

Revista del Ministerio de

Octubre 2018
Nº 687

Fomento



► Alta velocidad
Viaducto sobre el Tajo.

► Empresas españolas
construyen los metros
de Lima y Quito

► Plan Estratégico
Aena 2018-2021



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

Sumario

taff

2

Acortando distancias

Viaducto sobre el Tajo en la Línea de Alta Velocidad Extremadura-Madrid.



Directora de la Revista:

Herminia Cano Linares.

Jefa de redacción:

Carmen Fontán Alderegüa.

Diseño y Maquetación: Chelo Cruz.

Elaboración página web:

www.fomento.gob.es/publicaciones.

Concepción Tejedor.

Colaboran en este número:

Julia Sola Landero,

Javier R. Ventosa,

Comité de redacción:

Presidencia:

Jesús M. Gómez García.

(Subsecretario de Fomento).

Vicepresidencia:

Angélica Martínez Ortega

(Secretaria General Técnica).

Vocales:

Alfredo Rodríguez Flores

(Director de Comunicación),

Francisco Ferrer Moreno

(Director del Gabinete de la Secretaría

de Estado de Infraestructuras,

Transporte y Vivienda),

Belén Villar Sánchez

(Jefa del Gabinete de la Subsecretaría),

Mónica Marín Díaz

(Directora del Gabinete Técnico de la

Secretaría General de Infraestructuras),

Roberto Angulo Revilla

(Jefe del Gabinete Técnico de la Secretaría

General de Transportes),

Regina Mañueco del Hoyo

(Directora del Centro de Publicaciones) y

Herminia Cano Linares

(Directora de la Revista).

Dirección:

Nuevos Ministerios. Paseo de la Castellana, 67.

28071 Madrid.

Teléf.: 915 970 000. Fax: 915 978 470.

Suscripciones:

91 597 72 61

Esmeralda Rojo.

E-mail: cpublic@fomento.es

Dep. Legal: M-666-1958.

ISSN: 1577-4589.

NIPO: 161-15-005-0

NIPO e: 161-15-006-6

Esta publicación no se hace necesariamente solidaria con las opiniones expresadas en las colaboraciones firmadas.

Esta revista se imprime en papel 100% reciclado a partir de pasta FSC libre de cloro.

12

Empresas españolas profundizan en el subsuelo andino

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



24

Mirando al futuro

Presentación del Plan Estratégico 2018-2021 de Aena.



36

Llega el tren del futuro

El proyecto Hyperloop en España



46

Hacia un tren más sostenible

Eficiencia energética contra el cambio climático





Viaducto sobre el Tajo
en la Línea de Alta Velocidad

Extremadura



Akortando



► Vista del viaducto en construcción sobre el río Tajo



distancias

Es el segundo viaducto con mayor luz del mundo en la tipología de arco de hormigón ferroviario en Línea de Alta Velocidad. Situado en la LAV Madrid-Extremadura, sus 1.488 m de longitud salvan el Tajo en la cola del embalse de Alcántara, cuyas aguas invaden el cauce del Tajo en esa zona, multiplicando su anchura. Sobre ese excepcional ensanchamiento vuela el arco principal del puente de 324 m de luz, y una altura de 70 m sobre sus cimentaciones y de más de 90 m sobre el nivel medio del agua. El viaducto del Tajo supera así al que cruza el embalse de Contreras, en la línea de AVE Madrid-Valencia, que había ostentado desde 2010, con sus 261 m de longitud, el récord de España en puentes ferroviarios de arco de hormigón.

Recientemente, el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF) concluyó la ejecución del tablero con el hormigonado de la última fase de éste. Queda así completada la estructura del nuevo viaducto hecha a base de hormigones de alta resistencia - de hasta 70 MLa -, que soportará tráfico mixto, con doble vía de ancho internacional (1.435 mm frente al ancho ibérico de 1.668 mm) y una plataforma de 14 m de anchura. Tras la ejecución del tablero, los trabajos que restan son la instalación de las vías férreas, los sistemas de comunicaciones y la señalización. El calendario prevé que se puedan realizar pruebas de circulación dentro de este mismo año.

La esbelta estructura se levanta en el tramo Talayuela-Cáceres, subtramo Cañaveral-Embalse de Alcántara. Con una longitud de 6,5 km, se sitúa en los términos municipales de Cañaveral y Garrovillas de Alconétar, que contará, además, con dos pasos superiores, ambos de 43,5 m y tres vanos, y dos viaductos más: sobre el Regato del Cuervo, de 158 m de longitud, y sobre la Calzada Romana “Vía de la Plata”, de 114 m. Con la finalización de este tramo se garantiza la conexión entre Cáceres y los ramales de conexión en



► Proceso de construcción del arco mediante sistema provisional de atirantamiento.





► Vista frontal antes del cierre del arco.



► Perspectiva desde el lado norte del viaducto.

Plasencia –lo que hará posible la entrada del servicio ferroviario de altas prestaciones en 2020–, y se asegura que los trenes puedan llegar a Mérida y Badajoz.

Proyectado para el Ministerio de Fomento en el estudio de Carlos Fernández Casado, y dirigido por Antonio Martínez Cutillas y Javier Manterola (el mismo equipo que proyectó el embalse de



►Detalle de las torres metálicas de atirantamiento y hormigonado de las dos dovelas finales.

Contreras), la elección de la tipología en arco es la solución óptima para el entorno donde se levanta le estructura: un profundo valle con laderas de roca con suficiente capacidad portante para soportar los empujes del arco.

El trazado del viaducto se ha dibujado con dos grandes trazos: un primer tramo con una suave curva de gran amplitud - 7.250 m - y un segundo tramo que discurre en línea recta. La distribución de sus luces se organiza en 26 vanos: los situados en los accesos son de 60 m y se intercalan entre ellos dos vanos de transición de 57 m a cada lado del arranque el arco. Éste está formado por una sección rectangular achaplanada hueca tipo cajón de canto variable. En su arranque tiene un canto de 4 m y anchura 12 m, mientras que, en la clave, la sección se reduce hasta un canto de 3,5 m y 6 de anchura.

En cuanto al tablero, cuenta con una sección cajón de hormigón pretensado con canto de 4 m. La anchura inferior de éste es de 5 m - 6,5 m en su parte superior - con sendos voladizos laterales que completan la anchura total de la plataforma hasta los 14 m. Respecto a las pilas, presentan una altura variable que se adapta al perfil del terreno y que, como se ha dicho, supera los 70 m de altura en la zona más cercana al cruce del río. Todas las pilas constan de un único fuste de sección cajón hueca excepto en el cabecero, donde la sección se maciza para recibir las cargas transmitidas por el tablero.

Esta compleja estructura se ha levantado respetando al máximo el medio ambiente. Estamos ante un entorno natural donde abundan los pinos, encinas y matorrales: un suave paisaje alomado formado por sustratos pizarrosos a los que las aguas del Tajo han erosionado provocando fuertes encajamientos con altitudes que oscilan entre los 200 y 500 m en las riberas del embalse de Alcántara. Respetando estas condiciones medioambientales, para la construcción del viaducto se ha evitado poner pilas sobre el agua, de modo que todos sus apoyos se encuentran fuera del embalse. Además, se ha previsto una pantalla de protección de aves, formada por una barrera compuesta por perfiles tubulares verticales de acero, dado que, en ese enclave, no muy lejano del parque Natural del Tajo Internacional, pueden verse águilas imperiales, buitres leonados, cigüeñas negras y alimoches. Además, este tipo de pantallas reduce, en relación a otros sistemas, la carga de viento sobre la estructura y tiene un menor impacto visual en el entorno.

Proceso constructivo

La ejecución de los trabajos comenzó con la construcción de las cimentaciones, realizadas a base de grandes zapatas ancladas directamente sobre el recio sustrato rocoso del enclave. Y aunque el terreno presentaba una notable solidez, en las zonas afectadas por el arco, los plintos de arranque del

arco y las zapatas de retenida de las pilas adyacentes al terreno, éste se reforzó para asegurar la solidez de la estructura, mediante inyecciones a presión de un total de 300.000 l de lechada de cemento en los más de 7.000 m de perforación realizados en el macizo rocoso, para rellenar las posibles fisuras en las rocas.

Tras esta primera fase de los trabajos, se acometió el alzado de pilas en los vanos de aproximación en ambas márgenes del río. Para ello, se realizaron encofrados trepantes en tramos de 6 m de altura. En el apoyo sur se hizo necesario realizar excavaciones de más de 35 m de altura y aplicar soportes en los taludes en roca para evitar descalces en las pendientes.

La construcción del tablero se ha ejecutado vano a vano mediante una cimbra autolanzable, una estructura con una longitud total de 115 m y un peso de 800 t, capaz de realizar vanos de hasta 60 m de luz trasladándose a lo largo del puente por sus propios medios, lo que mejora la relación con el medio ambiente, porque no afecta a las aguas del río, y permite salvar obstáculos y alturas importantes con una notable rapidez (hasta un vano a la semana). Con este ritmo se construyeron, en

una primera fase, los 11 vanos de aproximación de lado norte. En una segunda fase, y una vez trasladada la autocimbra hasta el estribo 2, se ejecutaron los 9 vanos de aproximación al arco del lado sur.

Para sustentar cada semiarco se dispusieron 15 parejas de tirantes (un par de tirantes cada tres dovelas) y el proceso se realizó en dos fases: en la primera se construyeron las 20 primeras dovelas soportadas por 6 parejas de tirantes de acero, ancladas al fuste de la pila situada en el arranque del arco. En segunda fase se ejecutaron las dovelas restantes de cada semiarco (desde la 21 hasta la 46), sustentadas mediante 9 parejas de tirantes desde una torre metálica provisional de 53 m de altura construida sobre el tablero del puente.

El sistema es complejo y delicado: es preciso equilibrar el sistema de atirantamiento ejecutando para cada pareja de tirantes, la correspondiente pareja de tirantes de retenida anclada a la zapata de la pila adyacente. Un proceso que termina tras colocar los últimos tirantes y hormigonar las dos dovelas finales. Es entonces cuando se retira uno de los carros y se hormigona con el otro la clave, y el arco queda cerrado.

► El arco se construyó mediante voladizos sucesivos atirantados y carros de avance



Hitos de la ingeniería

El viaducto ferroviario sobre el Tajo ya ha entrado en el “salón de la fama”, al ostentar el segundo lugar en el récord mundial de arcos en su tipología. Junto a él, marcan hitos de la ingeniería civil otras estructuras que bien merecen una reseña. Uno de ellos pertenece a la misma LAV Madrid - Extremadura y no está muy lejos del primero: es el viaducto construido en 2016 sobre el río Almonte, situado en el subtramo embalse de Alcántara-Garrovillas. Su mayor singularidad reside en su vano central: un arco con 384 metros que, con una altura sobre el nivel medio del embalse de Alcántara de 100 m, se ha convertido en el de mayor luz del mundo en su tipología de puente arco para uso ferroviario.

Este singular viaducto ha obtenido la Medalla Gustav Lindenthal, galardón que otorga anualmente International Bridge Conference (IBC) para reconocer la excelencia en materia de ingeniería de puentes y que, en esta ocasión, ha resaltado la innovación técnica y material, el resultado estético y la armonía del viaducto con el entorno natural. También ha sido galardonado con el primer premio a la Excelencia en la Construcción con hormigón del Instituto Americano del Hormigón (American Concrete Institute, ACI), que cada año se entrega a un proyecto que destaque por su excelencia en cuanto a innovación y tecnología del hormigón.

