGC), seis de las Cercanías de Renfe, dos del Aeropuerto y dos del AVE.

INTERCONEXIONES DE LA L9

Transporte	Estaciones
TMB	9
FGC	4
Cercanías Renfe	6
Aeropuerto	2
AVE	2
Total	17

El grosor de los trazos indica el volumen de demanda prevista en 2020.

FALTA ESQUEMA

Innovación también en la gestión

Entre los aspectos más destacados en la construcción de la L9 está, por supuesto, la conducción automática, que hará de la Línea la primera de Europa con esa longitud; este aspecto supone el cerramiento de andenes con puertas automáticas.

Pero hay más características innovadoras en la línea como la circulación de trenes a dos niveles; profundidades superiores en todas las líneas actuales que llegarán hasta los 60 metros; estaciones planificadas en forma de pozo circular con diámetros que varían de 26 a 32,4 metros; o accesos desde el vestíbulo hasta el andén bien a través de ascensores o bien por escaleras mecánicas, según sea la profundidad de la estación.

Finalmente, la construcción ha supuesto también la implantación de un nuevo modelo de gestión de infraestructuras del metro y la separación entre la gestión de las infraestructuras y la operación o explotación.

Puesta en servicio

La puesta en servicio de una primera fase de la L9 se ha previsto para este mismo mes de




Levantamiento de la tuneladora en la estación de Havaneres.

noviembre y posteriormente entrarán en servicio otras fases que corresponderán a diferentes subtramos, comenzando por los más próximos a la comarca del Besòs, al norte de la ciudad condal.

Las previsiones apuntan a que la línea podrá estar totalmente operativa en la segunda mitad del año 2014, momento en que entrará en servicio el tramo central de Sagrera Meridiana – Camp Nou. ■

LA INFRAESTRUCTURA DE LA L9

Concepto	Datos generales	Detalles
Longitud total	47,8 km	38,3 km construidos con tuneladora (Ø 12 y 9,4m), 5,6 km entre pantallas y 3,9 km de viaductos
Número de Estaciones	52	30 tipo pozo; 17 entre pantallas; 5 viaductos
Servicios I	2 Cocheras	Can Zam en Sta. Coloma de Gramenet y Calle A de la Zona Franca
Servicios II	3 Subestaciones eléctricas	Macropozo de Sagrera (100 MW); Cocheras Calle A (100 MW); Cocheras Cam Zam (24 MW)
Construcción Tramo 1	Aeropuerto T1- Amadeu Torner	13 estaciones – 16,8 km (túnel)
Construcción Tramo 2	Polígono Pratenc - Camp Nou	14 estaciones – 10,8 km (túnel y viaducto)
Construcción Tramo 3	Zona Universitaria - Maragall	12 estaciones – 9,3 km (túnel)
Construcción Tramo 4	Sagrera Meridiana - Can Zam / Gora	13 estaciones – 10,9 km (túnel)



Estación La Salut
del arquitecto
Alfons Soldevilla.

■ Estaciones con personalidad

Por los condicionantes del terreno, la L9 supondrá una de las excavaciones ferroviarias más profundas de Cataluña. Por ese motivo, la mayoría de las estaciones se han realizado verticalmente, en forma de pozo circular.

Desde los vestíbulos, situados a nivel de calle, se accederá a los andenes con ascensores de alta capacidad o escaleras mecánicas de emergencia.

El diseño de las estaciones estará marcado por la impronta personal de cada uno de los arquitectos seleccionados para este proyecto, que cuenta con profesionales tan destacados como Toyo Ito, J. Martorell, O. Bohigas, D. Mackay y Ll. Pau, D. Freixes y S. Ribot, J. Garcès, J. Fabrè y M. Torras, R. Sanabria, F. Vazquez, J. Forgas y D. Ylla-Català, M. Ruisánchez, T. Morató y J. Arderiu, G. Mora y C. Santvicens, A. Soldevila, M. Sánchez y D. Piulachs.

A pesar de la diversidad de arquitectos, en las estaciones hay siempre una cierta continuidad estética pero cada una de ellas estará dotada de una personalidad y un carácter propio. Serán estaciones inteligentes y con diseño de autor.

■ Construcción y gestión por concesiones

La L9 del Metro de Barcelona se ha construido, será mantenida y posiblemente también explotada a través de un sistema de concesiones ideado por Ifercat.

