

*EMPRESAS ESPAÑOLAS CONSTRUYEN EL METRO DE RIAD,  
EL MAYOR SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO DEL MUNDO*

# Un reto sin precedentes

REDACCIÓN JAVIER R. VENTOSA.

En la capital saudí, una constructora y varias ingenierías españolas juegan un papel central en la construcción de la nueva red automática de metro, considerado como el mayor sistema de transporte público masivo del mundo en ejecución. En este multimillonario proyecto se están desarrollando desde cero seis nuevas líneas con 170 kilómetros en el ajustado plazo de cinco años, una empresa jamás acometida antes. Su entrada en servicio en 2019 abrirá una nueva era de movilidad en la congestionada capital del reino saudí.

Riad, habitada por más de 6 millones de personas, es una urbe en expansión demográfica y se estima que en 2030 habrá crecido hasta 8,5 millones de habitantes, pero carece de un sistema de transporte público masivo homologable a estándares internacionales que satisfaga sus necesidades de movilidad. En la capital saudí, el modo de transporte dominante es el vehículo privado, protagonista de 7,2 millones de desplazamientos diarios (un 60% más que en Madrid) y causante de graves problemas de congestión, contaminación y siniestralidad. El crecimiento de la red viaria, en curso, paliará estos problemas pero no los resolverá, ya que a la postre significará la acumulación de más vehículos. Y las proyecciones apuntan a que en 2030 los viajes en vehículo privado se habrán duplicado hasta 15 millones diarios, lo que colapsaría, previsiblemente, las calles de la ciudad.

Ante este desafío de futuro, las autoridades saudíes diseñaron una estrategia para cambiar de modelo y crear un nuevo sistema de transporte público masivo que tuviera un impacto decisivo en la movilidad de la capital. Esta estrategia cristalizó en el proyecto Rey Abdulaziz

para el Transporte Público en Riad, aprobado a finales de 2011, que contemplaba el desarrollo de una red de metro y otra paralela de autobús, capaces de integrar todos los distritos de Riad y reducir la dependencia del petróleo, con un fin revolucionario: elevar la cuota del transporte público urbano desde el 2% actual hasta el 20% a finales de la década, lo que eliminará 250.000 viajes diarios en coche particular. Es un proyecto innovador en Arabia Saudí con un componente de experimento sociológico, ya que aspira a cambiar los hábitos de movilidad de los riadenses, sin cultura de transporte público y habituados a moverse en vehículo privado.

En 2013, la Autoridad para el Desarrollo de Riad (ADA) convocó el concurso para desarrollar el que hoy está considerado como el mayor sistema de transporte urbano del mundo en construcción. La espina dorsal del sistema es el metro, una red de 176 kilómetros distribuidos en seis líneas y 85 estaciones, automática, con capacidad para 1,1 millones de pasajeros/día al inicio de la operación y 3,6 millones más adelante, y con una singularidad que la hace única: las seis líneas se construyen en su totalidad de forma simultánea partiendo

desde cero y en un plazo de cinco años, algo nunca acometido antes en ninguna ciudad en tan poco tiempo, y que contrasta con los metros tradicionales, construidos a partir de una línea inicial y luego ampliados durante décadas con nuevas líneas. El segundo componente del futuro sistema de transporte de Riad es una red de autobuses conectada al metro, que cubrirá 1.200 kilómetros de rutas y podrá transportar a 900.000 pasajeros/día en un millar de vehículos.

Con un presupuesto estimado en más de 20.000 M€ el proyecto del metro, dada su magnitud, se dividió en tres lotes, a desarrollar mediante contratos EPC (Engineering, Procurement & Construction, es decir, diseño, suministro y construcción) y metodología fast-track (el diseño del proyecto y la ejecución de la obra se realizan de forma solapada, lo que mejora los plazos), que se adjudicaron a finales de 2013 a tres consorcios: BACS, liderado por una empresa estadounidense, que construye el lote 1 (líneas 1 y 2, con 63,3 km), ANM, encabezado por una compañía italiana, que ejecuta el lote 2 (línea 3, con 41,7 km), y FAST, dirigido por la española FCC, contratista principal del lote 3 (líneas 4, 5 y 6, con 64,1 km). El proyecto tiene un fuerte componente español, ya que al liderazgo del tercer consorcio se suma el relevante