Hasta la construcción de ese viaducto, el récord mundial de luz de arco de hormigón ferroviario lo ostentaba el de Froschgrundsee, en Alemania, con 798 m de longitud y 270 metros de luz, que cruza el lago que le da nombre a una altura de unos 65 metros.

En España, además del ya mencionado del embalse de Contreras, en la línea de AVE Madrid-Valencia, récord en su día con sus 261 metros de longitud, es legendario el arco de hormigón del viaducto Martín Gil, sobre el que discurre la línea ferroviaria Zamora-Orense, de 210 metros de luz y que salva el río Esla, entre Zamora y Puebla de Sanabria. Ostentó el récord del mundo de su tipología en el momento de su construcción en 1942 por ostentar una luz libre de 192,4 m y una altura de 63 m. Fue llamado “viaducto del Esla” al principio de su construcción y también “Viaducto de los Cabriles” por la aceña que se encontraba cerca del lugar. Sin embargo, fue el recuerdo al ingeniero que lo proyectó el que finalmente dio al viaducto su nombre definitivo.





► Interior de la autocimbra.

Tras las fases más críticas, el proceso finalizó desmontando los tirantes provisionales y las torres metálicas de atirantamiento. Con el arco completado se construyeron las 5 pilas situadas sobre el mismo para, a continuación, finalizar la ejecución del tablero mediante dos autocimbras similares a las empleadas en los vanos de acceso. Los dos vanos centrales se construyen mediante cimbra apoyada directamente sobre el arco. El hormigonado del tablero ha sido simétrico con el fin de no crear es-

fuerzos excesivos (sólo se ha permitido un desfase máximo de un solo vano).

Todas las fases de la obra se han monitorizado mediante un sistema de captación, tratamiento y transmisión de datos ubicados a cada lado del arco con 113 sensores, con el que en cada momento se ha controlado la marcha de la construcción, verificando en cada momento el comportamiento de la estructura.

► Última fase de la construcción del tablero mediante cimbra apoyada directamente sobre éste.





► Interior de la autocimbra.

Línea AVE

Con la ejecución de esta obra se avanza en la construcción de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Extremadura de 437 Km de longitud, actualmente en construcción.

La obra está financiada, en parte, por la Comisión Europea y el Banco Europeo de Inversión. En el periodo 2007-2013 el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), a través del Programa Operativo (P.O) Cohesión-FEDER y del P.O. de Extremadura, cofinanció parte de las obras de plataforma, vía e

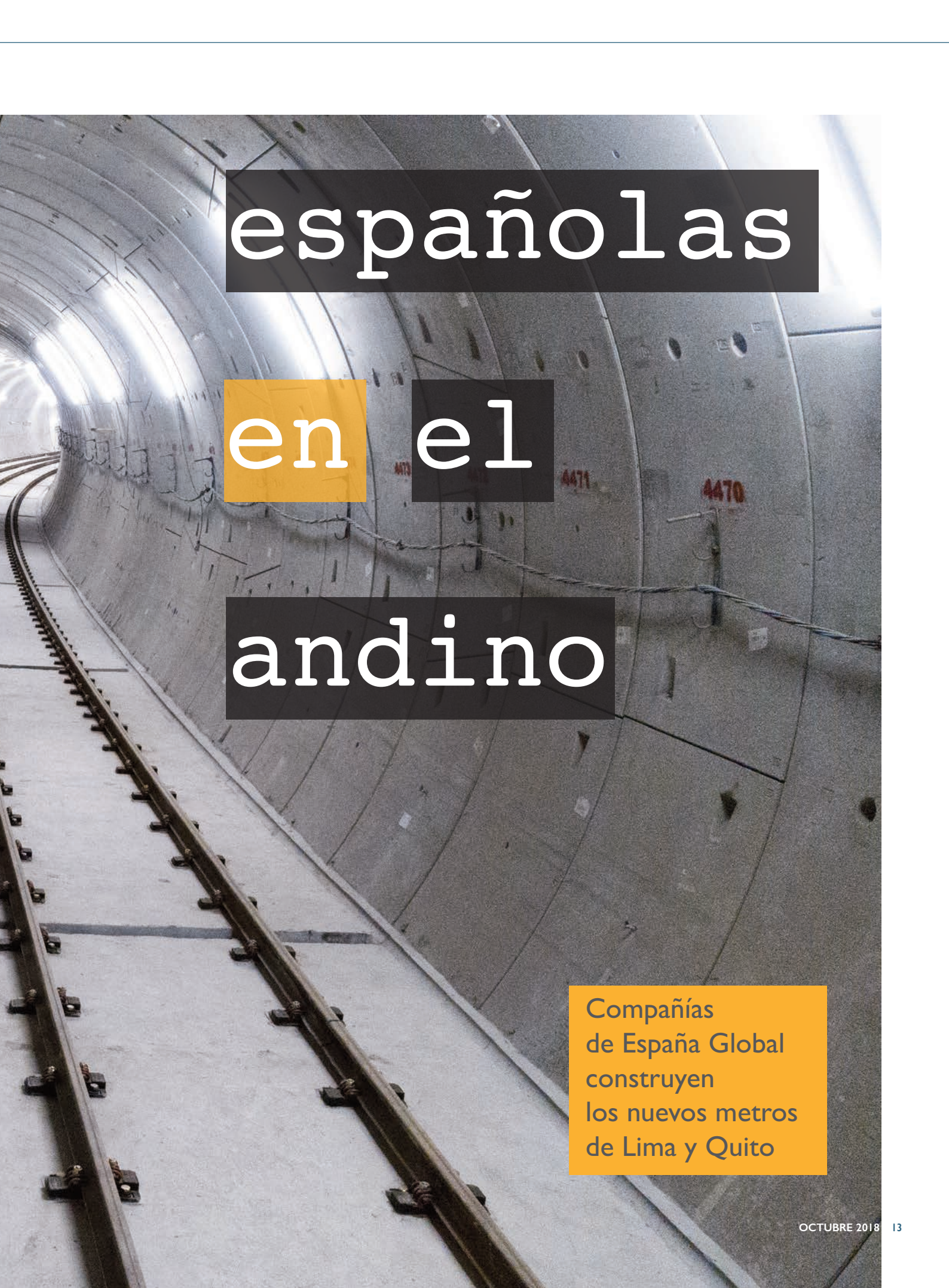
instalaciones del tramo Talayuela-Cáceres-Mérida. Las Ayudas a las Redes Transeuropeas de Transporte (RTE-T) se otorgaron a los estudios y proyectos del tramo Talayuela-Frontera Portuguesa, así como a las obras de plataforma, vía e instalaciones del tramo Mérida-Badajoz-Frontera Portuguesa. Y en el periodo 2014-2020, el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) cofinancia, a través del P.O. Plurirregional de España, Objetivo Temático 7: Transporte Sostenible, las inversiones en la red ferroviaria de Extremadura.

Julia Sola Landero / Fotos: Carlos Fernández Casado, S.L.



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.



AATE



► 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 oeste-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.

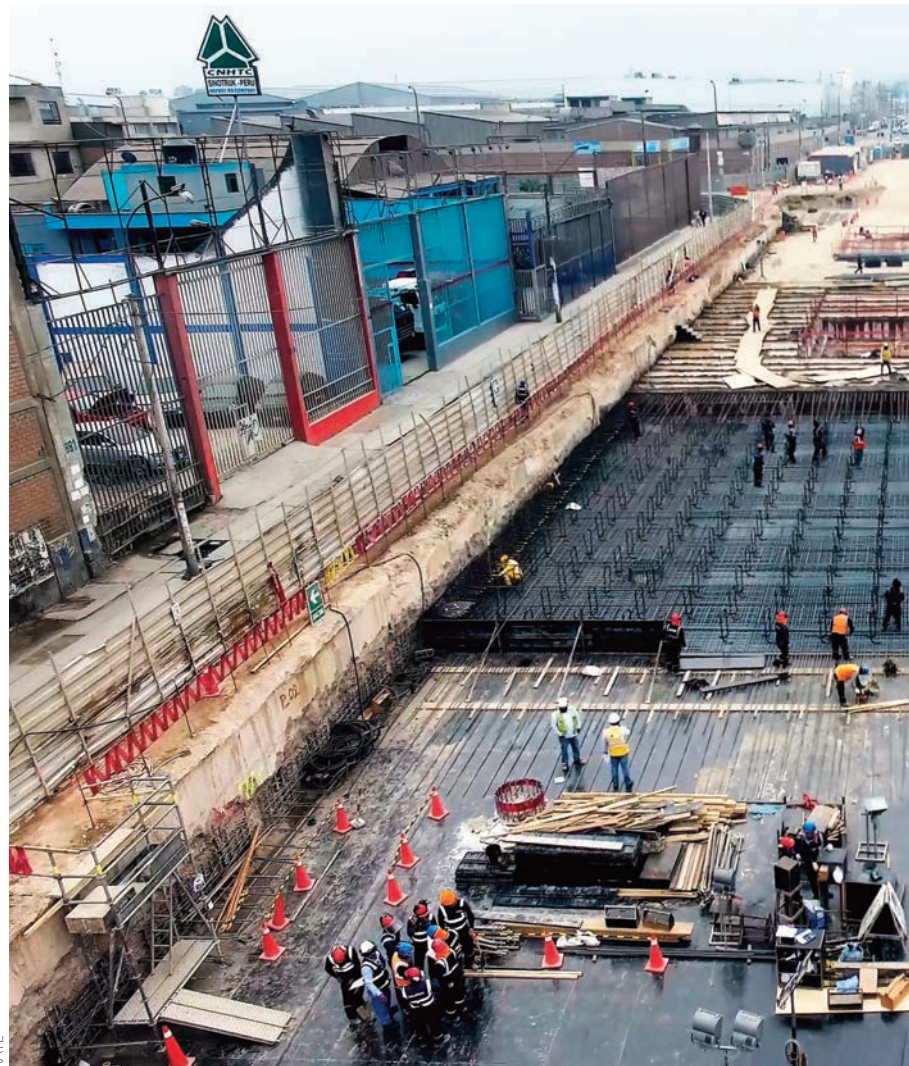
► Abajo: ejecución de losa de compresión superior de una de las estaciones del metro de Lima.

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 1A (Santa Anita-Evitamiento 5,7 km) en 2020; tramo 1B (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 1A, 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 m², 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 1A será el primero en entrar en operación, con la previsión de hacerlo en diciembre de 2020.

