

LAS EMPRESAS ESPAÑOLAS DESARROLLAN LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN PARA CONTRARRESTAR LAS EXTREMAS CONDICIONES DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD LA MECA-MEDINA

Reto en el desierto

JAVIER R. VENTOSA

Mientras avanzan los trabajos de construcción de la plataforma y de equipamiento, las empresas españolas participantes en el proyecto Haramain o línea de alta velocidad La Meca-Medina (Arabia Saudí) desarrollan varias líneas de investigación y estudios orientados a superar las adversas condiciones del desierto, especialmente en los tramos más expuestos a las temidas tormentas de viento y arena.

El proyecto Haramain High Speed Rail (HHR), línea de alta velocidad de 450 kilómetros que enlazará las ciudades santas islámicas de La Meca y Medina (Arabia Saudí) en menos de 2 horas 30 minutos, prosigue sus trabajos sobre el terreno. Su construcción se divide en dos fases: en la fase I, de obra civil, un consorcio chino-saudí construye desde 2010 la plataforma ferroviaria y dos consorcios locales ejecutan las estaciones; la fase II, contratada en enero de 2012 con el consorcio Al Shoula, formado por 12 empresas españolas y dos saudíes, contempla el diseño y la instalación de la superestructura, el suministro del material rodante y la operación y mantenimiento de la línea durante 12 años. El importe de esta fase asciende a 6.736 M€, lo que hace de este contrato el de mayor volumen de las empresas españolas en el exterior. Los plazos contemplan la finalización de los trabajos y la entrega de la línea a la Organización de Ferrocarriles Saudí (SRO) en diciembre de 2016.

Transcurridos casi cuatro años desde el inicio de la fase I, continúa en marcha la obra de plataforma, que incluye 136 puentes y viaductos (suman casi 36 kilómetros), más de 140 pasos inferiores y, como singularidad local, pasos superiores para camellos. El consorcio chino-saudí entregó hace casi un año la primera de las seis áreas o tramos en que se divide la plataforma (área 4, entre los km 190 y 290), próximamente entregará la segunda (área 5, de 85 km) y progresa en las restantes. Paralelamente, ya se perfila la estructura de las cinco estaciones previstas (La Meca, Yeda, Yeda-Aeropuerto, Ciudad Económica Rey Abdulá y Medina), varias de las cuales superan el 50% de ejecución. Y en la fase II, de superestructura, las empresas españolas

trabajan desde abril de 2013 en los 100 kilómetros recepcionados, equipando la plataforma con los elementos de la superestructura (balasto, vías, obra civil de electrificación e instalaciones técnicas). Esta fase «avanza a buen ritmo y sin problemas técnicos», de acuerdo a los plazos marcados, según manifestó la ministra de Fomento durante una visita a las obras en febrero.

Condiciones ambientales

La línea La Meca-Medina supone un gran reto para las empresas españolas, encargadas de construir, operar y mantener una infraestructura que transportará 166.000 pasajeros al día en fechas clave de la peregrinación a los lugares santos. Pero resulta especialmente singular porque es la primera de este tipo que se construye en el desierto, con condicionantes ambientales extremos, muy distintos de los que se dan en

Tormentas de arena en el simulador

Indra diseña actualmente dos simuladores para el adiestramiento del personal ferroviario saudí en la Academia de Formación que se instalará en el Centro de Operaciones y Control (OCC) de Yeda. El simulador de conducción instruirá a los maquinistas en la conducción de trenes en todo tipo de situaciones, incluidas las tormentas de arena desérticas que reducen la visibilidad de la traza y la señalización, una de las opciones climatológicas que podrá elegir el instructor. Por su parte, el simulador de operación se destinará a formar a los operadores de circulación del centro de control, implementando un entorno sintético que reproducirá los elementos de campo y los interfaces reales de estos elementos con los diferentes sistemas del centro de control.