La estructura de éstas consiste básicamente en que Transportes Metropolitanos de Barcelona (TMB) ha suscrito con Ifercat un convenio por el que devenga a ésta un cánón ferroviario. Por su parte, Ifercat establece una tarifa técnica a través de un contrato de concesión. Los concesionarios a su vez se han dedicado a la construcción de la línea y al mantenimiento de la misma.

El objeto de la concesión de las estaciones de los tramos I y IV, cada uno con trece estaciones, es: la redacción de los proyectos, la construcción de las estaciones, la urbanización de los espacios del entorno y el mantenimiento y conservación del conjunto de las infraestructuras.

Globalmente, la L9 ha supuesto un endeudamiento de 1.639,3 millones de euros, de los que 1.014 pertenecen al tramo I y 625,3 millones al tramo IV.

ADJUDICACIÓN DE LAS CONCESIONES

Concesiones	Tramo	Tramo IV
Titular de la concesión	Concessió Estacions Aeroport L9, S.A. (CEAL 9)	Línea 9 Tramo Cuatro, S.A.
Adjudicatario	FCC Construcción, Obrascón Huarte Lain y Copisa	Cat Desenvolupament de Concessions Catalanes, Acciona Infraestructuras, COMSA Concesiones y ACSA Obras e Infraestructuras
Duración	32 años y 8 meses	31 años y 9 meses
Tarifa Técnica	79,40 millones euros /año	51,89 millones euros /año

El material rodante

Alstom en consorcio con AnsaldoBreda resultó adjudicatario del contrato para el suministro del material rodante para la Línea 9 del Metro de Barcelona, cincuenta y seis trenes de cinco coches que serán los primeros completamente automáticos en un suburbano español.

Inicialmente, el contrato contemplaba el suministro de cincuenta trenes, con la siguiente distribución: trenes 1 a 24, para la Línea 2; trenes 25 a 34, para la Línea 4 y los trenes 35 a 50 para la Línea 9. Posteriormente, en abril de 2009, TMB contrata seis trenes adicionales, con la misma configuración que los dieciséis que circularán por la Línea 9, con lo que su parque estará compuesto por veintidós trenes de la serie 9000.

Los trenes destinados a las líneas 2 y 4 equipan también sistemas de ATP y ATO. Alstom ha fabricado los trenes pertenecientes a su plataforma de metros, "Metropolis", y la italiana AnsaldoBreda que completa el consorcio, se encarga de la fabricación de los bogies y los convertidores. El diseño, la fabricación de los coches, el montaje y las pruebas de los trenes se llevan a cabo en la factoría de Alstom en la localidad barcelonesa de Santa Perpetua de Mogoda.

La estructura es mixta de aluminio y acero (acero en suelos y testeros) de modo que se combina la solidez frente a las colisiones con la ligereza. Su peso total es de 157 toneladas.

Los trenes son unidades de cinco coches, de los cuales cuatro son motores -los dos extremos con cabina- y el central, remolque de manera que la composición es Mc-M-R-M-Mc, con los tres vehículos intermedios con dimensiones idénticas. Todos los coches motores cuentan con un pantógrafo.

Los cuatro coches motores cuentan con dos bogies motores cada uno y el coche remolque con otros dos bogies portadores. Los bogies, fabricados por AnsaldoBreda, son de

bastidor en H con suspensión secundaria neumática, un disco de freno por eje, motores suspendidos y zapatas de limpieza. La unión caja-bogie es con corona.