papel de las ingenierías: Tyspa e Idom son responsables principales –junto a dos compañías más– de los proyectos de diseño y constructivo de cuatro de las seis líneas (4, 5 y 6 en el primer caso y 3 en el segundo), y otra media docena de ingenierías desarrolla trabajos para los tres lotes. Asimismo, 30 empresas españolas especializadas operan en el consorcio FAST gracias al “efecto arrastre”. Además, Indra implanta la tecnología de billeteo y control de accesos en todo el sistema, en el que ha sido considerado como el mayor contrato de ticketing del mundo.

Transcurridos algo más de cuatro años desde el inicio de la obra (abril de 2014), el trazado de la futura red está totalmente perfilado en los distritos de Riad que cruza, una vez que la obra civil encara la recta final: los túneles están perforados (73,4 km, 37 de ellos ejecutados por siete tuneladoras) y la mayoría de los viaductos alzados (83,8 km), mientras progresa la construcción de 85 estaciones (50 subterráneas, 31 elevadas y 4 en superficie) y siete cocheras-taller. Actualmente se realizan los trabajos de instalaciones electromecánicas y ferroviarias (vía, electrificación, señalización, seguridad, ventilación, etc.). El grado de ejecución del proyecto ronda el 75% y según el cronograma oficial la red se estrenará en 2019

### La línea más larga

*El proyecto del metro de Riad lo completan dos lotes: el lote 1, formado por las líneas 1 (mayoritariamente subterránea) y la línea 2 (en superficie), que suman 63 kilómetros y 35 estaciones, y es ejecutado por el consorcio BACS con un presupuesto superior a 8.000 M€ y el lote 2, integrado por una única línea, la 3, que con 42 kilómetros es la más larga de la red, mayoritariamente elevada (27,7 km) e incluye 22 estaciones, estando a cargo del consorcio ANM con un presupuesto de 5.900 M€. Entre las siete empresas de este consorcio figura la consultora e ingeniería vasca Idom, co-responsable del diseño y el proyecto constructivo de la línea, tareas a las que ha destinado más de 350 técnicos de ingeniería civil, industrial y arquitectura.*

*El trazado de la línea 3 se ha diseñado en viaducto en la zona oeste, discurre soterrado en la parte central y se desarrolla a nivel en la zona este, a lo largo de la mediana de una autopista. La parte central incluye un tramo en túnel de 5,3 kilómetros, perforado por la tuneladora Jazlah a razón de casi 600 metros/mes, que completó su labor en enero de 2017. La máquina atravesó terrenos calizos con potencial riesgo kárstico y zonas con riesgo de bolsas freáticas a un nivel poco profundo relacionadas con filtraciones de los servicios –el mismo escenario que la línea 5–, circunstancias que obligaron a realizar un modelado geotécnico detallado y a dimensionar el túnel bajo esa condición de contorno. El resto de la obra subterránea son falsos túneles.*

*La mayor parte de los viaductos se han diseñado con tipología isostática y han sido ejecutados mediante dovelas colocadas con hasta seis vigas de lanzamiento distintas. En las zonas donde la urbanización o las condiciones de tráfico han exigido la ubicación de pilas más allá de la distancia admitida para vanos isostáticos se han diseñado estructuras singulares con dos tipologías: estructuras continuas de tres vanos, con luz central de 50 metros y laterales de 37 metros; y estructuras en avance en voladizo de tres vanos, con luz central variable desde 72 hasta 95 metros y laterales de 59 metros.*

*En este lote 2 Idom ha proyectado 20 estaciones de cuatro tipologías (9 elevadas, 7 subterráneas profundas, 3 enterradas y un intercambiador). Las estaciones enterradas, para obviar el problema del nivel freático en superficie, han sido diseñadas como estancas. Para las estaciones profundas, formadas por cuatro niveles cerrados por una contrabóveda, se ha creado un prototipo (con tipologías de subterránea estrecha y subterránea ultra-estrecha) dadas las limitaciones geométricas impuestas por las estrechas calles del barrio de Batha. Las elevadas se han diseñado a partir de pórticos sobre los que se ubica el vestíbulo, de los que arrancan los pilares que sustentan la viga que constituye el andén. El diseño de todas ellas, de gran sencillez para facilitar la orientación, con un tratamiento inteligente de la luz y potente climatización, se completará con la integración de la estación en el tejido urbano, creando en el exterior zonas sombreadas para pasear muy apreciadas debido al clima.*

y estará totalmente operativa en 2021.