Con el tramo 1A en fase avanzada, el consorcio trabaja también en el tramo 1B, 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 1A: 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-



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

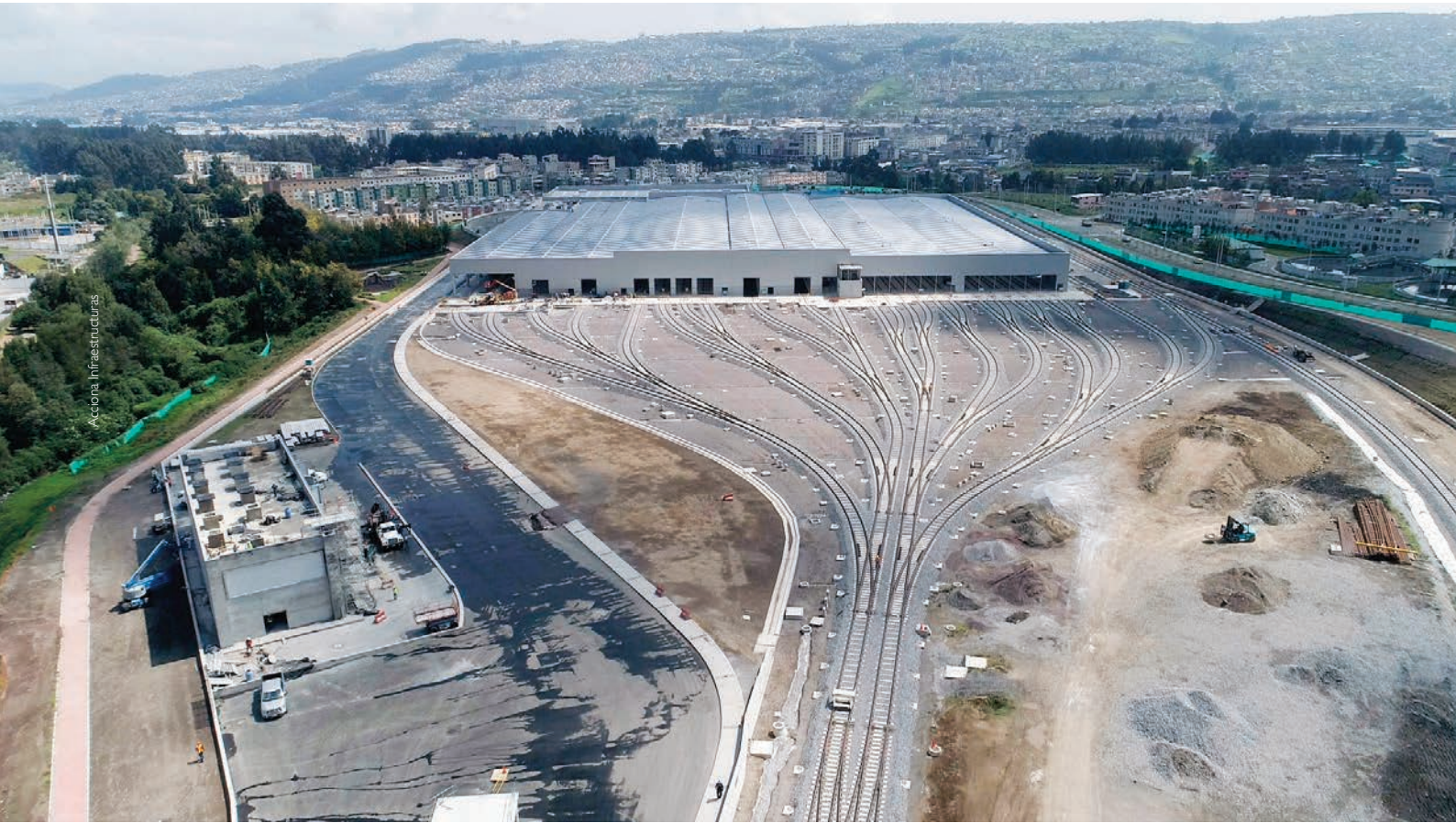


► Cale de una de las tres tuneladoras empleadas para la construcción del túnel del metro de Quito.

cionales, responsables del diseño de ingeniería (Metro de Madrid, presente desde 2010), los proyectos básico y de detalle (KV Consultores, Typsa, 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

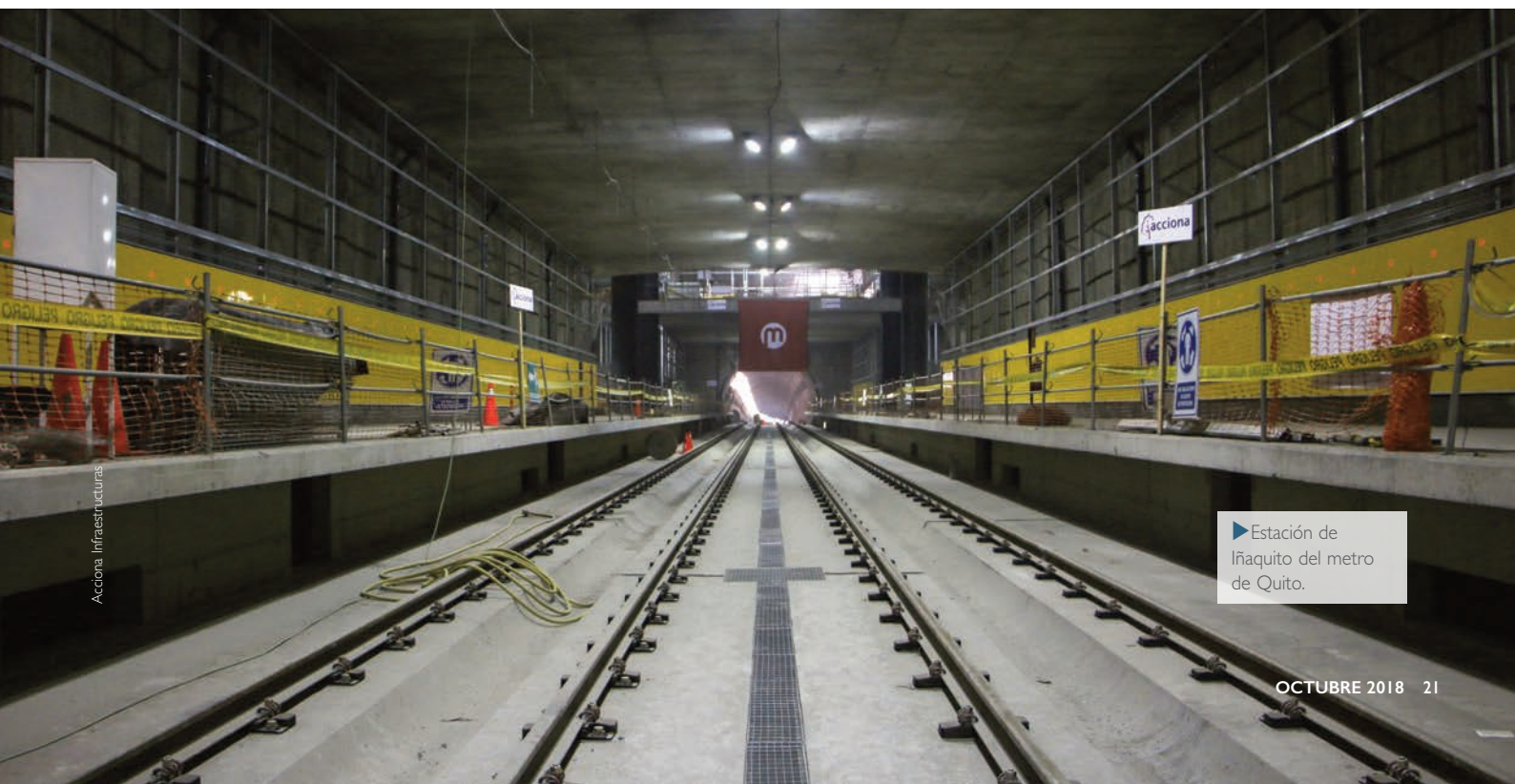
Como condicionantes del proyecto destacan la altitud de Quito (el trazado discurre entre las cotas 2.909 y 2.752), la sismicidad de la zona, el elevado nivel freático y el hecho de que el trazado discorra bajo el casco histórico, considerado Patrimonio Cultural de la Humanidad, lo que ha obligado a adoptar 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



► Talleres y cocheras de Quitumbe 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



► 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



Mirando al futuro

Presentación del Plan
Estratégico 2018-2021
de  **aena**



► Aviones de una aerolínea
estacionados en el aeropuerto
de Barcelona-El Prat.

El presidente de Aena, Maurici Lucena, presentó el pasado 10 de octubre el Plan Estratégico 2018-2021, cuyos grandes objetivos son la consolidación del fuerte crecimiento de la compañía en los últimos años y el impulso de nuevas líneas de negocio generadoras de valor. El documento traza las líneas de acción a implementar en los dos pilares de la empresa –actividad aeronáutica y servicios comerciales, más los nuevos negocios– para reforzar la posición de Aena como primer operador aeroportuario del mundo.

El Plan diseña la estrategia a corto plazo del gestor de la red aeroportuaria de titularidad estatal, una sociedad mercantil bajo control público (la entidad Enaire, adscrita al Ministerio de Fomento, posee el 51% de los títulos) que cotiza en bolsa y forma parte del Ibex 35 desde 2015. La estrategia se apoya en el vigoroso crecimiento de Aena en el último lustro, en el que han coincidido la reorga-

Aena implementará el Plan en un marco favorable por el auge del tráfico aéreo

nización de la compañía (nuevo modelo de gestión orientado a resultados, entrada de capital privado, nueva estructura) con la expansión del tráfico aéreo en España. En este periodo, Aena ha crecido año a año, con récords históricos de operaciones y pasajeros desde 2014, hasta alcanzar su actual posición de liderazgo en el mercado: es el primer operador mundial por número de pasajeros (315,6 millones en 2017), el de mayores ingresos (más de 4.000 M€ en 2017), el que ofrece las tarifas más competitivas y dos aeropuertos de su red están en el top-10 europeo por volumen de pasajeros (Madrid-Barajas es el sexto y Barcelona-El Prat el séptimo). Este crecimiento se ha reflejado en las cuentas de la compañía, que hoy mantiene una só-

lida posición económico-financiera y una elevada rentabilidad.

Según el Plan, la estrategia para el próximo trienio se desarrollará en un entorno favorable para el sector aeronáutico debido, tanto al crecimiento del tráfico aéreo global (las proyecciones indican que se duplicará en los próximos 20 años), como al posicionamiento geoestratégico de España (segundo país más visitado del mundo en 2017, con 82 millones de turistas, la mayoría por vía aérea), así como a la posición de Aena como operador líder en la gestión aeroportuaria. No obstante, el Plan apunta la existencia de retos pendientes (concentración de aerolíneas, mayores exigencias de los pasajeros) y la aparición de incertidumbres geoestratégicas a corto y medio plazo que pueden afectar al crecimiento de la compañía, como la incidencia del Brexit en la llegada de turistas británicos a España o la recuperación de destinos turísticos mediterráneos. De hecho, las proyecciones del Plan estiman un crecimiento moderado a corto plazo del tráfico de pasajeros en España, que pasaría del 5,5% en 2018 al 2% en 2019.

Líneas de actuación

En este contexto, el Plan ha diseñado una estrategia para afianzar el crecimiento de Aena y potenciar su posición de liderazgo mediante la implementación de varias líneas de acción que afectan al negocio regulado y al negocio no regulado, en las dos áreas en que se reestructuró la compañía en febrero de 2017 para afrontar el nuevo marco regulatorio fijado por el Documento de Regulación Aeroportuaria (DORA) 2017-2021. En el negocio regulado, asociado al desarrollo de la red aeroportuaria y que supone el 61% de la actividad, la estrategia proyecta una política encaminada a la ampliación de los aeropuertos, la oferta de tarifas competitivas, la mejora de la calidad del servicio, la innovación de procesos aeroportuarios y la sostenibilidad ambiental. En el negocio no regulado, relacionado con líneas de negocio no sometidas al marco regulatorio, las actuaciones se orientan a diversificar y buscar oportunidades como fuente de crecimiento futuro, a través de la mejora de la oferta comercial, el negocio inmobiliario y el impulso a la expansión internacional. El Plan prevé una evolución positiva para 2019 de los ingresos de todos los segmentos de negocio: servicios aeroportuarios (3%), servicios comerciales (6,5%), negocio inmobiliario (5,7%) y negocio internacional (5,9%). Seguidamente se desarrollan las líneas de acción del Plan.