El sistema de tracción es el Onix de Alstom, alimentado a 1.500 voltios

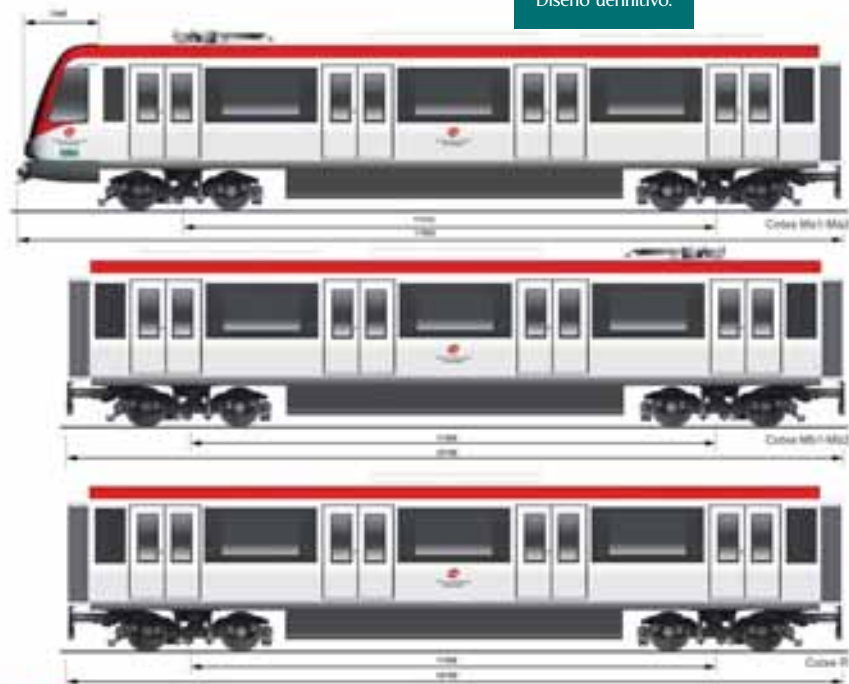
El sistema neumático cuenta con un equipo de producción de aire compuesto por un grupo motocompresor alternativo de pistones de 1.450 litros por minutos a 1.450 rpm, 400 voltios y 50 HZ, un secador de aire de dos columnas y depósitos de acero.

Cada coche cuenta con cuatro puertas por banda, equidistantes, lo que facilita el flujo de personas y la implantación de las puertas de andén, imprescindibles en la operación de un sistema de metro automático.

Trabajos de diseño.



Diseño definitivo.



- RAL 9005
Color de caja
- RAL 9017
Finestres i marcs de finestres
- RAL 7008
Espai entre finestres
- RAL 3020
Línia de color
- RAL 7012 / 7018
Dolls bastidor



PROPOSTA DEFINITIVA
Proposta bàsica d'aplicació gràfica per a les unitats de Metro Barcelona Línia 9



Las puertas de los vehículos estarán sincronizadas con las del andén, contarán con mando individualizado y tendrán un margen máximo de error en su punto de parada inferior a los 30 centímetros

Cada puerta, de doble movimiento encajable-deslizante, tiene un paso libre de 1.300 milímetros y una altura de 1.900 mm.

Los coches extremos cuentan con una puerta de evacuación frontal, con rampa y mecanismo de freno, para emergencias. Su tiempo de apertura es de 30 segundos.

Existen pasillos de intercurrencia entre coches, con aislamiento acústico reforzado y 1.350 mm de paso libre que convierten al tren en un todo continuo. En el interior la altura mínima en la zona de viajeros de pie es de 1,90 metros.

Los cuatro vehículos motores van provistos de un pantógrafo de accionamiento electro-neumático, y los dos coches extremos cuentan con un enganche de unión automático en el extremo de cabina y otro semipermanente en el extremo posterior. Los coches intermedios, tanto los dos motores como el remolque, disponen de dos enganches semipermanentes en cada uno de sus extremos.

Las unidades incorporan un sistema de diagnóstico y control que permite optimizar el mantenimiento y asegurar la máxima disponibilidad de las mismas. Otro aspecto reseñable es la reducción del cableado por la utilización extendida de micro-controladores.

Asimismo, el tren dispone de sistemas de comunicaciones avanzados, sistema de control automático ATC, y es telemandado desde un puesto central de control, y cuenta con circuito cerrado de televisión, con wifi en tiempo real.



Pupitre.



Puertas de cabina.



Zona de cabina.



Interior del tren



Sección del interior de un coche.

Los vehículos disponen de equipos de climatización, refrigeración y precalentamiento, y de sistemas de información ópticos y acústicos, con aviso de parada, indicadores de lado de apertura de puertas, teleindicadores y gráficos de líneas dinámicas, además de pantallas de televisión visibles desde todos los puntos. Los equipos de climatización son unidades compactas semiempotradas en el techo y formadas por dos equipos independientes, que se instalan en el centro del vehículo.



Testero de la unidad fabricada por Alstom.

En el interior del vehículo se registrará un bajo nivel de ruido y vibraciones gracias a varias mejoras introducidas en el diseño de los trenes, como la optimización acústica del sistema de tracción, la instalación de un piso flotante, las ventanas de

■ Diseño

En su exterior, las unidades mantienen el color blanco tradicional en la imagen del material rodante de Metro de Barcelona y ofrecen unos perfiles y volúmenes dinámicos y diferenciados del resto del material convencional de la red de metro barcelonesa. El diseño, ha valorado especialmente la seguridad y el confort de los viajeros y la incorporación de las tecnologías más avanzadas, además del ahorro energético y la reducción de peso, la fiabilidad del servicio, la reducción de los costes de mantenimiento y la máxima disponibilidad.