España. El trazado, situado en la parte noroeste de la meseta de Arabia, con inicio a 277 metros de altitud en La Meca y final a 654 metros en Medina tras bordear la costa, discurre por un paisaje desértico que alterna tramos rocosos y arenosos. En esta árida zona los vientos del mar Rojo transportan grandes cantidades de arena (la denominada arena eólica) y originan tormentas arenosas y de polvo, además de formar y mover dunas a gran velocidad. También se dan grandes variaciones de temperatura (desde 55° C de día hasta bajo cero por la noche) y lluvias breves pero intensas.

Para los expertos, el arrastre de arena y polvo del desierto provoca uno de los mayores problemas técnicos, pues en algunos puntos puede invadir el trazado y producir un efecto abrasivo y de depósito potencialmente contaminador de la línea, lo que a su vez puede afectar a la normal circulación de los trenes. De los estudios llevados a cabo se desprende que son dos los elementos de la superestructura a los que la arena perjudica en mayor medida: el balasto y el carril. En el primer caso, al introducirse entre las piedras, el balasto ve mermada parte de su funcionalidad, pues se reduce la elasticidad de la vía y el reparto de esfuerzos a la plataforma no es igualmente proporcional; también merma la capacidad de drenaje de la vía, además de dificultar su mantenimiento. En el segundo caso, el carril puede sufrir un desgaste superior al normal si la arena que se deposita sobre él, por la propia presión que ejerce el tren, queda embebida en el carril.

Otra serie de efectos indeseados de las tormentas de arena pueden alcanzar también al resto de elementos de la superestructura (catenaria e instalaciones eléctricas, de señalización y comunicaciones, afectadas por el calor extremo y los campos eléctricos que crean las tormentas de polvo), así como al material rodante (trenes y maqui-

nistas, que pueden ver dificultada su visión por las tormentas). Evitar que entre la menor cantidad posible de arena en la línea, por tanto, es uno de los objetivos primordiales, y aunque su eliminación completa no es del todo posible, se pueden contrarrestar sus efectos con las máximas garantías para la operación ferroviaria.

Soluciones en la plataforma

Desde la fase de concurso, y pese a la falta de experiencia previa sobre este tipo de fenómenos en líneas de alta velocidad en explotación, las empresas españolas del consorcio Al Shoula han tenido presente los problemas que la arena eólica y las altas temperaturas tienen para el proyecto, como constataron los estudios en que se basó el proyecto español. A raíz de la adjudicación de la fase II, en octubre de 2011, varias de ellas mantienen abiertas varias líneas de investigación y estudios destinados a ampliar el conocimiento sobre los vientos y la arena desértica y su efecto en las infraestructuras ferroviarias, mientras los departamentos de I+D+i diseñan soluciones innovadoras para limitar sus efectos.

Como responsable de la redacción y dirección de proyectos constructivos de superestructura del proyecto Haramain, la consultora de ingeniería Ineco, adscrita al Ministerio de Fomento, ha realizado los primeros estudios geológicos y de campo sobre los efectos del viento en la arena desértica y su impacto en la futura línea. Con esta base, y con la experiencia de la fase I del proyecto, ha diseñado las primeras medidas correctoras para mitigar el problema. La principal de ellas es la instalación de vía en placa (de hormigón) en lugar de vía sobre balasto en aquellas zonas donde, según los estudios, existen mayores posibilidades de tormentas de arena. Se trata de una solución más costosa que el balasto, pero garantiza una alta calidad y un mantenimiento más sencillo y económico, ya que, a diferencia de aquel, solo habrá que «barrer» la arena depositada sobre el hormigón. Actualmente, las empresas OHL, Copasa e Imathia, encargadas de la obra civil en el consorcio, proceden a montar vía en placa tipo Rheda 2000 en cerca de 40 de los 100 kilómetros del área 4, mientras que en el resto del tramo menos expuesto extienden balasto. Esta medida se implementará en casi otros 30 kilómetros del trazado.