► El presidente de Aena, Maurici Lucena, durante la presentación del Plan Estratégico 2018-2021

Ampliación y adecuación de la capacidad en los aeropuertos

La capacidad de la red (46 aeropuertos y 2 helipuertos) es una de las grandes ventajas competitivas de Aena. Desde principios de siglo, la compañía ha realizado un gran esfuerzo inversor (cerca de 19.000 M€) para aumentar esta capacidad, estimándose que hoy supera los 335 millones de pasajeros/año, todavía superior al tráfico gestionado en 2017 (315,5 millones). A corto plazo están en marcha inversiones del DORA 2017-2021 por 2.185,4 M€ para ampliar y adecuar la red. Algo menos de un tercio se destina a los dos principales aeropuertos: Adolfo Suárez Madrid-Barajas (remodelación de terminales T1, T2 y T3) y Barcelona-El Prat (acceso de Rodalies a la T1 y remodelación del dique sur de la T1).

El Plan Estratégico, además de contemplar la ejecución de inversiones del DORA hasta 2021, comienza a planificar el escenario DORA II, dotado de un nuevo programa inversor expansivo para atender la demanda previsible de tráfico hasta 2026. En ese escenario está prevista una nueva fase de ampliación de los aeropuertos de Madrid y Barcelona, con proyectos por casi 2.100 M€, según consta en los Planes Directores de ambos aeropuertos, presentados a principios del año 2018. En el aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas, la principal actuación prevista es la ampliación de las terminales

T4 y T4S, lo que permitirá elevar la capacidad desde 70 millones de pasajeros/año hasta 80 millones. En Barcelona-El Prat, los planes incluyen la construcción de un nuevo edificio satélite y su plataforma, así como la conexión en alta velocidad con el aeropuerto de Girona-Costa Brava para complementar ambas instalaciones. En este caso, el objetivo es pasar de 55 millones de pasajeros/año a 70 millones. Con estos proyectos, más los de los demás aeropuertos, la red de Aena podrá absorber los aumentos de tráfico hasta 2026.

Cumplimiento de altos niveles de calidad del servicio

Uno de los principales retos de Aena es ofrecer unos servicios aeroportuarios eficientes y de calidad para cumplir con los altos estándares establecidos por el DORA para toda la red. Estos servicios básicos, por los cuales el gestor percibe una contraprestación que constituye la tarifa aeroportuaria comprenden, tanto los relacionados con la operación aérea, como con el tránsito de pasajeros en las terminales, y deben aportar comodidad, fluidez y flexibilidad, además de mejorar la experiencia tanto de pasajeros como de aerolíneas. Su nivel de calidad se mide a través indicadores penalizables o bonificables, que tienen un impacto en la tarifa aeroportuaria.





Para cumplir estos estándares, el Plan Estratégico establece un protocolo para hacer un seguimiento de los indicadores de calidad del servicio prestado en áreas críticas, con objeto de averiguar qué opinan los usuarios sobre varios servicios y, en su caso, actuar sobre los puntos de mejora identificados. Entre estas áreas figura la satisfacción del pasajero sobre la prestación de servicios (seguridad, confort, atención a personas con movilidad reducida, limpieza), indicador para el cual se aspira a alcanzar una puntuación igual o mayor de 4 sobre 5 puntos. Otras áreas a monitorizar son los tiempos de espera en los filtros de seguridad (el 95% del pasaje espera menos de 10 minutos, tiempo que se quiere reducir), la disponibilidad de equipos e instalaciones en el terminal (equipos electromecánicos, tratamiento de equipajes, conexión entre terminales, *fingers*, que deben estar operativos el 99% del tiempo) y los servicios CNS (comunicaciones, navegación y vigilancia aérea, que deben estar operativos el 100% del tiempo).

En el ámbito de las tarifas aeroportuarias, el Plan reafirma la política de asegurar las tarifas más competitivas del entorno como mecanismo de atracción de tráfico. Aena inició en 2017 una bajada de tarifas (las reducirá un 11% hasta 2021, a una media del 2,2% por año) que está dando resultados. Según datos del Plan, el coste de escala (conjunto de costes desde que una aeronave inicia su aproximación a un aeropuerto hasta que despegue del mismo, incluidas las tasas y servicios que debe pagar la aerolínea) de los dos principales aeropuertos españoles es, con diferencia, el más bajo de Europa, lo que se traduce en las tarifas más competitivas y, por tanto, en una mayor eficiencia frente a los competidores europeos.

Desarrollo de soluciones digitales y tecnologías innovadoras

El Plan Estratégico hace una importante apuesta por el desarrollo de la innovación como garantía de crecimiento y competitividad de la compañía, citando expresamente la digitalización de procesos. Aena trabaja en el campo de la I+D+i desde hace años y su esfuerzo inversor ha cristalizado en varios proyectos orientados a optimizar la productividad de la compañía, entre otros los relativos a la mejora de la seguridad de personas e instalaciones, el ahorro y la eficiencia energética, la gestión de emergencias, la planificación o la optimización de los procesos de gestión y de operaciones.

En esta apuesta, las nuevas tecnologías deben mejorar la experiencia del pasajero a su paso por los aeropuertos, así como optimizar los procesos aeroportuarios para maximizar la capacidad y reducir los costes. Entre las soluciones tecnológicas que el Plan menciona figura la implantación de la biometría y la identidad digital para crear un tránsito de pasajeros sin paradas en los procesos de facturación, control de seguridad, embarque y control de pasaportes que se realizan en los aeropuertos.

Minimización de la huella ambiental

La estrategia para el próximo trienio también promueve la sostenibilidad ambiental de la actividad de Aena, en línea con las políticas globales de lucha contra el cambio climático. En este sentido, el Plan Estratégico respalda la integración de la variable ambiental en el modelo de negocio de la compañía y en la toma de decisiones de la gestión aeroportuaria. En los últimos años Aena ha realizado avances en este campo en cuestiones como la reducción de emisiones de CO² y de residuos, la mitigación del impacto acústico o la promoción de la eficiencia energética y las energías renovables.

Ahondando en esta política, el Plan se ha marcado como meta para 2021 minimizar la huella ambiental de la actividad de la compañía mediante el cumplimiento de varios objetivos sectoriales: la reducción del 30% de las emisiones de CO₂/ATU que produce Aena (ATU: parámetro que genera la actividad de un aeropuerto, combinando operaciones, pasajeros y volumen de carga anual), la reducción del 17'5% del consumo eléctrico/ATU, la consecución de una cuota del 60% de abastecimiento energético procedente de energías renovables, la insonorización de 29.000 viviendas, la reducción del consumo de agua, el control para la reducción de residuos o la elaboración de un plan de gestión de biodiversidad. Todos estos objetivos están incardinados en la estrategia de cambio climático que elaborará la compañía.

Rediseño y optimización de la oferta comercial

Tras la actividad aeronáutica, la segunda gran área de ingresos de Aena son los servicios comerciales, encuadrados en el negocio no regulado. En este ámbito, la compañía ha trabajado en los últimos

► Aena fomenta la implantación de energías alternativas para reducir la huella ambiental de su actividad. En la imagen, paneles solares y aerogenerador eólico en el aeropuerto de La Palma.







años en la modernización y ampliación de la oferta comercial de sus aeropuertos, lo que se ha traducido en un significativo crecimiento de los ingresos por este concepto, hasta superar los 1.000 M€ en 2017, pese a que los ingresos por pasajero continúan por debajo de la media europea. Pese a esta positiva evolución, aún se aprecian oportunidades de negocio que se pueden aprovechar.

Con ese fin, el Plan proyecta una serie de actuaciones para incrementar los ingresos por pasajero. Una de las más relevantes es el rediseño de los espacios comerciales en los principales aeropuertos, con medidas orientadas a ganar espacio para tiendas, mejorar el posicionamiento del segmento Duty Free o reconfigurar los flujos para propiciar el trán-

El Plan potenciará la oferta comercial para aumentar los ingresos por pasajero

sito por las zonas comerciales. En total, se actuará sobre 19.100 m² de la red, particularmente en los aeropuertos de Madrid-Barajas, Palma de Mallorca, Tenerife Sur, Barcelona-El Prat, Sevilla y Fuerteventura. Como segunda actuación, se implantará un plan para mejorar el rendimiento comercial de las tiendas Duty Free, actuando sobre la política de precios, los diseños de las tiendas o la interacción digital con el cliente. Como tercera actuación, se extenderá el exitoso modelo actual de restauración al resto de aeropuertos. Las últimas actuaciones previstas son un plan para optimizar las tiendas especializadas y una nueva plataforma de digitalización que fidelice y guíe al pasajero a su paso por las instalaciones y le muestra la variedad de oferta comercial y de servicios.

► Espacio Duty Free del aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas.



► Vista aérea del aeropuerto de Barcelona-El Prat, con terrenos libres en los costados del recinto.

Aprovechamiento de suelos disponibles para crear una oferta inmobiliaria

Mediante esta línea de acción, que supone la creación de un modelo de negocio de futuro, Aena trata de aprovechar la existencia en los recintos aeroportuarios y su entorno de más de 2.000 hectáreas de suelos libres y con alto potencial de desarrollo, sobre todo en los aeropuertos Adolfo Suárez Madrid-Barajas y Barcelona-El Prat, para establecer nuevas zonas logísticas y áreas de actividad comercial, hotelera, de oficinas y negocios, como ocurre en otros aeropuertos europeos. Para este desarrollo inmobiliario, Aena, a través de su filial inmobiliaria, aportará el suelo o el derecho de uso y se aliará con socios privados que aportarán la financiación y el *know how*, cuya selección se iniciará en la segunda mitad de 2019. Según el presidente de Aena, estos proyectos “serán los más importantes del sector inmobiliario español durante

los próximos años” y han captado ya la atención de compañías interesadas en trasladar allí sus sedes. De hecho, Enaire y la propia Aena llevarán sus sedes corporativas al aeropuerto madrileño y a su entorno, respectivamente.

En concreto, el Plan Inmobiliario de Madrid-Barajas abarca 920 hectáreas y prevé una edificabilidad de casi 2,7 millones de m², con una inversión de casi 3.000 M€ en 40 años. La propuesta de usos inmobiliarios pone el foco en la logística, la creación de una ciudad aeroportuaria (oficinas y hoteles) y un centro comercial, así como en la carga. Por su parte, el Plan Inmobiliario de Barcelona-El Prat contempla una superficie de 328 hectáreas, la edificabilidad de 1,5 millones de m² y una inversión de 1.300 M€ en 20 años. Su objetivo es consolidar el aeropuerto como un polo de servicios y economía digital, siendo las oficinas y el *e-commerce* las áreas con mayor superficie construida.



► Aeropuerto de Luton (Inglaterra), principal activo de Aena en el exterior.