### ▲ El lote 3

De los tres lotes del proyecto, el que desarrolla el consorcio FAST es el de mayor longitud de obra (64,1 kilómetros, casi el 37% de la red) y el de segundo mayor presupuesto (6.700 M€). Está formado por tres líneas: línea 4 (amarilla), de 29 kilómetros, que enlaza el distrito financiero Rey Abdalá con el aeropuerto Rey Khaled, discurre sobre todo elevada (17,3 km), con tramos a nivel y en túnel, incluyendo ocho estaciones; línea 5 (verde), de 13,7 kilómetros, con un desarrollo norte-sur a lo largo de uno de los grandes ejes del centro histórico, discurre casi totalmente en túnel e incluye 11 estaciones soterradas y un complejo de cocheras bajo tierra en el extremo norte; y línea 6 (violeta), de 21,4 kilómetros, comparte el tramo inicial con la línea 4 y luego gira hacia el sureste situándose sobre un importante eje norte-sur, se ha construido mayoritariamente elevada con un tramo en túnel e incluye seis estaciones.

La construcción de estas tres líneas, al igual que el resto del proyecto, progresa de acuerdo a lo planificado y actualmente está ejecutado el 75% del contrato, según datos de junio. Todos los trabajos de obra civil a lo largo del trazado están acabados (32,3 kilómetros de viaductos, 22,6 de túneles y 9,2 en superficie). Sobre la nueva plataforma se acomete desde hace meses el montaje de vía, que según fuentes del consorcio “ya está próximo a su final”, y se desarrolla la instalación de la superestructura ferroviaria. El grueso de las obras se concentra ahora en las estaciones y las cocheras-taller, donde progresan los trabajos de instalaciones electromecánicas y arquitectura, mientras en la superficie se despliegan actuaciones de integración urbanística. Además, en algunos tramos se han realizado las pruebas dinámicas iniciales con el primero de los 69 trenes que debe suministrar el fabricante adscrito al consorcio. Según las previsiones, la obra de este lote estará finalizada en su gran mayoría a finales de 2019.

La ejecución de una obra de estas magnitudes en un plazo tan ajustado es el mayor desafío que afronta el consorcio, más aún en un país con importantes retos logísticos y de recursos humanos. A este reto se suma, en clave interna, otro no menos complejo, como es la gestión de un consorcio multinacional formado por ocho empresas de seis países (España, Corea del Sur, Francia, Holanda, Reino Unido y Arabia Saudí) y por unos 8.000 empleados de 38 nacionalidades, que hablan 22 lenguas diferentes. En este sentido, la coordinación de actividades de un equipo multidisciplinar tan amplio y multicultural es básica para desarrollar con eficacia la planificación y la gestión diaria del contrato. La aportación española a este heterogéneo equipo se cifra en unas 400 personas desplazadas por FCC de forma permanente, con picos de hasta 1.500 en los momentos álgidos, y en unos 110 técnicos de Tyspa, con un despliegue máximo de 250, contando en ambos casos con

la involucración de otros departamentos corporativos, tanto con trabajos en remoto como con viajes de apoyo in situ a Riad. A estas cifras hay que sumar el personal de las empresas españolas subcontratadas.

