

Empresas

profundizan

subsuelo

► Tramo de túnel con la vía ya montada junto a la estación de Ejido, del futuro metro de Quito.





españolas

en el

andino

Compañías  
de España Global  
construyen  
los nuevos metros  
de Lima y Quito

Constructoras e ingenierías españolas desarrollan grandes proyectos de transporte público masivo en la región andina, donde lideran la construcción de las nuevas líneas de metro de Lima (Perú) y Quito (Ecuador). Se trata de dos proyectos en distintas fases de desarrollo, que incluyen la ejecución de largos túneles urbanos y se prevé que revolucionarán la movilidad en ambas capitales. El ministro de Fomento, José Luis Ábalos, visitó en octubre las obras del metro de Lima, uno de los mayores contratos de empresas españolas en el exterior.

acusada en ciudades de Europa y América, cuyas autoridades apuestan crecientemente por implantar modos de transporte público masivos y sostenibles como solución a los problemas de movilidad y contaminación en las áreas metropolitanas.

La región andina del Pacífico es un paradigma de esta realidad. Todas sus capitales desarrollan hoy proyectos de ampliación de las redes de metro existentes (Lima, Santiago de Chile) o de construcción de primeras líneas (Quito y próximamente Bogotá). En estos proyectos las compañías españolas juegan un papel clave, aportando el *know how*, la tecnología y la capacidad para ejecutar grandes obras públicas. Enmarcadas en el proceso de internacionalización de la empresa española, estas actuaciones cuentan con el respaldo del Gobierno. Seguidamente se detallan ambos proyectos.

## METRO DE LIMA

**El transporte urbano** (metros y tranvías) es un capítulo cada vez más relevante en la proyección de la marca país España Global. Concesionarias, constructoras, ingenierías y fabricantes de material rodante españoles desarrollan actualmente algunos de los principales proyectos en este campo en los cinco continentes. Esta presencia es especialmente

El Gobierno peruano está configurando un nuevo sistema de transporte público que, bajo una autoridad única, integrará todos los modos existentes (autobuses de tránsito rápido, corredores concesionados, metro) con objeto de tender hacia una movilidad sostenible en el área metropolitana de Lima-Callao (9,5 millones de habitantes), aquejada de graves problemas de tráfico y contaminación.

► Mapa de la línea 2 (trazado amarillo) y ramal de la línea 4 (trazado rojo) del metro de Lima.







► El ministro de Fomento, José Luis Ábalos, durante su visita a las obras al metro de Lima, el pasado 17 de octubre.

El eje del sistema es la red básica del metro de Lima, proyecto para crear una malla de seis líneas, de las cuales hoy solo opera la línea 1, abierta en 2011. Actualmente se construye el segundo eslabón de esta red, la línea 2, cuya ejecución desarrolla un consorcio liderado por compañías españolas.

Esta obra fue adjudicada en abril de 2014 por el Ministerio de Transportes peruano al consorcio Metro de Lima Línea 2, integrado por las empresas españolas Dragados, Iridium (ambas de ACS) y Vialia (FCC), que llevan el

peso de la obra, más otras tres italianas y una peruana, y cuenta con la asesoría técnica de Metro de Madrid y los trabajos de varias ingenierías nacionales (Typsa, Ayesa, Geocontrol, Getinsa). El contrato, bajo modelo concesional, comprende el diseño, construcción, financiación, operación y mantenimiento durante 30 años de la línea 2 y un ramal de la línea 4, con una inversión superior a 5.000 M€. Se trata de uno de los mayores contratos de empresas españolas en el exterior y uno de los proyectos más importantes de la historia de Perú.

El proyecto consiste en la construcción de un trazado subterráneo de 35 kilómetros, de los cuales 27 kilómetros y 27 estaciones corresponden a la línea 2, eje este-este que conectará el distrito oriental de Ate con el puerto de El Callao; y otros 8 ki-

lómetros y 8 estaciones al ramal Faucett-Gambetta de la línea 4 hasta el aeropuerto. La línea 2 atravesará 10 distritos y será intermodal, beneficiando al 25% de la población. Según las previsiones, tendrá una altísima demanda diaria de pasajeros (660.000 en el primer año y 1,2 millones más adelante), que acortarán drásticamente los tiempos de viaje: el recorrido Ate-Callao, que hoy se hace en 2 horas y media, se realizará en 45 minutos. La línea incorporará un sistema automatizado GoA4 de trenes sin conductor, que permite frecuencias cada 80 segundos en hora punta con la máxima seguridad.