Integral Design & Development trabajó en colaboración con TMB, Alstom y Fainsa en todos los aspectos relacionados con el diseño y la unificación de criterios semánticos y estéticos para la unidad.

Durante los primeros meses de proyecto la labor de diseño fue investigar las necesidades e inquietudes de TMB, Alstom y usuarios del metro, para compilar una especificación paralela que dibujase un vehículo. La conclusión de este estudio dio como resultado una maqueta a escala natural donde se apreciaba con claridad el carácter diferenciado y exclusivo de la propuesta de diseño para las unidades.

En su interior, un tren sin conductor exigía un pupitre completo y escamoteable. En el diseño exterior se trabajó para mejorar la propuesta del contrato para adaptar el vehículo a la estética de una ciudad como Barcelona. Adicionalmente, surgió la necesidad de incluir una puerta frontal de evacuación para el desalojo de viajeros en túnel cuando TMB decide reforzar, con este mismo vehículo, el parque en las líneas 2 y 4.

Esta decisión supone el diseño de un tren automático, y por tanto de una cabina, para la Línea 9 y manual para las otras dos. Así se construyó una maqueta para la validación de la cabina.

Esta cabina, hoy, se monta en las líneas 2 y 4 para conducción convencional y en las unidades de Línea 9 para conducción automática, con un pupitre escamoteable y un espacio de paso libre central, para desalojo, de casi 900 mm. La integración de la puerta de evacuación frontal sobre el testero requirió de una adaptación de diseño que supuso una segunda versión del frontal.

La serie 9000 es un proyecto de diseño innovador cuyo resultado es un metro de conducción mixta con cabina visitable y puerta de evacuación frontal que se ha convertido en un nuevo estándar para la plataforma metrópolis de Alstom.

CARACTERÍSTICAS

- Ancho de vía: 1.435 mm
- Ancho de coche: 2.710 m
- Altura vehículo (vía-suelo): 1.150 m
- Altura libre: 2,100 m
- Altura total del vehículo: 3,859 m
- Número de puertas: 40 (5 x 8)
- Diámetro de ruedas nuevas: 840 mm
- Longitud total tren : 86.094mm
- Longitud total coche: C.Cabina : 17.865 mm. Intermedio: 16.788 mm
- Longitud de caja: C.Cabina: 17.180. Intermedio: 15.868 mm
- Distancia entre pivotes: C.Cabina: 11.570 mm. Intermedio: 11.368
- Altura del enganche: 850 / 730
- Empate del bogie: 2.000
- Paso libre entre coches: 1.350
- Distancia entre puertas: 4.197

doble cristal, y la intercomunicación y las puertas con prestaciones de reducción de ruidos.

Cada tren, que dispone de espacio para bicicletas, tendrá un total de 112 plazas sentadas y dos para sillas de ruedas una en cada uno de los coches motores intermedios, con cinturones de seguridad y mayor amplitud.

Con una ocupación de cuatro personas por metro cuadrado, el tren puede transportar 565 viajeros de pie. En carga normal (6 viajeros/m²) 846 y en carga máxima (8 viajeros/m²) 1.128, de modo que los números totales de pasajeros son de 679, 960 y 1.242, respectivamente.

En el interior, la mayoría de los asientos tienen una disposición longitudinal que permite ofrecer un amplio espacio central

para los viajeros de pie. Las barras de sujeción son verticales y están situadas en línea con los grupos de cuatro asientos unas, y en el centro de los coches otras. Estas últimas tienen tres columnas, lo que permite que sean utilizadas por el máximo número de personas en las horas de mayor ocupación.

Los dos coches extremos cuentan con un pupitre de conducción, que se encuentra tapado por una protección. En caso de necesidad el tren puede ser operado manualmente, por ello basta con descubrir el pupitre, en el que se encuentran todos los mandos necesarios para la conducción, con una sencilla maniobra sobre la protección.

En modo de conducción automática, el pupitre permanece oculto y junto a él se ofrece un espacio en el que se sitúan cuatro asientos, y la posibilidad de observar el recorrido del tren a través del cristal situado en el testero.