Impulso a la expansión internacional

Aena inició su actividad internacional en 1997 y desde entonces ha incrementado su presencia en el exterior, participando hoy en la gestión y operación de 17 aeropuertos en Europa y América: Luton (Reino Unido), 12 aeropuertos en México, Montego Bay y Kingston (Jamaica) y los colombianos de Cartagena de Indias y Cali, que en conjunto movieron 66,5 millones de pasajeros en 2017. El Plan Estratégico pretende aprovechar esta posición privilegiada para relanzar la expansión internacional de la compañía, con la puesta en marcha de dos planes de actuación que requerirán un esfuerzo inversor moderado. Por un lado, la consolidación y desarrollo de los activos ya operados en el exterior, mediante la extensión o renovación de las concesiones y/o el incremento de la participación (Luton, México y Colombia). Y por otro, la vigilancia del mercado en busca de oportunidades para la adquisición de nuevos activos internacionales, con el foco puesto sobre Latinoamérica y Europa, además de explorar otros mercados en Asia, Oriente Medio y Norteamérica. En este sentido, Aena analiza actualmente varios aeropuertos en Cuba y las próximas concesiones en Colombia, así como el aeropuerto de Sofía (Bulgaria). Este proceso se realizará mediante estructuras societarias con mayoría accionarial de Aena y apoyo de socios locales y/o financieros en los mercados objetivo y con minoría o co-control

en los nuevos mercados. Con estas medidas, el Plan pretende que la actividad internacional contribuya a la cuenta de resultados de la compañía en un porcentaje significativo.

Asignación de recursos de capital

Con unos ingresos consolidados (4.028 M€ en 2017, 4.244 M€ estimados en 2018 y 4.362 M€ estimados en 2019) y unos beneficios netos en crecimiento en los últimos años, el Plan Estratégico prosigue con su política de disciplina en costes, que contribuye a preservar unas tarifas competitivas. Al mismo tiempo, la compañía mantiene el compromiso adquirido con el accionista, continuando con una política de retribución consistente en la distribución como dividendo del 80% del beneficio neto individual anual generado por la empresa para los próximos tres años (2018, 2019 y 2020).

De acuerdo al Plan, Aena posee un modelo de negocio robusto a corto plazo, con un nivel de generación de flujo de caja positivo, por encima del resto del sector, un negocio comercial protegido frente a cambios de ciclo y una posición muy sólida frente a la moderación del tráfico aéreo en Europa. A largo plazo se prevé un contexto atractivo para la compañía, dadas las buenas perspectivas de crecimiento de tráfico aéreo, el buen posicionamiento del mercado español y un marco regulatorio que



► El Plan aspira a mejorar los flujos y la experiencia del pasajero en los aeropuertos. En la imagen, tránsito de viajeros en el aeropuerto de La Palma.

aena en cifras *

Aeropuertos españoles en propiedad	46
Helipuertos españoles en propiedad	2
Aeropuertos internacionales. Gestión y/o participación	17
Capacidad estimada de la infraestructura en pasajeros	335.000.000
Volumen global de pasajeros atendidos	315.600.000
Volumen de pasajeros en aeropuertos españoles	249.200.000
Volumen de pasajeros en aeropuertos internacionales	66.500.000
Vuelos gestionados en la red española	2.174.300
Empleados	8.234

*Cifras de 2017. Fuente: Plan Estratégico 2018-2021.

garantiza visibilidad y predictibilidad, y que asegura la generación de valor a través de la inversión.

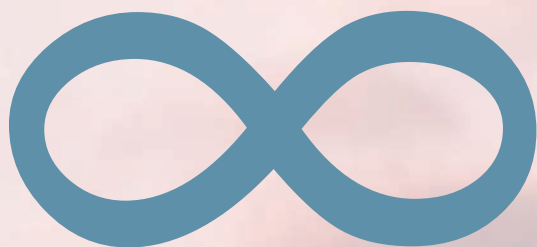
Personas y talento

La última línea de acción se refiere al principal activo de la compañía, el equipo humano que forma parte de la empresa. En este ámbito, Aena trabaja para adecuar la organización a los retos

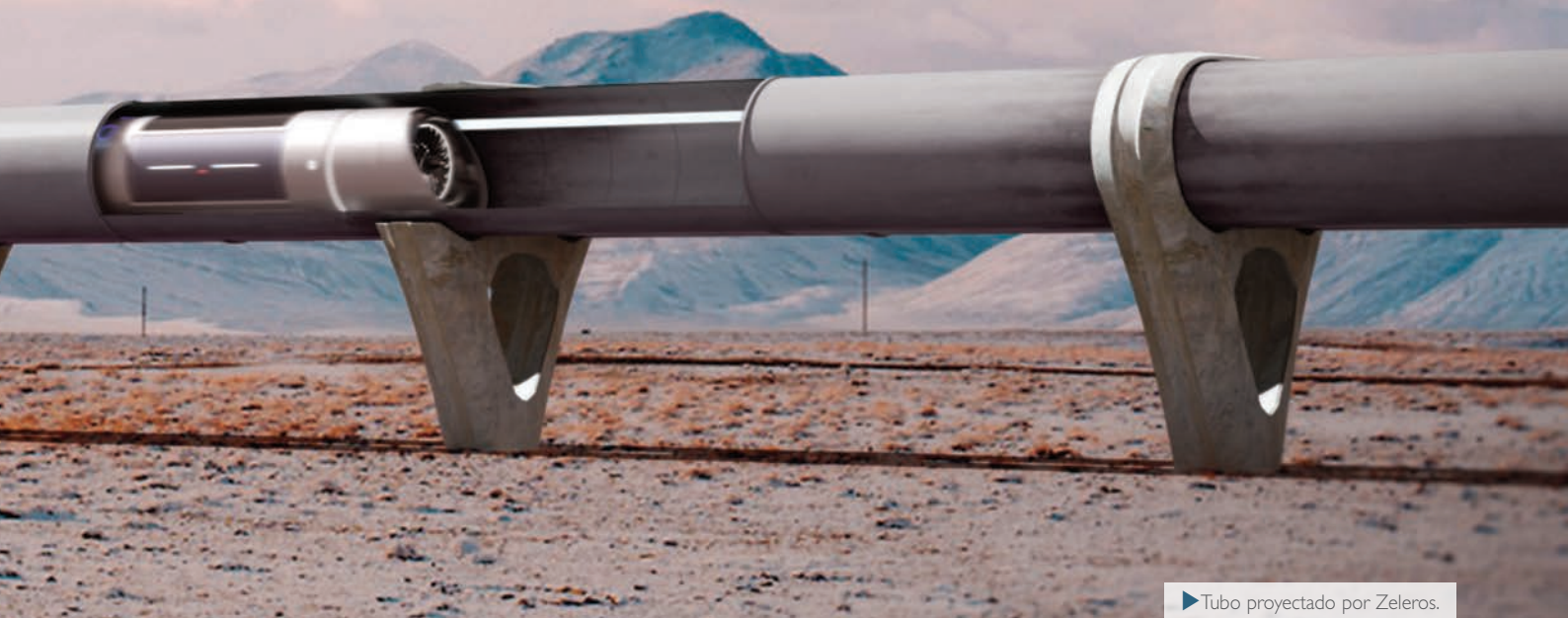
futuros del sector, desarrollando medidas para retener el talento, potenciando la formación para el desarrollo de capacidades, apoyando la transformación digital de los empleados y definiendo una estructura organizativa óptima. El objetivo es formar un equipo con experiencia en nuevos negocios, digitalización e internacionalización.

Javier R. Ventosa / Fotos: AG Aena

El proyecto Hyperloop en España



Llega el tren del futuro



► Tubo proyectado por Zeleros.

Ultra rápido, ecológico y silencioso: así será el tren de alta velocidad del futuro. Se trata de Hyperloop, la cápsula que se desplazará, ajena al rozamiento, dentro de tubos a baja presión y a una velocidad de hasta 1.200 kilómetros por hora - dos o tres veces más rápido que el tren más veloz -. Una cifra sólo posible gracias a la ausencia de resistencia aerodinámica, la mayor rémora de los objetos en movimiento.



► Detalle del prototipo de TransPod Hyperloop.

La nueva tecnología ha sido ideada por el fundador de Tesla y SpaceX, Elon Musk, que la dio a conocer en 2013 refiriéndose a ella como "el quinto medio de transporte". Desde que Musk presentó un primer estudio que planteaba una ruta entre Los Ángeles y la Bahía de San Francisco - 550 km -, que podría realizarse en sólo 35 minutos, se ha convertido en un proyecto de largo recorrido en cuyo desarrollo intervienen numerosos equipos interdisciplinarios que debaten distintas propuestas y diseños.

Ha transcurrido poco tiempo desde entonces pero ya hay en marcha todo un plan en el que participan compañías de los cinco continentes y en el que los investigadores pueden participar libremente gracias

a que Musk decidió que Hyperloop fuese un proyecto de hardware abierto - similar al concepto del código abierto del software, pero en el mundo del hardware -, en el cual cualquier compañía puede acceder a los diseños que otras empresas están realizando y trabajar sobre ellos para mejorarlos. Además, desde las compañías de Musk se han promovido concursos para que empresas, ingenieros y estudiantes propongan sus modelos de cápsulas y de los sistemas que habrán de moverlas con el fin de mejorar al máximo la tecnología de Hyperloop.

El Ministerio de Fomento, a través del Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF), en sintonía con sus políticas encaminadas a la mejora de los sistemas de transporte y la eficiencia ener-



► Tubo TransPod Hyperloop



Zeleros

► Interior del prototipo de Zeleros.

gética, ha puesto interés en este proyecto de tecnología punta y participará en el proceso de puesta en marcha del nuevo sistema, mediante el Protocolo General de Actuación, firmado en agosto de 2018 por Isabel Pardo de Vera, presidenta ADIF y Rob Lloyd, el CEO de la estadounidense Virgin Hyperloop One, una de las compañías que trabajan en el desarrollo del nuevo modo de transporte. En el acuerdo, ambas partes se han comprometido a instalar el Centro de Pruebas y Desarrollo de Hyperloop One en España utilizando para ello la nave de experimentación que ADIF tiene en Bobadilla (Málaga) y a la implantación en él de una plataforma de innovación de alta tecnología para desarrollar, probar y validar los componentes de este sistema.

La inversión prevista por parte de la compañía americana es de unos 500 millones de dólares, supeeditada a obtener 126 millones de euros procedentes de ayudas públicas a I+D+i. La nave que ADIF pondrá a disposición del proyecto cuenta con una superficie suficiente para acoger una zona de fabricación y un espacio dedicado a equipos de pruebas de hardware, en total más de 19.000 m2.

Conllevará innovación en técnicas de levitación magnética, seguridad en túneles, resistencia de materiales, electrónica, y en telecomunicaciones y telemática.

A día de hoy, Hyperloop se encuentra en pleno desarrollo, tanto en el diseño y fabricación de las cápsulas como en lo referente a la definición de la estructura tubular por la que discurrirán. Una estructura que se plantea construir sobre pilares o bajo tierra, lo que aportará tres ventajas: ausencia de cruces a nivel (uno de los principales riesgos del transporte ferroviario); inmunidad total frente inclemencias meteorológicas y un bajísimo impacto medioambiental, dado que será mínimamente invasivo con el entorno.

Ecológico y seguro

El concepto de Hyperloop está a medio camino entre el tren de pasajeros y el sistema de tubos neumáticos utilizado desde principios del siglo XIX en muchas ciudades para trasladar documentos y pequeños paquetes dentro de un edificio. Los do-



TransPod

cumentos son impulsados por aire a presión mientras se hace el vacío por delante de ellos, sistema aun hoy utilizado en centros comerciales, hospitales o centrales de correos para el mismo fin.