## Condicionantes

El proyecto ha planteado varios retos al consorcio, entre ellos la magnitud de la obra y el hecho de ser la primera experiencia de construcción de una línea de metro subterránea en Lima, donde no existen otros túneles a gran profundidad. También presenta fuertes condicionantes, como el perfil geológico y geotécnico del terreno, formado por gravas y arenas de diferente compacidad con una caracterización singular según zonas: suelos compactos de mayor calidad y nivel freático profundo en

Lima, y suelos más heterogéneos y bajo nivel freático cerca del mar en El Callao, lo que aconsejó adquirir dos tuneladoras diferentes para estos tramos. A ello se suma la actividad sísmica de la zona, que ha obligado a utilizar normas in-

---

**La nueva línea del metro de Lima tendrá una demanda de 660.000 pasajeros/día y reducirá a 45 minutos un trayecto en el que actualmente se invierten 2 horas y media.**

---

ternacionales para desarrollar elementos constructivos (muros-pantalla, pilas-pilote) no recogidos en la norma local. Además, el objetivo del cliente de inaugurar una primera fase de la línea con cinco estaciones a los dos años de la firma del contrato obligó a cambiar el método constructivo inicialmente previsto para toda la obra (tuneladora) por otro método para esta fase (nuevo método austriaco o NATM, con ataque desde los pozos situados entre estaciones). Todos estos factores han configurado la estrategia de ejecución de los tres tramos del proyecto: NATM para el tramo 1A, combinación de NATM y tuneladora de terrenos secos para el tramo 1B y tuneladora de terrenos húmedos para el tramo 2. En total, se construirán 25 kilómetros con tuneladora y 10 con medios convencionales, a 20 metros de profundidad. Será la



► Fase de revestimiento del túnel del metro de Lima.

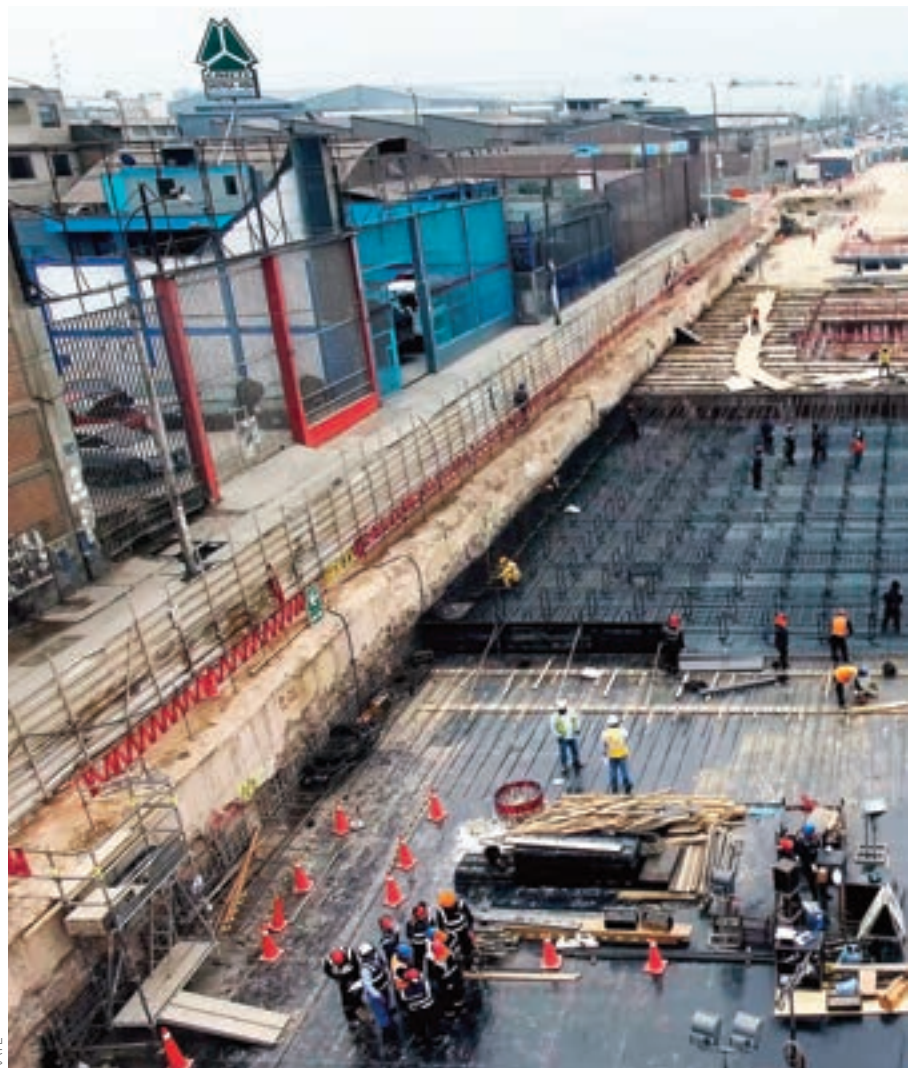
► Abajo: ejecución de losa de compresión superior de una de las estaciones del metro de Lima.