La velocidad máxima de servicio de los trenes es de 80 kilómetros por hora, y la comercial de 33 en conducción automática y de 27,7 en manual, con una aceleración máxima de un metro por segundo en cada segundo. La deceleración máxima de un tren cargado con ocho viajeros por metro cuadrado con uso de freno reostático únicamente, es de 1,20 metros por segundo en cada segundo y con freno de emergencia de 1,30. ■

Obra civil: innovaciones tecnológicas

En la construcción de la L9 ha habido innovaciones técnicas destacables en la parte de la obra civil. Podría señalarse por ejemplo la tipología de los trenes, cuya sección es de dos niveles o la construcción de estaciones tipo pozo. En cuanto a las innovaciones constructivas destaca el método de extracción de tierras, la excavación de pantallas con hidrofresa y la armadura de éstas con fibra de vidrio en las estaciones tipo pozo. También es innovadora la utilización de hormigón reforzado con fibras sintéticas o manera de acometer la ejecución de la conexión entre la estación tipo pozo y el túnel.

■ Túneles con vías superpuestas

En cuanto a los túneles, que ocupan 43,9 de los 47,8 kilómetros de vía, son de dos tipos:

los construidos con la doble vía a nivel en el tramo 1 de la línea, que tienen un diámetro de 9,40 metros y los de doble vía superpuesta en dos niveles en los tramos 2,3 y 4, cuyo diámetro es de 12 metros. Precisamente la ejecución del túnel en dos niveles dispone de una losa intermedia ejecutada con carro de encofrado móvil, lo que permite maniobras entre estaciones, la integración de andenes en la sección y la consiguiente minimización de las dimensiones de la estación.

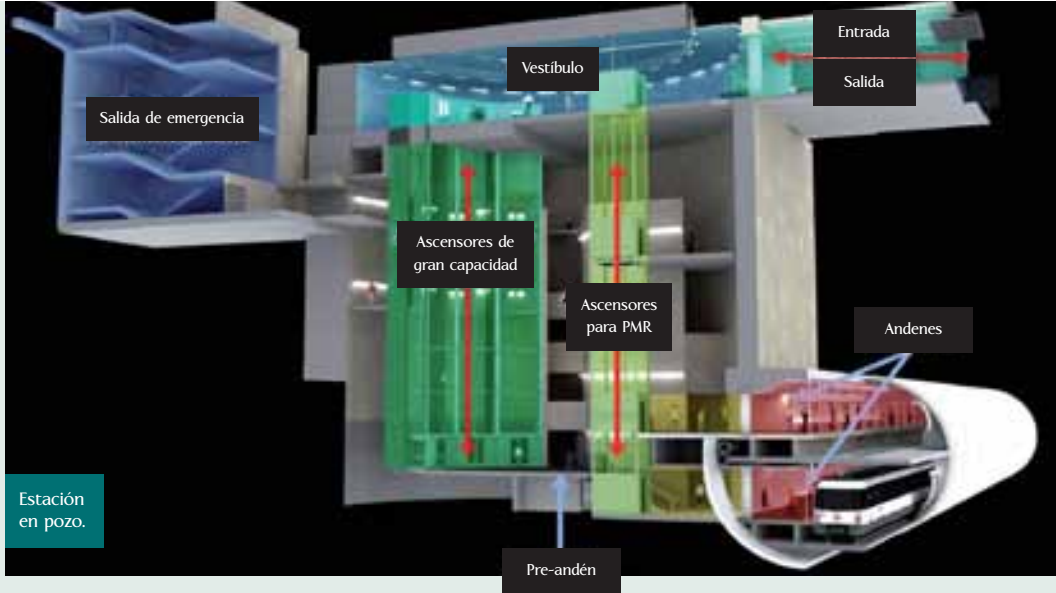
■ Estaciones tipo pozo

En cuanto a la construcción de estaciones tipo pozo, los condicionantes en su ejecución han venido sobre todo por la gran profundidad que tienen los túneles, que se sitúan entre 60 y 80 metros del subsuelo y el estar localizadas en un entorno urbano denso.

Las principales ventajas de este tipo de estaciones son que pueden situarse a grandes profundidades, que representan una mínima ocupación de la superficie, que los andenes se integran en la misma sección del túnel y que están totalmente adaptadas para personas con movilidad reducida.