La movilidad de las dunas es monitorizada sobre el terreno por geólogos y vía satélite para prevenir su deriva

La superestructura de la línea, en cifras

Doble vía (ancho UIC)	450 km
Balasto	4.100.000 t
Traviesas	1.310.000 ud
Carril	200.000 t
Cable de catenaria	4.450.000 m
Postes de catenaria	15.000 ud
Cable bajo voltaje	2.300.000 m
Cable alto voltaje	267.000 m
Cable telecomunicaciones	1.900.000 m
Cable señalización	1.910.000 m
Estaciones trapeceptoras de base GSM-R	147
Subestaciones eléctricas	6
Centros de autotransformación	39
Bases de mantenimiento	2
Centros de control	2

Ineco ha incluido en sus proyectos otras medidas adicionales para limitar el efecto de la arena en suspensión y de las dunas desérticas, montañas de arena movidas por el viento que pueden avanzar varias decenas de metros al mes y aterrizar todo a su paso. Dada la importancia de este fenómeno, la deriva de las dunas es monitorizada por geólogos sobre el terreno y con el apoyo de fotos satelitales para vigilar su movilidad. Entre estas medidas destacan la construcción de muros de hormigón, de 1,60 metros de altura, que actuarán como una primera barrera de contención de la arena arrastrada; la ejecución en paralelo al trazado de trincheras —protegidas por barreras de tierra con un encancho—, que sirven como zonas de captación de arena para evitar su llegada a la plataforma; y la estabilización de la superficie arenosa mediante mezclas bituminosas. Son medidas que, según fuentes del consorcio, «permiten afrontar el problema (de la arena) de forma global». Se ha barajado también la estabilización con vegetación autóctona, probada con éxito en otros países, pero por ahora no forma parte del proyecto.

Para el diseño de sus soluciones de ingeniería, destinadas a la fase actual y a las siguientes, Ineco se apoya en diversas líneas de investigación en curso. Actualmente está en marcha sobre el terreno un estudio para mejorar el conocimiento de los efectos del viento sobre la arena, que permita elaborar análisis predictivos más precisos y modelizaciones de los procesos eólicos y de transporte de arena; también el Cedex realiza ensayos de los efectos de la arena sobre vía y balasto (recuadro adjunto). Otras empresas del consorcio desarrollan asimismo trabajos de I+D+i sobre la arena desértica, como Adif, responsable de la gestión y el seguimiento del diseño, proyecto, construcción, operación y mantenimiento de la línea, que en 2012 inició una línea de investigación en este ámbito, y la constructora OHL, alguna de cuyas innovaciones en materia geotécnica ya se aplican a la obra.

Protección de equipos

Las empresas del consorcio Al Shoula encargadas de la implantación y mantenimiento de las distintas técnicas ferroviarias (señalización, telecomunicaciones, electrificación), que ya desarrollan trabajos sobre el terreno, han centrado sus soluciones contra la arena y las temperaturas excesivas en la protección de los equipos y sistemas que harán funcionar la línea, buena parte de los cuales estarán desplegados a lo largo del trazado que se construye.

Indra, que implantará la solución integral de telecomunicaciones y los dos Centros de Operación y Control (equipados con el sistema Da Vinci), ha proyectado una protección especial para los edificios técnicos que albergarán el equipamiento electrónico y los sistemas críticos

de la línea. En vez de las habituales casetas de hormigón, desplegará los denominados *shelters*, una estructura metálica muy resistente, con paredes formadas por capas de aislamiento térmico (con materiales de fibra de vidrio rellenos de poliuretano, que actúa como aislante térmico y mantiene una temperatura constante para los equipos) y sistemas avanzados de aire acondicionado. De hecho, su nivel de estanqueidad (IP 65) supera al de las casetas de hormigón (IP 54), lo que garantiza la imposibilidad de entrada de polvo, arena y agua. Para las torres de comunicaciones, de acero, se utilizarán galvanizados y pinturas plásticas con poliuretano y componentes químicos, que evitan el desgaste por erosión de la arena.

Siemens Rail Automation, responsable de la tecnología de señalización y control, prevé soluciones similares. Todos los elementos de señalización a desplegar tienen un alto grado de protección para que no entre polvo y algunos, como los enclavamientos electrónicos y el sistema ERTMS 2, se alojarán en edificios técnicos con aire acondicionado y temperatura constante de 23-24°. Las señales que están a más altura, y por tanto más expuestas, se diseñan con una pintura especial que mitiga el efecto degradante del polvo. Para mitigar la radiación solar, las eurobalizas que comunicarán la vía con el tren irán equipadas con un «sombbrero» protector, ya ensayado en la línea Ammán-Riad, con condiciones ambientales similares.