primera vez en la historia de Lima que se emplearán tuneladoras.

La obra, con plazo de ejecución de cinco años, se inició en 2015 al este de Lima, pero diversas circunstancias, como la demora en la entrega de terrenos, la ha ralentizado y hasta ahora solo se ha completado el 25%. Recientemente, la Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico de Transporte Masivo de Lima y Callao (AATE), encargada del desarrollo de la red, acordó con el consorcio varias medidas para acelerar la ejecución en 2019 (quintuplicar la inversión, elevar el número de operarios a 5.000 y cuadruplicar los frentes de obra hasta 52), con el objetivo de culminar el 50% del proyecto a mediados de 2020. El acuerdo, que prolonga la obra hasta 2024, estableció un nuevo cronograma para la entrega de tramos: tramo IA (Santa Anita-Evitamiento 5,7 km) en 2020; tramo IB (Vista Alegre-Ate y Plaza Bolognesi-San Juan de Dios, 11 km) en 2022; y tramo 2 (Parque Murillo-El Callao y ramal Faucett-Gambetta, 17,7 km) en 2024.

## Etapas constructivas

El pasado verano, el consorcio liderado por ACS y FCC alcanzó el primer hito de la etapa IA, la perforación de los 4,2 kilómetros de túnel entre las cinco estaciones del tramo, que ahora suma ya 4,5 kilómetros. El túnel, con sección de 68 m<sup>2</sup>, no se ha construido desde uno o dos frentes de ataque, sino desde ocho frentes simultáneos generados a



AATE



► Túnel revestido y estación en el metro de Lima.



AATE



partir de cuatro pozos de ventilación intermedios entre estaciones. En estos pozos, de 16,5 m de diámetro y 20 m de profundidad, se instalarán equipos de ventilación y escaleras de emergencia. Paralelamente se ha ejecutado la obra civil de las cinco estaciones del tramo mediante el método *cut & cover*, con fases consecutivas de ejecución de muros-pantalla y pilares interiores como sostenimiento sismorresistente, excavación hasta cota de vestíbulo y ejecución de losa de hormigón, ejecución de losa de compresión superior para restablecer los servicios en superficie y excavación hasta la cota inferior de andén. En estas estaciones, organizadas en dos niveles, se realizan hoy trabajos de arquitectura y próximamente de instalaciones electromecánicas. También se ultiman los trabajos de arquitectura de los edificios del patio taller de Santa Anita (que atenderá a la línea 2) y próximamente comenzará la instalación del centro de control, estando ya ejecutados la playa de vías y los túneles de conexión con la vía principal. En próximas fechas se iniciará el montaje de vía en placa en el túnel. El tramo IA será el primero en entrar en operación, con la previsión de hacerlo en diciembre de 2020.