■ Extracción de tierras

Para la extracción de tierras en las estaciones tipo pozo, tarea condicionada por la gran dimensión de los pozos



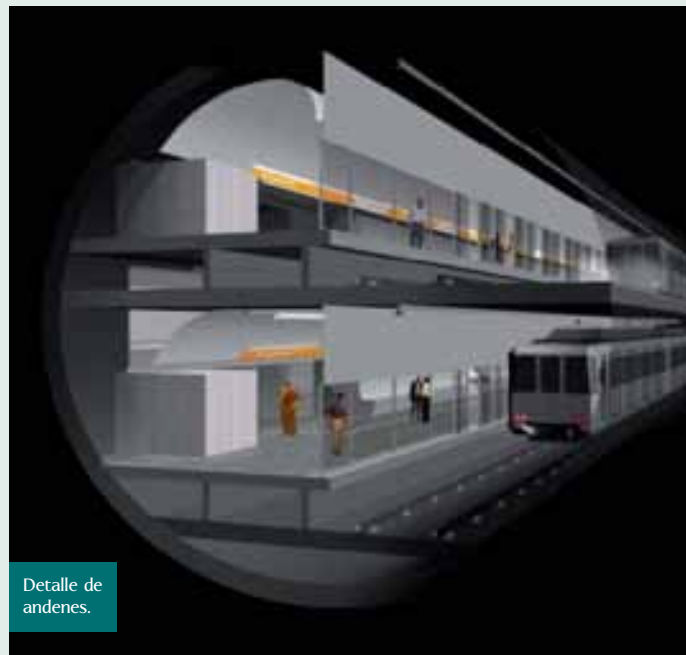
Estación en pozo.

y el consiguiente gran volumen de tierras, han sido necesarios los siguientes equipos especiales: una tolva de 20 m³, dos contenedores de 10 m³ con apertura inferior, una giratoria, un retroexcavadora mixta, una grúa torre y camiones bañera de unos 20 m³.

Las ventajas del sistema de descarga inferior son el menor número de maniobras que se realizan, el mayor rendimiento y una mayor seguridad en la ejecución de las maniobras.

Excavaciones con hidrofresa

Otra actuación novedosa es la excavación de pantallas con hidrofresa en la estaciones pozo. La L9 tiene una serie de condicionantes para la ejecución de



Detalle de andenes.

Transporte vertical

Las especiales características de construcción y profundidad de la Línea 9 han determinado la necesidad de instalar en las estaciones un total de trescientos ascensores de gran capacidad –hasta veintiuna personas– y con velocidad media de 2 metros por segundo.

Todas las estaciones cuentan con ascensores para personas de movilidad reducida, con capacidad máxima para trece personas y velocidad de 1 metros por segundo. Adicionalmente, la línea contará con cuatrocientas escaleras mecánicas ecológicas, sin grasa y 20 por ciento más rápidas que las convencionales.

El sistema de transporte vertical cuenta con un subsistema de control inteligente de los ascensores que coordina su funcionamiento con la llegada de los trenes a las estaciones y adapta la oferta de transporte a la demanda para reducir los consumos eléctricos.

■ Ingeniería

Las ingenierías participantes en la Línea 9, ya sea en proyectos o en dirección de obra o asistencia técnica, han sido Ardanuy, Auding, AZM, Bureua Veritas, GPO Ingeniería, ICR, Ineco/Tifsa, Intraesa, Paymacotas, Planytec, Sener Ingeniería y Sistemas, SGS Tecnos y Typsa.

Ha intervenido en los proyectos de infraestructuras, túneles, señalización, puertas de andén, puertas en las rampas de túneles, comunicaciones y billética, energía, puesto de mando, transporte vertical, identificación y gestión de riesgos y en la ingeniería de integración de los sistemas y subsistemas.

Ésta última ha supuesto la redacción y el seguimiento de todas la funcionalidades de todos los subsistemas, de los interfaces entre ellos y la funcionalidad transversal del sistema global, las pruebas de todo ello y al coordinación de todos los trabajos durante la fase de pruebas.

Al margen de los grandes epígrafes de la obra civil y la señalización y el sistema de conducción automática, la Línea 9 cuenta con puertas motorizadas con comprobación y enclavamientos de su posición final que permiten sectorizar los dos semitúneles para garantizar la seguridad en caso de evacuación. Estas puertas están telemandadas y sus movimientos condicionados por la señalización ferroviaria.