Las empresas encargadas de la electrificación de la línea (Cobra, Abengoa Inabensa y OHL) también han ensayado soluciones para verificar si sus equipos y sistemas sometidos a condiciones climáticas extremas cumplen con la vida útil exigida. Abengoa Inabensa, por ejemplo, ha realizado pruebas de abrasión de arena y y de cámara salina sobre piezas de hierro galvanizado que se emplearán en la catenaria y las subestaciones de tracción, comprobando que superarán esos límites.

El papel del Cedex

El Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (Cedex), adscrito al Ministerio de Fomento, está jugando un papel destacado pero poco conocido en el proyecto Haramain, prestando apoyo técnico de alto nivel al consorcio hispano-saudí. Este apoyo se concreta en sendos ensayos que el Laboratorio de Geotecnia del Cedex lleva a cabo sobre balasto contaminado por arena desértica, que mejorarán el conocimiento sobre este problema y permitirán buscar nuevas soluciones para mitigarlo. El primero, ya en marcha, consiste en la realización de pruebas de caracterización del balasto, incluyendo ensayos triaxiales con diferentes grados de contaminación con arena. El segundo, de mayor calado, se llevará a cabo en el Cajón de Ensayos de Infraestructuras Ferroviarias (en la imagen). En esta instalación, sobre una plataforma modelizada como la de la línea La Meca-Medina y con el mismo balasto y traviesas del proyecto, se aplicarán diversas cargas simulando el paso del tren con objeto de determinar el comportamiento de la infraestructura ferroviaria (subbalasto, balasto, traviesas y carril) cuando la capa de balasto se contamine con la arena. Este ensayo, que empleará arena desértica para que la simulación sea lo más real posible, se inició en abril y se prolongará hasta el verano.

Proyecto Arid-Lap: el ferrocarril en zonas áridas

Programa en marcha. Las principales investigaciones en España sobre el efecto de arena y calor extremo en el ferrocarril se realizan en Andalucía. Aquí, siete empresas (entre ellas Ineco, Adif, OHL e Inabensa, del consorcio Al Shoula) y cuatro centros de investigación llevan a cabo desde 2013 el proyecto Arid-Lap, destinado a desarrollar soluciones inteligentes, además de nuevos materiales y nuevos métodos de explotación o mantenimiento, para minimizar el impacto de las condiciones meteorológicas en zonas áridas (arena eólica y altas temperaturas) sobre las líneas de altas prestaciones. Es una iniciativa perteneciente a la convocatoria del programa Feder-Inn-terconecta, gestionada por el Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) de Málaga y la Agencia de Innovación y Desarrollo de Andalucía (IDEA), que arrancó en 2013 y concluirá a final de año.

Conocimiento compartido. Coetáneo del proyecto Haramain, Arid Lap responde a la inquietud de empresas del sector por investigar sobre la construcción de líneas ferroviarias en zonas áridas. No sólo enfocado al Haramain, Arid-Lap ha sido impulsado con un ob-

jetivo más amplio: el emergente mercado ferroviario de Oriente Medio, donde Arabia Saudí, Qatar, Emiratos Árabes Unidos e Irán diseñan ambiciosos planes para los próximos años. El hecho de que ambas iniciativas tengan nexos comunes en cuanto a objetivos (la infraestructura ferroviaria en climas áridos) y empresas participantes (las cuatro del consorcio Al Shoula) garantiza una transferencia continuada de conocimientos que permitirá dar respuesta a las necesidades del Haramain en la actual fase y en las siguientes.

Objetivos. Estudio de condiciones climáticas en ambientes áridos e impacto en las infraestructuras ferroviarias; análisis de fenómenos meteorológicos relevantes (viento, transporte de arena, polvo en suspensión, variaciones bruscas de temperatura, tormentas de arena...); análisis de los efectos de tormentas de arena y calima severa sobre la infraestructura; disposición en tiempo real de las condiciones ambientales de la línea en explotación, para optimizar las labores de mantenimiento sobre los elementos de la infraestructura (carril, plataforma, catenaria, balasto, sistemas de protección y labores de auscultación).