Con el tramo IA en fase avanzada, el consorcio trabaja también en el tramo IB, que se desarrollará en dos etapas. En la primera, se han abierto dos frentes para construir 4,3 kilómetros de túnel correspondientes a los tramos contiguos al IA: Vista Alegre-Ate al oeste (1,4 km) y Evitamiento-San Juan de Dios al este (2,9 km), que incluyen tres es-





taciones, cuatro pozos de ventilación y la única caverna de la línea, de 300 metros de longitud y 18 de anchura, destinada a albergar cuatro vías. Estos tramos son los últimos que se excavarán con el método NATM. En una segunda etapa está prevista la perforación en dirección Callao de un túnel de 6,7 kilómetros y 8 estaciones entre San Juan de Dios y Plaza Bolognesi mediante una tuneladora EPB (Escudo de Presión de Tierras), diseñada en Alemania para excavar suelos compactos. Será en-

tonces cuando la obra avance con más rapidez. Este tramo deberá entrar en servicio en julio de 2023.

El tramo 2, último en arrancar, comprende la ejecución de un túnel de 17,7 kilómetros en dirección Callao, de los cuales 12 km son de la línea 2 y 5,7 km del ramal de la línea 4. Será construido íntegramente por una tuneladora del tipo *Slurry Shield* (Escudo de Presión de Lodos), fabricada para ex-



► Actualmente se procede al montaje de la vía en placa en el túnel construido por las tres tuneladoras en Quito.

cavar terrenos de gran carga hidráulica. La máquina ejecutará los dos túneles de esta etapa (línea 2 y ramal de la línea 4) en dos fases, a iniciar en 2020 y 2021, respectivamente. También se construirán 19 estaciones (11 en la línea 2 y 8 en la línea 4) y 18 pozos de ventilación, así como un segundo patio taller en Quilca, lugar donde se montará la planta de dovelas. El tramo entrará en operación en junio de 2024, fecha en la que funcionará la totalidad de la línea.

## METRO DE QUITO

El Ayuntamiento de Quito desarrolla actualmente el proyecto de la primera línea de metro del país, futura columna vertebral del sistema integrado de transporte público (formado por redes de trolebús, autobuses y transporte por cable) de la capital de Ecuador (2,3 millones de habitantes). En esta ciudad se producen 4,6 millones de viajes diarios, la mayoría en transporte público, y existen problemas de congestión de tráfico y contaminación atmosférica debidos a su peculiar emplazamiento (en un valle alargado y estrecho, que configura un número limitado de rutas lineales para un parque de 450.000 vehículos) y su elevada altitud (a 2.800 metros sobre el nivel del mar la combustión de los motores es menos eficiente y provoca más emisiones). Con el metro de Quito, que será el de mayor altitud del mundo, se estrenará un modo de transporte masivo y sostenible, independiente de las vías en superficie, que permitirá recorrer la ciudad de norte a sur en 34 minutos en vez de los 90 actuales, abriendo una nueva etapa en la movilidad urbana.

El proyecto contempla la construcción de una línea subterránea de doble vía de 22,8 kilómetros que discurre desde el sur (terminal de autobuses de Quitumbe) hasta el norte de la ciudad (estación de El Labrador), con 13 nuevas estaciones de 150 metros de longitud de media, que se sumarán a las dos ya construidas, y 30 pozos de ventilación, además de taller y cocheras, centro de control, instalaciones electromecánicas y 18 trenes de seis vagones cada uno. Según las previsiones, la línea tendrá un demanda estimada de 400.000 pasajeros/día en el primer año de operación. Además de mayor rapidez, la futura línea ofrecerá una amplia cobertura (dará accesibilidad casi universal a los usuarios del transporte público), tendrá carácter multimodal (interconexión con modos terrestres y aéreos) y será un eje de cambio urbanístico.

La ejecución del proyecto, considerado como la mayor obra pública en la historia de la ciudad, fue adjudicada por la Empresa Pública Metropolitana Metro de Quito al consorcio hispano-brasileño Línea 1 Metro de Quito, liderado por Acciona Infraestructuras, y que hoy desarrolla en solitario, en sus dos fases: fase I, construcción de dos estaciones intermodales, en marzo de 2013, ya finalizada; y fase II, ejecución de la línea, en octubre de 2016, con un plazo de 36 meses. El contrato conjunto supera los 1.800 M€. El proyecto tiene un carácter netamente español, ya que junto a la constructora participan más de media docena de ingenierías na-



Acciona Infraestructuras



► Traslado de la hoja de corte de la tuneladora La Guaragua, en Quito.