El sistema de impulsión esta vez se hará, a gran escala, mediante motores lineales de inducción localizados a lo largo del tubo. Una de las ventajas será que sólo requiere energía - bien sea solar, eólica

u otros sistemas alternativos instalados en su misma estructura - para una parte de la vía ya que puede extraerla de las fuentes disponibles a lo largo de la ruta, libre por tanto de emisiones directas de carbono.

La seguridad y la confortabilidad de los pasajeros es uno de los objetivos prioritarios para evitar algunos de los problemas planteados, a saber: los

► Infraestructura de TransPod Hyperloop.



altos niveles de ruido en el interior debido al aire comprimido y conducido alrededor de la cápsula a velocidades casi ultrasónicas; la posible existencia de vibración en el interior; o la posibilidad de que el terreno pueda desplazarse provocando sacudidas o mayores vibraciones. En materia de seguridad se están probando múltiples técnicas para provocar un frenado inmediato del vehículo en caso de emergencia, y para dotar a las cápsulas con un conjunto

de sistemas de soporte vital y también con capacidad para volver a presurizar el tubo si fuera necesario. En caso de despresurización, cada cápsula se autogestionaría para llevar a los viajeros al punto de evacuación más cercano, ya que disponen de ruedas para transportarse.

Visión de futuro

Entre las compañías empeñadas en el desarrollo de este proyecto, además de las empresas de Elon Musk (Tesla, SpaceX y The Boring Company), están las estadounidenses Virgin Hyperloop One, Hyperloop Transportation Technologies (HTT) y Arrivo; la canadiense TransPod, la española Zeleros, la india DGWHyperloop, o la holandesa Hardt Global Mobility. Tesla está desarrollando las cápsulas que se están probando en las instalaciones de SpaceX, y The Boring Company está dedicada a construir los túneles por los que discurrirán aquellas. Paralelamente, Virgin Hyperloop One, HTT y TransPod aceleran para liderar esta carrera hacia el futuro.

Virgin Hyperloop One, en la que trabajan cerca de 300 empleados, tiene su sede en el Campus de Innovación en Los Ángeles y su campo de pruebas en el parque industrial Apex North Las Vegas (Nevada). Tras construir su prototipo de cápsula y de estructura tubular, actualmente está trabajando con gobiernos e inversionistas de todo el mundo para establecer acuerdos comerciales que hagan realidad su sistema Hyperloop One. Su primer ensayo en vivo se realizó en 2016, demostrando que su motor eléctrico lineal podía propulsar un trineo de 0 a 177 Km por hora en poco más de un segundo. Entre sus objetivos está el de estudiar con distintos organismos de todo el mundo rutas potenciales y avanzar en los primeros proyectos. Entre los países con los contactos más avanzados está Estados Unidos, Arabia Saudí, Emiratos Árabes Unidos e India (en este país han anunciado que prevén finalizar su primera línea en 2026), y en Europa también ha habido reuniones de trabajo de alto nivel con los gobiernos de Finlandia y Países Bajos, Rusia y Suiza.

Por su parte, HTT fundada en Playa Vista (California) y con laboratorio en Toulouse (Francia), también cuenta con un prototipo de cápsula de pasajeros y tiene en marcha un pequeño circuito en Quay Valley, cerca de Nevada, y están en marcha, en Francia, sus dos primeras pistas para probarlo que espera esté listo en cinco años. Más de 800 in-



► Trabajos en talleres del tubo Hyperloop One.



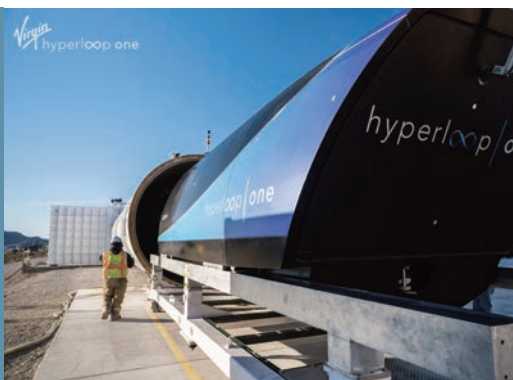
► Trabajos de ensamble del tubo Hyperloop One.



► Interior del tubo Virgin Hyperloop One.



► Prototipo de Virgin Hyperloop One entrando en tubo.



► Prototipo de Virgin Hyperloop One.

vestigadores, pertenecientes a entidades de todo el mundo, colaboran en HTT a través de teleconferencias periódicas en las que se plantean propuestas y soluciones a los problemas que presenta el proyecto. Recientemente, Hypertube, el instituto coreano de investigación del ferrocarril, ha decidido aliarse con HTT para culminar su objetivo: el tren supersónico coreano con una velocidad de 1.000 Km/h que conectaría Busan y Seúl, y para el que ya cuenta con un prototipo.

Tecnología española

La primera cápsula, a tamaño real (32 metros de longitud, cinco toneladas de peso, con capacidad para unos 40 viajeros, y con un diseño ultra aerodinámico) denominada HyperloopTT, ha sido fabricada por la firma aeroespacial Carbures (ahora Airtificial tras su fusión con Inypsa) para HTT, y fue presentada en Cádiz en octubre de 2018. El 90% de la cápsula está hecha de un material creado al efecto con un compuesto de doble capa a base de fibra de carbono, ocho veces más resistente que el aluminio. El siguiente paso se produce en Toulouse (Francia), donde se ensamblan las piezas de su interior y continúa el proceso constructivo.

En la actualidad, Airtificial trabaja en la segunda cápsula prototipo para HTT. Tras la construcción del prototipo de tubo instalado en Toulouse, de 630 metros de longitud, la compañía ha recibido también el encargo de construir un tramo de tubo de 5 Km de longitud con multitud de sensores que monitorizarán en todo momento el comportamiento del vehículo. Su destino final será Abu Dhabi, primera parada de la ruta que se planea para unir la capital de Emiratos Árabes Unidos con la cercana Dubái, separadas por 140 kilómetros que se podrán recorrer con el nuevo tren en unos 12 minutos.

►Tubo diseñado por TransPod Hyperloop.



España también está presente a través de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Dos equipos de investigadores españoles han participado en el concurso lanzado por Elon Musk para desarrollar prototipos: Gaia, de la Fundación Universidad-Empresa e Hyperloop UPV. Este último equipo obtuvo en 2016 el premio al Mejor Diseño de Concepto y al Mejor Subsistema de Propulsión/Compresión y consiguieron ser uno de los tres únicos europeos que recibieron un premio en el concurso en el que compitieron con más de 130 equipos. Además, Hyperloop UPV participó en

las competiciones de fabricación del primer prototipo Hyperloop de España, el Atlantic II, que fue presentado en Los Ángeles en 2017, y ese mismo año la UPV inauguró el primer tubo de pruebas en España para hacer ensayos en estático y en julio de 2018, mostró su segundo prototipo español, el Valentia, también en Los Ángeles.

Paralelamente, los equipos universitarios españoles fundadores del equipo Hyperloop UPV crearon en 2016 la compañía Zeleros, con el objetivo de llevar a cabo su propio sistema Hyperloop a nivel

►Diseño de estación de TransPod.



Una ubicación estratégica

El proyecto de crear en España un Centro de Pruebas y Desarrollo I+D para el desarrollo de Hyperloop One, supone una plataforma extraordinaria para la alta tecnología en nuestro país que ya ha sido elegido por la compañía americana Virgin Hyperloop One –atendiendo al liderazgo español en materia de transporte de alta velocidad y a la probada experiencia en ingeniería de infraestructuras de ADIF– para el desarrollo y la fabricación de los prototipos comerciales de su proyecto.

Sus responsables lo han afirmado: España es líder en el sector del transporte, por lo que supone un lugar ideal para albergar un centro de I+D como éste. Opera la segunda infraestructura ferroviaria de alta velocidad más larga del mundo; es el segundo mayor fabricante de automóviles y cuenta con el quinto sector aeroespacial más grande de Europa. Además, la región andaluza tiene un excelente ecosistema y una amplia base de talento altamente cualificado. Con más de 9.000 empresas en transporte y logística, el segundo clúster aeroespacial más grande de España en Andalucía que cuenta con 20.000 empleados en I + D, se está posicionando como un polo para los sectores del transporte y aeroespacial a nivel global.

Además de las acciones previstas en el Protocolo firmado entre ADIF y Virgin Hyperloop One, el Centro de Pruebas también prevé albergar los trabajos para el desarrollo y validación de componentes del sistema que se tiene la intención de que permanezca en España dando soporte a las operaciones, el mantenimiento y la expansión internacional del sistema actualmente en desarrollo.

Estamos, además, ante una ubicación estratégica, dado que permitirá aprovechar las sinergias derivadas del cercano Centro de Tecnologías Ferroviarias (CTF) del municipio malagueño de Campanillas, que acoge a The Railway Innovation Hub, del que forman parte 60 empresas relacionadas con la industria ferroviaria, con el objetivo común de impulsar la tecnología e innovación del sector a nivel internacional.

Por otra parte, la instalación del Centro de pruebas en España dará lugar a importantes oportunidades comerciales de alto valor e impulsará el crecimiento económico en la región. En el ámbito del empleo, se calcula que facilitará la generación de 250 puestos de trabajo directos y de alta cualificación en los próximos cinco años, y de centenares de puestos indirectos mediante la creación del ecosistema necesario para la fabricación de sistemas Hyperloop a nivel mundial.

Las partes que han rubricado el protocolo colaborarán para la implantación de este ecosistema que permitirá a las empresas exportar sus habilidades y productos a otros países donde se comercializan los proyectos de Virgin Hyperloop One.

comercial, y que actualmente trabaja en la primera pista de pruebas a escala media, con una longitud de 2 kilómetros, situada en Parc Sagunt (Valencia), en la que realizará las primeras pruebas dinámicas de su sistema de transporte. Además, plantea la creación de una pista de pruebas a escala real que pueda ser utilizada por las diferentes empresas europeas con el objetivo, no sólo de probar el funcionamiento y seguridad de los vehículos, sino también para establecer un estándar común que evite problemas

como los ocurridos en el ferrocarril por los diferentes anchos de vía. Ya se han realizado pruebas en Nevada, donde se alcanzaron velocidades cercanas a los 440 km/h, esperan testear su tecnología este mismo año y aproximadamente en cinco años (dependiendo de la regulación de cada país) se pueda ver el Hyperloop español en funcionamiento. Por otra parte, Renfe ha seleccionado a Zeleros, en el marco del programa de aceleración de 'startups' que tiene en marcha junto con Telefónica.

►Tubo sobre pilares de TransPod Hyperloop en Highway 401, Alberta (Canadá).



TransPod

Acelerando en la misma carrera hacia el futuro del transporte mundial, también está la canadiense TransPod que diseña su propio sistema Hyperloop y que difiere de otras propuestas, por ejemplo, en que propone campos electromagnéticos móviles para impulsar las cabinas, similares a un avión sin alas, con levitación estable desde la superficie inferior, en lugar de aire comprimido. Esta compañía con sede en Toronto plantea una plataforma de pruebas cerca de Limoges (Francia) y está estudiando posibles rutas como la estudiada entre Toronto y Montreal, 550 Km unidos actualmente por la Highway 401, la carretera más congestionada de Norteamérica. Su diseño a gran escala ya fue presentado en 2016 en el InnoTrans Rail Show de Berlín. También planea construir un centro de desarrollo e innovación en Bari, al sur de Italia, donde se encuentra su inversionista número uno, y busca emplazamientos en Francia y Canadá a fin de desarrollar su prototipo a tamaño real para 2021.