El «paquete desértico» de Talgo

Junto a la superestructura, el material móvil es el otro gran elemento de la línea que requerirá protección especial frente a las inclemencias ambientales. Talgo ya ha iniciado en sus plantas de Las Matas II (Madrid) y Rivabellosa (Álava) la fabricación de los primeros Talgo 350 del proyecto Haramain, que contempla el suministro y mantenimiento durante 12 años de 35 cabezas motrices —con opción a 20 más—, 420 coches y un tren VIP. Según el contrato, por importe de 1.600 M€, los dos primeros trenes deben entregarse en diciembre próximo e iniciar las primeras pruebas en abril de 2015.

El diseño del Talgo 350 Haramain, con mayor capacidad que el Talgo 350 que opera Renfe (417 pasajeros), wifi a bordo y otras características adaptadas a los requerimientos del cliente, incorpora dos novedades exteriores de calado en la lucha contra la arena. Por un lado, las ruedas de las cabezas motrices y de los vagones serán de un diámetro mayor para minimizar el desgaste por abrasión: al incrementar el ta-

maño se logra que cada punto de la rueda pase menos veces sobre el carril, con lo que el desgaste será menor. Y por otro, se montarán unos sopladores especiales en las cabezas motrices para eliminar la arena depositada sobre el carril.

Junto a estas novedades, el Talgo Haramain incluye un equipamiento denominado «paquete desértico», que consiste una serie de soluciones instaladas a bordo destinadas a convertir al tren en un compartimento prácticamente estanco frente a la arena y las temperaturas altas. El paquete trata de dar respuesta a tres tipos de problemas:

● **Abrasión y erosión de la arena.** El tren tendrá un diseño que evitará el efecto de abrasión. Incorporará una protección especial en ventanas y otras zonas exteriores a través de filmes adhesivos especiales, así como pinturas y recubrimientos mejorados.

● **Contaminación.** El nuevo diseño tratará de evitar la entrada de polvo y arena en los sistemas exteriores del tren y hacia el interior del mismo (sala de máquinas y zonas de pasajeros). Como medidas previstas figuran la mejora de los sistemas de sellado en los elementos mecánicos (puertas exteriores, equipos de refrigeración, rodadura, elementos bajo bastidor...) y de los sistemas de filtrado para el tratamiento del aire de entrada (aire para la refrigeración de motores y resto de elementos de la cabeza motriz, para los equipos de aire acondicionado). Habrá una sobrepresión interior para evitar la entrada de aire y polvo desde el exterior, así como equipos de refrigeración de altas prestaciones. Todos los elementos eléctricos (transformadores, convertidores, sensores y micros de señalización) tendrán un nivel de protección alto.

● **Sobrecalentamiento.** Contra las altas temperaturas se instalarán equipos de aire acondicionado de alta potencia para alcanzar temperaturas interiores más bajas que en los entornos europeos, así como aislamientos de gran rendimiento y equipos de control electrónicos diseñados para trabajar con rangos de temperatura altos. Por otra parte, se ha previsto un alto nivel de redundancia en el suministro de potencia auxiliar y un sistema de *back-up* para garantizar el funcionamiento de la climatización interior en caso de fallo de la alimentación principal procedente de la catenaria.

Tanto el mantenimiento del material rodante, a cargo de Talgo, como de la infraestructura será un elemento decisivo para la explotación de la línea con garantías. Con respecto al primero, Renfe ha iniciado la construcción de dos talleres de mantenimiento equipados con soluciones avanzadas, uno en Medina, para el mantenimiento preventivo, que se realizará en horario nocturno; y otro en La Meca, para mantenimiento correctivo, que requerirá dejar las unidades fuera de servicio durante varios días. Con respecto al segundo, Adif elaborará un plan de mantenimiento que contemplará actuaciones específicas para todos los elementos de la superestructura. ■