Acciona Infraestructuras



► Cale de una de las tres tuneladoras empleadas para la construcción del túnel del metro de Quito.

cionales, responsables del diseño de ingeniería (Metro de Madrid, presente desde 2010), los proyectos básico y de detalle (KV Consultores, Tyspa, Ideam), la dirección y control de obras (Prointec, Bustren) y la supervisión (Ayesa), así como empresas suministradoras de trenes (CAF), tecnología de control ferroviario (Bombardier España) y electrificación (Siemens España). Hay que resaltar que el metro de Quito es una evolución de los planes de ampliación realizados por el metro de Madrid entre 1996 y 2012.

## Tres tuneladoras

Como condicionantes del proyecto destacan la altitud de Quito (el trazado discurre entre las cotas 2.909 y 2.752), la sismicidad de la zona, el elevado nivel freático y el hecho de que el trazado discorra bajo el casco histórico, considerado Patrimonio Cultural de la Humanidad, lo que ha obligado a adoptar medidas especiales para preservarlo. Ejemplo de ello ha sido la retirada, catalogación y traslado de las 107.695 piedras del empedrado de la plaza de





Acciona Infraestructuras

► Talleres y cocheras de Qitumbe del metro de Quito.

San Francisco durante la construcción de la estación del mismo nombre, repuestas al término de los trabajos. A estos factores se suma el terreno, formado por suelos compactos de la formación Cangahua (tobas alteradas, cenizas, limos y arenas) y roca andesita, aptos para excavación con tratamientos pun-

tuales por suelos blandos o agua; también destaca una zona con presencia de contaminación por hidrocarburos. La caracterización geológica y geotécnica del terreno determinó la elección de la tuneladora como sistema idóneo para construir el túnel (19,5 km) y del sistema *cut and cover* para las estaciones



Acciona Infraestructuras

► Estación de Ñaquito del metro de Quito.





► Ejecución de la losa superior de compresión de la estación de San Francisco, junto a una de las joyas coloniales de Quito.

(2,4 km). La profundidad media de la línea es de 22,4 metros y de 17,6 metros para las estaciones, salvo la situada bajo la mencionada plaza, construida a mayor profundidad para preservar el patrimonio de la superficie.

Para la perforación de los túneles, Acciona Infraestructuras ha empleado tres tuneladoras del tipo EPB, dos de ellas fabricadas *ex profeso* en Alemania (*Luz de América* y *La Guaragua*) y la tercera –veterana de las obras del Metronorte de Madrid– reacondicionada en España (*La Carolina*). Estas máquinas, con diámetro de excavación de 9,4 metros, han perforado y revestido el túnel con anillos de dovelas de 32 cm de espesor y hormigón 45 Mpa. En total, han colocado más de 90.000 dovelas. En su avance por terrenos con presencia de agua, estas máquinas han empleado “con resultados excepcionales” las innovaciones de tunelación basadas en la inyección de bicomponente, según la constructora. En la ejecución de estaciones también se han utilizado técnicas nunca antes empleadas en Ecuador, como las cimentaciones profundas a base de muros pantalla, pilas-pilote, micropilotes, tratamientos de *jet grouting*, inyecciones, así como materiales de última generación (resinas epóxicas, inyecciones de sellado, morteros especiales...). La obra está permitiendo una importante transferencia tecnológica de conocimientos, procesos y sistemas constructivos a

las empresas locales, desarrollada por la constructora mediante talleres, capacitaciones y conferencias.

## Túnel perforado

El trabajo de las tuneladoras, que arrancaron entre marzo y mayo de 2017, se completó en octubre con la finalización de los 19,3 kilómetros de túnel, en lo que constituye un hito del proyecto. Dos de ellas han construido un trazado subterráneo de 16,3 kilómetros partiendo en direcciones opuestas hasta encontrarse a mitad de camino, mientras que la tercera, preparada para terrenos más duros, ha excavado 3,2 kilómetros en dirección norte hasta alcanzar el pozo de extracción de Quitumbe. Su rendimiento ha sido muy elevado, hasta el punto de batir dos veces el récord mundial de avance para máquinas de este tipo, primero *La Guaragua* (1.311 m en 30 días) y luego *Luz de América* (1.489 m en 30 días). Junto a la alta productividad, la seguridad ha sido otro factor destacado del trabajo de las tuneladoras, que han construido 2.100 metros de túnel bajo el casco histórico sin afectar a ningún elemento patrimonial de interés (conjuntos religiosos o edificios públicos), con un control exhaustivo de los movimientos en superficie monitorizado con apoyo de 9.000 dispositivos automáticos