La otra compañía estadounidense empeñada en el mismo objetivo de construir un tren ultra rápido, es

Arrivo, fundada en Los Ángeles en 2017. Su propuesta plantea cápsulas que se muevan en un tubo sellado a baja presión, casi vacío, con una tecnología que se acerca más a la levitación magnética. El año pasado presentó un proyecto para construir una ruta hasta el Aeropuerto Internacional de Denver.

Por su parte, India participa a través de DGWHyperloop, una pequeña compañía, fundada en 2015, que actualmente trabaja en la creación de un corredor entre Dehli y Mumbai llamado Delhi Mumbai Hyperloop Corridor (DMHC), a la vez que busca alianzas gubernamentales y comerciales para desarrollar sus investigaciones.

Y de vuelta a Europa, Hardt Global Mobility es la empresa holandesa que se ha sumado a la carrera por el quinto medio de transporte, creada en 2016 por miembros del equipo TU Delft Hyperloop que ganó el SpaceX Pod Competition. Actualmente la empresa está desarrollando un centro para probar Hyperloop a escala completa en Delft, Holanda.

Julia Sola Landero

Eficiencia energética contra el cambio climático



► Estación de Villaverde (Madrid).



Hacia un tren más sostenible

La eficiencia energética y el uso de energías limpias para la reducción de las emisiones de efecto invernadero, son objetivos transversales del Ministerio de Fomento, por lo que están presentes en todas las acciones impulsadas por éste e incluidas en su Plan de Innovación.

En cumplimiento de esos objetivos por la defensa del planeta, se ha dado un paso importante hacia un nuevo modelo de movilidad: la aprobación y puesta en marcha por Adif y Adif Alta Velocidad del Plan Director de Lucha contra el Cambio Climático 2018-2030. Elaborado conjuntamente con Renfe, este Plan engloba y supera los anteriores programas relacionados con esta materia, y recoge un exhaustivo conjunto de acciones dirigidas a cambiar el modelo del sistema ferroviario y todo el sector del transporte en España.

Este documento, que sienta las bases de la renovación del sistema ferroviario español hacia un modelo más sostenible, se articula en torno a cuatro líneas estratégicas que se concretan en nueve programas, 20 medidas y 76 proyectos. Todo un conjunto de acciones para el ahorro de energía y la descarbonización de las infraestructuras ferroviarias, y para el desarrollo de proyectos de innovación tecnológica que sustituyan el uso de combustibles fósiles por alternativas ecológicas - sea gas natural licuado, pilas de hidrógeno o energías renovables -. El Plan cumple con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas, cuyo fin es adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos; y también está en sintonía con las políticas europeas de cara a 2030 y 2050, establecidas para cumplir con el objetivo del Acuerdo de París: evitar que la temperatura media global del planeta se incremente más de 2°C respecto a los niveles preindustriales.

Estamos ante un programa de actuaciones que pretende rentabilizar y potenciar una de las mayores ventajas del ferrocarril: ser el medio de transporte que menos emisiones de CO₂ produce, comparado con el transporte en carretera o aéreo. Este dato

► Aparcamiento de la estación de Albacete.





► Aparcamiento de la estación de Albacete.

viene avalado por la Agencia Internacional de la Energía, que indica que, siendo el transporte responsable del 23% de los gases de efecto invernadero, las emisiones de CO₂ específicas del ferrocarril se han reducido más de un 63% para viajeros y un 48% para mercancías, desde 1975 hasta ahora. Datos que certifican que el tren, a pesar de su longeva trayectoria, sigue estando a la vanguardia en eficiencia energética y respeto al medio ambiente.

En tiempos en los que se requieren acciones que promuevan la cultura de la sostenibilidad y un posicionamiento claro con respecto al cambio climático, el avance que supone el conjunto de

medidas puestas en marcha por Adif, Adif Alta Velocidad y Renfe, supone también asegurar el futuro del ferrocarril, adaptándolo a las nuevas exigencias que se plantean a nivel global con respecto al uso de las energías contaminantes.

Partiendo de esa ventaja previa del ferrocarril, el Plan Director prevé que, gracias a la mayor utilización que se espera del tren, fruto de la mejora de la red ferroviaria contemplada en el propio Plan, disminuirán las emisiones en el conjunto del transporte nacional en 5.300 GW/h hasta 2030. Medidas que supondrán una reducción de emisiones acumuladas de un millón y medio de toneladas de CO₂ en el mismo período. El Plan también contempla entre sus actuaciones la compra de energía eléctrica verde (con certificados de Garantía de Origen), lo que permitirá la reducción de emisiones acumuladas de otros siete millones de toneladas de CO₂ de aquí a 2030.

Estrategias

La primera de las cuatro líneas estratégicas del Plan, está enfocada a mejorar la gestión de la energía a través de dos programas específicos y ocho medidas para el ahorro energético. Como ejemplo, la puesta en marcha de la Plataforma de Gestión Energética para la Operación Ferroviaria, la telegestión de combustible de tracción, o la implantación de una red inteligente de energía en el sistema ferroviario de alta velocidad; un campo de trabajo éste último, en el que Adif recibió, en diciembre de 2018, uno de los premios

a la innovación y tecnología para la eficiencia energética en la era digital, EnerTIC 2018, por la puesta en marcha del proyecto Rail Smart Grid: una red eléctrica inteligente que, empleando tecnologías punteras, permite conseguir ahorros de un 10% de energía eléctrica en su red AVE, lo que supone evitar la emisión de unas 23.500 toneladas de CO₂ al año.

Estamos ante un programa de actuaciones que pretende rentabilizar y potenciar una de las mayores ventajas del ferrocarril: ser el medio de transporte que menos emisiones de CO₂ produce

La segunda línea estratégica, dirigida a la mejora de la eficiencia energética, se desarrollará mediante seis medidas agrupadas en dos programas: uno dirigido a mejorar la eficiencia de los vehículos y el otro a mejorar la de estaciones,

talleres y edificios destinados al servicio ferroviario. Uno de los proyectos más importantes es el de implementar los sistemas de devolución de energía por frenado regenerativo en líneas de corriente continua, mediante la instalación de convertidores en las subestaciones eléctricas de la red convencional; otra de las acciones previstas son las encaminadas a la mejora de las instalaciones de iluminación, climatización y equipos de elevación en todo el sistema ferroviario.

La tercera línea agrupa cuatro programas: la electrificación de líneas y el fomento del uso de tracción eléctrica o de bajo contenido en carbono; la hibridación y sustitución de combustible en trenes; la promoción de energías renovables; y el fomento de la transferencia modal al ferrocarril. Entre los proyectos previstos en este grupo, se encuentran la electrificación de líneas como la de Salamanca-Fuente de Oñoro, Bobadilla-Algeciras, Zaragoza-Teruel-Sagunto y Guillareui-Tui-Frontera Portuguesa; la compra de energía eléctrica verde con certificados de Garantía de Origen; o el empleo de energía solar fotovoltaica en edificios de oficinas y talleres. Y además, se prevé desarrollar estrategias comerciales para promover el cambio modal al ferrocarril, como forma de incentivar el uso del ferrocarril frente a otros modos de transporte. Un objetivo que es común denominador en el conjunto del Plan Director: que el tren sea la opción preferida para viajeros y transporte de mercancías.

Y por último, el desarrollo de la cultura contra el cambio climático. Es la cuarta línea estratégica y



► Estación de
Santiago de Compostela

pasa por desarrollar un programa que se llevará a cabo a través de acciones como el cálculo de la huella de carbono y diversas campañas de sensibilización sobre movilidad sostenible y eficiencia energética del ferrocarril. Objetivo: concienciar a trabajadores y actores sociales del sector, de que cada gesto cuenta a la hora de luchar contra el cambio climático.

Energía y frenado regenerativo

La recuperación de la energía generada con la aplicación del sistema de frenado regenerativo, y su aprovechamiento y almacenamiento, están en un lugar destacado en las estrategias de innovación ferroviarias del Ministerio de Fomento. Un sistema que permite la devolución de la energía de frenado tanto a la red de distribución como a las instalaciones ferroviarias, y reduce las necesidades energéticas del transporte ferroviario.

Al contrario de lo que ocurre con las líneas de alta velocidad, que al emplear corriente alterna devuelven la energía a la red eléctrica de suministro de manera natural, en las líneas convencionales que emplean corriente continua, la devolución de esta energía no puede ser realizada sin un sistema específico que lo permita, dado que sin él, la energía generada en el frenado sólo puede aprovecharse por otros trenes que se encuentren en la misma sección eléctrica, y el resto de energía no aprovechada se pierde. Por ello, en las redes ferroviarias con corriente continua, como son las líneas convencionales de Adif, es necesario incorporar en las subestaciones de tracción un equipo inversor que permita convertir la corriente continua en alterna y de esta forma devolverla a la red para su uso por otros consumidores. De este modo, la subestación normal se convierte en reversible.

En el kilómetro 18,650 de la línea de Cercanías Málaga-Fuengirola, en la subestación de Arroyo

Ferrolineras

Entre las acciones de Adif dedicadas a la innovación y al desarrollo tecnológico para la sostenibilidad y eficiencia energética, destaca la ferrolinera, un proyecto pionero en el mundo. Consiste en un sistema para recargar las baterías de vehículos eléctricos mediante una red de puntos de recarga conectados a la red de distribución de Adif, en estaciones y aparcamientos. El sistema suma la energía recibida de distintas fuentes, la almacena y la pone de nuevo en circulación. Sin comprometer el funcionamiento del ferrocarril, aprovecha la energía eléctrica procedente de las subestaciones que alimentan la catenaria; almacena la energía limpia generada mediante la aplicación del frenado regenerativo de los trenes; y le suma la energía fotovoltaica recogida en las marquesinas de los aparcamientos de algunas estaciones dotadas de paneles fotovoltaicos. Además, el sistema cuenta con un gestor de control que establece las consignas predeterminadas que cargan al coche eléctrico, teniendo así una auténtica red eléctrica inteligente.

Estamos ante un proyecto, patentado por Adif, que potencia el intercambio entre distintos modos de transporte, al incorporar el vehículo eléctrico al espacio de influencia ferroviario. Sus posibilidades de crecimiento son muy grandes, dado que sería posible instalar puntos de carga en toda la red ferroviaria española, que suma más de 1.500 puntos susceptibles de aprovechamiento por el sistema. Por tanto, la red ferroviaria podría convertirse en el mayor suministrador de puntos de recarga para vehículos eléctricos en España.

Actualmente hay dos ferrolineras de Adif, una en la estación de Málaga María Zambrano y otra en el Centro de Tecnologías Ferroviarias (CTF), ambos utilizados ya de forma habitual por usuarios de vehículos eléctricos. Este servicio se ha integrado en la red de puntos de recarga de la ciudad a través de la app Electromaps. De este modo, los usuarios pueden conocer en todo momento la disponibilidad de la ferrolinera para recargar su vehículo y efectuar el pago por su uso.

En diciembre de 2018, también entró en servicio un sistema de recarga rápida. Se trata del proyecto Área CERO2 Adif para Málaga, con el que se han actualizado los prototipos ya existentes y conformado el punto de recarga de última generación. El nuevo cargador rápido permite hasta dos recargas simultáneas: una a través de los conectores Chademo o CCS Combo (hasta 50 Kw en corriente continua) y la otra en conector estándar (hasta 43 Kw en corriente alterna).