En cuanto a la energía, dos subestaciones receptoras de 220/30 kv alimentan una red de distribución de energía propia a 30 kV que da servicio a toda la línea, que asegura la calidad y disponibilidad con independencia de las compañías eléctricas distribuidoras y con un ahorro de costes por la mayor tensión de recepción.

La alimentación de la tracción a 1.500 V, con rectificación dodecafásica y dimensionada para doble degradación simultánea del sistema, permite mantener el suministro y el servicio normal con pérdida de una subestación o de un rectificador

El Puesto de Control Central incluye puestos de operación multidisciplinares que ofrecen una gran flexibilidad al operar al asociar las funciones a los operadores y no a los puestos fijos. El telemando integra y controla todas las funciones y sistemas.

esta técnica como es su ya sabida gran profundidad, la desviación vertical menos del uno por ciento, la impermeabilidad del terreno y la necesaria limitación en vibraciones por el entorno urbano del trazado de la línea.

Otros condicionantes adicionales son la disponibilidad de la máquina, el alto coste (300.000 euros la movilización, más 20.000 euros por día de alquiler) y la necesidad de una mayor planificación de los trabajos.

La ventaja de este sistema frente a otros convencionales es que permite excavar terrenos competentes, que puede llegar a profundidades de hasta 150

metros, que la desviación vertical es menor del 0,3% (frente al 1,2 -1,3% en las pantallas tradicionales), que hay ausencia del golpeo en el terreno con la consiguiente minimización de vibraciones y que tienen un mayor rendimiento: hasta 120 m2 batache/día frente a los 50 ó 70 m² por día en las pantallas tradicionales.

■ Fibra de vidrio en pantallas

En la L9 se han construidos pantallas con armaduras de fibra de vidrio en estaciones tipo pozo. Esta materia prima importada de Italia se ha utilizado siempre en obras punteras y sus ventajas principales como armadura es que tiene una resistencia a tracción de 600 MPa, tiene baja resistencia de corte y, por consiguiente es excavable y no produce daños en las tuneladoras.

■ Fibras sintéticas de refuerzo

La utilización de fibras sintéticas como materia prima en obra civil es una técnica desarrollada en Japón y una alter-

ADJUDICACIÓN DE LAS CONCESIONES

Empresa	Actividad	Inversión (millones de euros)
Applus	Auscultación e instrumentación	14
Carburos metálicos	Suministro de gas	-
Ferrovial	Proyecto constructivo y ejecución de obras	191
Comsa	Proyecto constructivo y ejecución de obras	290

nativa al refuerzo con fibras de acero. En esta línea se ha utilizado hormigón reforzado con fibras sintéticas en las pantallas, que permite la excavación con tuneladoras y en el anillo de contención de tierras en la estación de Llefia.

La ventaja de este método es la ausencia de corrosión y la mayor capacidad de absorción de energía. Además aumenta la ductilidad, capacidad resistente,

resistencia al fuego y durabilidad del hormigón. Previene también la figuración de éste.

■ Un ejemplo de logística de la obra

El suministro de materiales en un túnel es siempre un tema complejo y la existencia de dos vías superpuestas en los de la L9 complica aún más el transporte de materiales al frente de trabajo.

En el caso de los carriles, se introducían barras de 18 metros por los pozos de ataque mediante un balancín y, posteriormente, se subían al piso superior con un polipasto. Para llevarlos al frente se utilizaba un vehículo bivial con remolque que circulaba por la vía auxiliar. ■

Conducción automática

En el diseño e implantación del sistema de conducción automática de la Línea 9 han colaborado Dimetronic, Emte sistemas -ahora Comsa Emte-Siemens, la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Industrial y Aeronáutica de Tarrasa de la Universidad Politécnica de Cataluña y el Centro Tecnológico de Conducción Automática de Metros (Cetecam).

Este sistema es uno de los emblemas de la línea, la primera en España en operación completamente automática, lo que supone la reducción de la posibilidad de errores humanos, mayor seguridad y fiabilidad en el servicio y más seguridad para los pasajeros.

Globalmente ha supuesto una inversión de unos 81 millones de euros y el trabajo de un equipo de más doscientas personas en su desarrollo, suministro, instalación, pruebas y puesta en servicio.

En un sistema sin conductor como el de la Línea 9, son automáticos, la circulación de los trenes, la parada en las estaciones, la apertura y cierre de puertas y la recuperación después de fallos. Asimismo, existe una transmisión en duplex, continua entre equipos.