### Proyecto 63 en Santiago de Chile

Junto a las obras de Lima y Quito, la presencia de empresas españolas también ha sido decisiva en la ampliación del metro de otra capital andina, Santiago de Chile, que está a punto de acabar. En esta fase se ha desarrollado el Proyecto 63, consistente en la construcción simultánea de dos líneas subterráneas (6 y 3), con 37 kilómetros y 28 estaciones, equipadas con el sistema de conducción automática CBTC. El proyecto, iniciado en 2012, pretende mejorar la movilidad y reducir las emisiones en esta capital donde coexisten 7 millones de habitantes y 2 millones de vehículos. En diciembre de 2017 se inauguró la línea 6, primera parte del proyecto que culminará a principios de 2019 con la apertura de la línea 3. Tras la ampliación, esta red de metro se consolidará como la segunda más extensa de Latinoamérica (6 líneas, 140 kilómetros y 136 estaciones).

Las compañías españolas han protagonizado la mayor parte de la obra civil del proyecto, cuyo presupuesto supera los 2.600 M€. Grandes y medianas constructoras, en solitario o en consorcios, han ejecutado con medios convencionales más de la mitad del trazado de la línea 6 (15 km) y la totalidad de la línea 3 (22 km), así como varias estaciones (incluida la primera construida bajo otra en servicio), pozos de ventilación y talleres. Las consultoras nacionales han realizado estudios de ingeniería básica y de detalle, así como asistencias técnicas. El material rodante de ambas líneas (37 trenes de cinco coches, asociados al sistema CBTC) se ha fabricado en España. Los sistemas de electrificación, comunicación, *ticketing* y ventilación o la tecnología de información implantados también han sido suministrados e instalados por compañías españolas.

Con la inauguración de la línea 3, la presencia española en el metro de Santiago quedará limitada a los planes de mantenimiento de las nuevas líneas, así como a otros contratos en las demás. No obstante, en el medio plazo se ha anunciado otra fase de ampliación, con la previsión de construir tres nuevas líneas (7, 8 y 9) y ampliar otras tres, que añadirán 76 kilómetros a la red en 2026. De cara a este escenario ya está en marcha la fase de ingeniería, con los estudios básicos de la línea 7 en licitación (varias consultoras españolas optan al concurso) y la ingeniería conceptual de las líneas 8 y 9 en sus etapas iniciales (a cargo de una consultora madrileña). Son antecedentes que auguran otra fase de presencia española en el metro de Santiago, un sistema de transporte que según sus responsables tiene al metro de Madrid como gran referente.

de auscultación e integrados en un plataforma web de gestión de la información.

En paralelo al túnel, Acciona Infraestructuras mantiene abiertos más de 60 frentes de trabajo en el trazado, en los que actualmente trabajan más de 1.700 personas. A finales de octubre estaba concluida la obra civil de las 13 nuevas estaciones, construidas con el método *cut and cover* (bien con muros pantalla, bien con pantallas de pilotes), realizándose ahora trabajos de arquitectura en las mismas. En esas fechas se habían montado 15 de los 45 kilómetros de vía en placa previstos, esperándose llegar a 30 kilómetros a final de año. También ha concluido la

obra civil de los talleres de Quitumbe. A estas instalaciones llegó en septiembre, procedente de España, el primero de los 18 trenes previstos en el contrato, cuyas pruebas iniciales se realizarán en noviembre. Asimismo, se está iniciando la fase de electromecánica. Todos los trabajos están cumpliendo por ahora el cronograma de obras y se espera que el proyecto supere a final de año el 75% de ejecución. Para 2019 quedará el resto de la obra y el periodo de pruebas, antes de la inauguración de la línea, prevista para el último mes del año.

Javier R. Ventosa