Completará este sistema un segundo punto de recarga rápida en el exterior de la terminal, para lo cual se llevará a cabo una actuación de refuerzo de la acometida y el desarrollo de un convertidor, para un mejor aprovechamiento de la energía de frenado de los trenes, desde los 25.000 voltios en corriente alterna de catenaria a los 400 voltios en corriente alterna de los puntos de recarga.



► Ferrolinera.

de la Miel (La Comba), Adif instaló un prototipo de sistema recuperador de energía. Un proyecto desarrollado en 2012, pionero en Europa en sistemas ferroviarios de 3.000 voltios en corriente continua. Los estudios y simulaciones previas concluyeron que la incorporación de un equipo recuperador en la subestación de La Comba permitía rescatar un alto porcentaje de la energía generada a lo largo del tramo Málaga-Fuengirola, sin necesidad de instalar equipos similares en el resto de subestaciones del tramo. Se demostraba así su alto grado de eficacia.

**La recuperación de la energía
generada mediante el sistema de
frenado regenerativo y su
aprovechamiento, están en un lugar
destacado en las estrategias de
innovación ferroviarias del Ministerio
de Fomento**

“Cazador” de energía

El sistema consiste en un doble convertidor conectado a la catenaria, tanto al lado de corriente continua como al de alterna, que permanece a la espera midiendo las tensiones a la entrada y la salida del equipo (es decir, en catenaria y red), y cuando detecta energía recuperable la convierte en corriente alterna de alta calidad que se vuelca a la red trifásica general. A partir de los parámetros fijados en la catenaria, el equipo detecta si hay trenes que están en frenado regenerativo, emite una orden de puesta en marcha del equipo y comienza el proceso de transferencia de energía hacia la red.

El sistema es capaz de detectar las situaciones de frenado regenerativo de los trenes y diferenciarlas de otras posibles subidas de tensión en catenaria. Por tanto, sólo se produce el funcionamiento del convertidor en el caso de frenado regenerativo de trenes. Una vez detectada esa incidencia, el convertidor inyecta la energía desde la catenaria a la red de distribución, controlando la corriente alterna que circula por el mismo y que va a parar directamente a los secundarios de baja tensión del transformador de tracción de la subestación.

Este sistema —un auténtico “cazador” de energía— cuenta con dos ventajas: es autónomo, de manera que puede aislarse en caso de avería sin interrumpir la operativa del sistema; o al revés, en el caso de

que se produjera algún cortocircuito en ésta, el equipo no se vería afectado; y, por otra parte, puede utilizarse en los momentos de mayor demanda de consumo retornando energía a la catenaria.

Gracias a este sistema, sólo en 2017, la energía recuperada y vertida a la red alcanzó los 973.886 kWh, en tanto que el ahorro en la factura energética del sistema ferroviario se situó en 71.764,26 euros. De este modo, se redujeron las emisiones de CO₂ en 225 toneladas.

Este sistema se está imponiendo en el conjunto de la red convencional de Adif. Los resultados tan positivos obtenidos en la subestación de La Comba, han llevado a nuevos proyectos en las estaciones de Getafe y Alcorcón (Madrid), Olabeaga (Vizcaya), Guarnizo (Cantabria), Martorell y Arenys del Mar (Barcelona), ya en ejecución, y en noviembre de 2018 se licitó el contrato para la implantación de este sistema, con un presupuesto total de 7.034.587 euros, en seis estaciones más: Tres Cantos, Alcalá de Henares, Pinto y Leganés (Madrid) y Granollers y Castellbisbal (Barcelona). El conjunto de estos proyectos permitirán la recuperación de 18,87 GWh/año, con una reducción de emisiones de 4.364 toneladas de CO₂ anuales y un ahorro económico anual de 1,3 millones de euros.

La energía del AVE

En lo referente a la energía que mueve los trenes AVE, también existen actuaciones para su optimización. Dado que las líneas de alta velocidad, al emplear corriente alterna devuelven la energía a la red eléctrica de suministro de forma natural, Adif cuenta con la autorización del Ministerio para la Transición Ecológica y así compensar, o lo que es lo mismo, para descontar en su factura de energía consumida, la energía devuelta en 20 subestaciones de las líneas de Alta Velocidad de Madrid-Levante y de Madrid-Barcelona-frontera francesa. Durante 2017, la energía devuelta por estas subestaciones fue de 44,3 GWh, un 7,9% de la energía entrante en las mismas, lo que supuso evitar la emisión de 11.430 t de CO₂ y un ahorro eco-



► Farola Solar.

nómico de 2.726.864 euros. Además, se ha recibido autorización previa del citado Ministerio, para que se pueda compensar la energía vertida al sistema en otras seis subestaciones de la red de Alta Velocidad. Se estima que esta energía devuelta y compensada será de 5,4 GWh.

El objetivo de Adif es compensar la energía devuelta por todas las subestaciones de tracción de Alta Velocidad, que alcanza los 80 GWh/año. Esta energía vertida reduciría las emisiones en 20.640 t de CO₂, y supondría un ahorro económico de

4.924.360 euros anuales. Actualmente, se compensa el 55,27% de la energía vertida por las 20 subestaciones AVE mencionadas. Con las seis nuevas subestaciones que se incorporarán próximamente, este porcentaje pasará a ser del 62,02% durante los primeros meses de 2019.

Rail Smart Grid

Cuando la tecnología más puntera se pone al servicio de la eficiencia energética en las redes ferroviarias, estamos ante el proyecto Rail Smart Grid,

Proyecto energía cinética

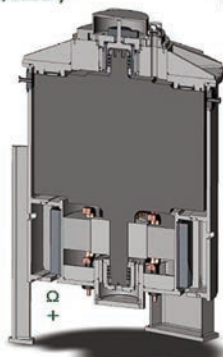


Ω



Ω

Prototipo Ω (en pruebas Adif/CEDEX)



Ω

+

Prototipo Ω+ (en fabricación actualmente)



Ω

+



► Paneles
solares en vía

que supone la puesta en marcha de la primera red energética inteligente en el sistema ferroviario de alta velocidad. El objetivo de esta red es implantar un sistema que, integrando los desarrollos en ingeniería eléctrica, almacenamiento energético y las tecnologías de la información y comunicación (TICs), proporcionen información relevante para el ahorro y aprovechamiento de energías.

El nuevo sistema se basa en el diseño, parametrización y programación de consignas para la conducción eficiente en las líneas de alta velocidad, con el que se pretende generar un ahorro energético de al menos el 10% respecto a la situación de partida de cada línea.

La clave de este sistema está en unificar y aglutinar datos de consumo, de uso, de estado de funcionamiento de las líneas y sus infraestructuras en cada momento, de forma que todos esos datos del tráfico de energía se integren en un solo sistema de gestión, con el objetivo de realizar un uso eficiente y racional de la energía.

El sistema Rail Smart Grid permitirá evaluar la calidad de la energía vertida a la red procedente del frenado regenerativo; medir el consumo real de todos los consumidores que estén conectados a la red de energía en la línea, alimentada a través de las subestaciones de tracción (edificios, casetas,

túneles, calefactores de agujas, puestos de telefonía GSM-R y de operadores de telecomunicaciones, señales laterales, balizas, etc.); y, además, ayudar al mantenimiento de las instalaciones mediante el análisis de las incidencias en todos los puntos de consumo eléctrico de la red.

El ahorro energético previsto con la implantación de este sistema en las líneas de alta velocidad, supondrá una reducción de las emisiones de CO₂ del conjunto del sistema ferroviario de unas 23.500 t al año. Además, Rail Smart Grid contribuye al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 13 de Naciones Unidas, relacionado con la lucha contra el cambio climático.

Los trabajos para implantar esta red inteligente, que comenzarán próximamente con un plazo de ejecución de 20 meses, se han distribuido en siete lotes correspondientes a los corredores de alta velocidad de: Sur (Madrid-Córdoba-Sevilla y Málaga), Noreste 1 (Madrid-Zaragoza-Huesca), Noreste 2 (Zaragoza-Barcelona-Frontera Francesa), Este 1 (Madrid-Valencia), Este 2 (Albacete-Alicante), Norte (Madrid-León-Zamora) y Noroeste (Olmedo-Zamora).

Julia Sola Landero / Fotos:Adif

Monográfica

Julio-Agosto 2018
Nº 685 6 €

Revista del Ministerio de
Fomento

Javier Manterola Armisen » Pedro Suárez Bore »
Enrique Balaguer Camphuis » José Antonio
Fernández Ordóñez » Clemente Sáenz Ridruejo »
Santiago Calatrava Valls » José Antonio Torroja Cavanillas » Alcibiades Serrano González » Roque
Gistau Gistau » Manuel Elíce Calafat » Juan Miguel
Villar Mir » Pablo Bueno Sainz » José Calavera Ruiz
» Carlos Sánchez » Javier Ruiz-Wamba » Julio Martínez Calzón » Javier Manterola
Armisen » Pedro Suárez Bore » Enrique Balaguer
Camphuis » José Antonio Fernández Ordóñez »
Clemente Sáenz Ridruejo » Santiago Calatrava
Valls » José Antonio Torroja Cavanillas » Alcibiades
Gistau » Manuel Elíce Calafat » Juan Miguel
Villar Mir » Pablo Bueno Sainz » José Calavera Ruiz
» Carlos Sánchez » Javier Ruiz-Wamba » Julio Martínez
Calzón » Javier Manterola Armisen » Pedro Suárez Bore »
Enrique Balaguer Camphuis » José Antonio Fernández Ordóñez »
Clemente Sáenz Ridruejo » Santiago Calatrava Valls » J
Cavanillas » Alcibiades Serrano González » Roque
Gistau Gistau » Manuel Elíce Calafat » Juan Miguel
Villar Mir » Pablo Bueno Sainz » José Calavera Ruiz
» Carlos Sánchez » Javier Ruiz-Wamba » Julio Martínez
Calzón » Javier Manterola Armisen » Pedro Suárez Bore »
Enrique Balaguer

Premios Nacionales de Ingeniería Civil

SEMBLANZAS



Adquiérelolo
en nuestra
Librería

Librería del Ministerio de Fomento
Centro de Publicaciones
Plaza de San Juan de la Cruz, 10,
28003 Madrid
Tel.: 915 97 53 96 / 915 97 00 00
<https://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web>

Mapa Oficial de Carreteras[©]

ESPAÑA

2019
Mapa Oficial
de Carreteras[©]
ESPAÑA

Incluye:

- Cartografía (E. 1:300.000 y 1:1.000.000)
- DVD interactivo actualizable vía web (windows 7 o superior)
- Caminos de Santiago en España 
- Alojamientos rurales 
- Guía de playas de España
- Puntos kilométricos
- Índice de 20.000 poblaciones
- Mapas de Portugal, Marruecos y Francia

Español / Inglés
2019
Mapa Oficial de Carreteras[©]
ESPAÑA

DVD INTERACTIVO
(Windows 7 o superior)
Versión 24.0

Español / Inglés

Actualizable vía Web

ISBN: 978-84-498-1029-9
NPO: 16118-170-8
D.L.: M-21754-2018



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

Copyright. Prohibida la reproducción total y parcial, incluso el volcado del contenido a cualquier soporte incluyendo sistemas de recuperación de información, ni servir de base para una aplicación distinta o funciones afines, sin expresa autorización escrita del propietario del Copyright.

También en el DVD:

1123 Espacios Naturales Protegidos
152 Rutas Turísticas
118 Vías Verdes