Ese funcionamiento se basa en el sistema centralizado

de gestión de todos los subsistemas de la línea, tanto los relacionados con la conducción automática como los de energía, puertas de andén o el puesto de mando central.

Un sistema de gestión de la circulación, con equipos en vía, a bordo y el puesto control, permite la localización de los trenes y controla su circulación. La seguridad de movimientos e itinerarios y el control de señales, motores y circuitos de vía es responsabilidad de otro sistema que permite el movimiento de trenes en modo degradado y la circulación de

Estación Aeropuerto diseñada por Ramón Sanabria.





trenes no equipados con sistema de conducción automática.

La Universidad Politécnica y Cetecam han diseñado y creado los manuales de procesos y la normativa de operación de la línea, y establecieron el procedimiento y los requisitos para la operación segura de la conducción automática. Asimismo desarrollaron un modelo operativo virtual de la red para poder realizar simulaciones y optimizar el plan de circulación.

Emte ha suministrado los equipos del puesto de mando y ha desarrollado los programas de monitorización y control de los diferentes telemandos y los equipos de instalaciones fijas, transporte vertical, seccionadores de catenaria y material, móvil, además de trabajar en la adecuación de las salas técnicas. (Ver sistema en www.vialibre.org).

Así quedan gestionados desde el puesto de mando los subsistemas de energía, puertas de andén, instalaciones fijas, ascensores, antiincendios, comunicaciones, material móvil y control de accesos, y se integran los subsistemas de tráfico y billética.

Siemens ha desarrollado e implantado en la línea el sistema de CBTC Trainguard MT, verdadero cantón móvil que permite reducir el intervalo entre trenes hasta el mínimo con los máximos niveles de seguridad y disponibilidad.

En el funcionamiento del CBTC instalado, un tren en la línea calcula de manera continua, mediante odometría, su posición en la línea y la transmite vía radio a un centro de control de zona, que calcula la distancia de seguridad detrás del tren y con ello el tramo a proteger del tren siguiente.

De nuevo por radio, se transmite de modo continuo al tren siguiente la distancia de seguridad y el tramo protegido y el propio tren calcula su velocidad y frenado para evitar el rebase de ese tramo protegido.

Los enclavamientos, desarrollados y suministrados por Dimetronic, tienen sus módulos de proceso en una arquitectura redundante en una configuración que ofrece las máximas disponibilidad y facilidad de mantenimiento y permite que en caso de avería del equipo en funcionamiento, el que está en espera tome el control de enclavamiento de forma inmediata y sin afectar a la circulación..



Estación Viaducte de Fabrè & Torres.



Sistemas de telecomunicación

Los sistemas de telecomunicación de la Línea 9, apoyados en redes de transporte SDH de tecnología Tellabs redundante, e IP, de tecnología Cisco redundante, engloban radio digital, megafonía, telefonía, interfonía, información al viajero, cronometría, videovigilancia, gestión de puertas de andén y billética, con máquinas autoventa y máquinas validadoras.

A corto plazo se prevé la implantación de tecnología sin contacto en la validación de títulos de transporte, y máquinas expendedoras de billetes guiadas por voz para personas con discapacidades visuales.

Completamente integrados y con un plan de numeración único, en el desarrollo e implantación de los sistemas de telecomunicación han colaborado Alcatel-Lucent, Commed, Teltronic y Abantia.

Para la videovigilancia se cuenta con un sistema digital de Sony con sesenta cámaras por estación con interfaces

con los sistemas de interfonía, circuito cerrado de televisión embarcado y antiincendios.

El sistema de información al viajero puede ofrecer datos sobre el servicio y las incidencias, o contenidos de tipo publicitario o de servicio público y tiene interfaces con el sistema de control del tráfico, con las pantallas embarcadas, y con los sistemas de megafonía y puertas de andén.

Las comunicaciones radio tren-tierra se llevan a cabo mediante tecnología Tetra suministrada por Emte, que permite transmitir información de señalización ferroviaria, video-vigilancia, información al pasajero, contenidos multimedia en tiempo real, comunicaciones de voz, diagnóstico del tren y acceso a internet entre otros.

Los operadores del puesto de mando dispondrán de las imágenes del interior de los convoyes en tiempo real, de los andenes y otros espacios de las estaciones, lo que mejora la seguridad de los pasajeros mientras viajan o esperan a los trenes. ■