### ▲ Túneles, viaductos y estaciones

El lote 3 incluye un importante conjunto de obras subterráneas, con una longitud total de 22,6 kilómetros entre las tres líneas, que se han ejecutado mediante distintos sistemas (tuneladora, nuevo método austriaco y falso túnel). La actuación más compleja ha correspondido a la línea 5 al desarrollarse casi íntegramente en túnel (12,9 km sobre 13,7 km) en una céntrica zona urbana densamente poblada, con las estaciones y los pozos intermedios excavados a cielo abierto, lo que ha condicionado los desvíos del tráfico y de servicios afectados. Otros condicionantes relevantes, además de los plazos, han sido las características geotécnicas del subsuelo, un macizo calizo altamente fracturado con presencia de cavidades kársticas y materiales agresivos para el hormigón, y la compleja hidrogeología local, con un nivel freático cambiante que alterna zonas sin agua con otras que han requerido medidas para impermeabilizar el túnel y las estaciones. La aportación de la ingeniería –realización de un estudio hidrogeológico integrado de las tres líneas para evaluar la evolución del nivel freático y análisis particulares de estructuras en su interacción con el terreno y el agua–, que ha mejorado el conocimiento del terreno, ha permitido implementar soluciones técnicas para afrontar los problemas de gestión del agua y de protección de estructuras enterradas. Para ejecutar esta obra, FCC ha operado con dos tuneladoras TBM de escudo simple, de 9,77 metros de diámetro, que han construido la sección completa del túnel a una profundidad de 25-30 metros, revistiéndolo de más de 7.300 anillos de dovelas de hormigón. Ambas máquinas, bautizadas como Dahfrah y San'ah, se han repartido la perforación del trazado, dividido en tramo central (7,2 km) y tramo norte (4,8 km) –a su vez subdivididos en secciones de excavación por las 10 estaciones subterráneas atravesadas y por los dos pozos de montaje–, más la conexión del túnel norte con las cocheras, ejecutado mediante un falso túnel (850 m) en el que se integra otra estación. Sus viajes subterráneos, realizados durante un año, concluyeron con éxito a mediados de 2016, habiendo alcanzado avances medios superiores a 550 metros/mes, con un récord de 54,4 metros en un día. Dahfrah, primera tuneladora del proyecto del metro en iniciar la excavación, ha sido también la primera TBM en operar en Arabia Saudí.

Otro elemento de la obra civil, el trazado elevado, ha consistido en la construcción de 33,3 kilómetros de viaductos, a lo largo de las líneas 6 (17,3 km) y 4 (16 km), que ya se alzan en su totalidad en las calles y en la periferia de Riad. Pese a la gran variedad de vanos que presentan estas estructuras, los más habituales son de 36 metros, siendo el más largo de 120 metros. Como rasgo

característico de los viaductos, para su ejecución se han utilizado todas las tecnologías de producción masiva de puentes en un mismo proyecto y de forma simultánea en el tiempo: cimbrados in situ, vigas prefabricadas con montaje convencional, voladizos sucesivos, lanzamiento de dovelas y lanzamiento de vigas sobre el propio tablero construido. La elección de cada sistema constructivo ha dependido del emplazamiento de la estructura y ha buscado minimizar el espacio de trabajo requerido y la afección al tráfico. Según fuentes del consorcio, el empleo de este sistema ha permitido realizar un análisis técnico-económico de los pros y contras de cada metodología, que será muy útil para futuros proyectos de viaductos en otros países.

En paralelo a estos trabajos, el consorcio FAST también ha finalizado la construcción de las estructuras de las 25 estaciones y las dos cocheras-taller previstas en el proyecto de obra civil, sobre las cuales se desarrollan ahora los trabajos de instalaciones electromecánicas y arquitectura. Análogamente a los otros lotes, en las líneas del lote 3 se han construido cuatro tipologías de estación: 12 subterráneas (profundas y superficiales), ocho elevadas y cinco en superficie, de las cuales seis conectan con otras líneas. Como singularidad, en las estaciones subterráneas de la línea 5, ejecutadas a 30 metros de profundidad y divididas en tres niveles, se ha implementado un innovador sistema que ha permitido

ejecutar gran parte de las estructuras, al tiempo que se evacuaban los materiales procedentes de la excavación del túnel en otras zonas, con un notable ahorro de plazos. Por otro lado, en las estaciones elevadas, los sistemas de climatización se están sobredimensionando con respecto a los metros de otras ciudades para afrontar el "efecto invernadero" provocado por las fachadas de vidrio que, por cuestiones arquitectónicas y estéticas de integración urbana, las revestirán.

Todos los trabajos de construcción acometidos por el consorcio desde 2014 han exigido un importante esfuerzo de logística para el suministro de materiales desde los dos parques logísticos hasta los distintos tajos de la obra y para la retirada de escombros, así como el desarrollo de un plan coordinado con las autoridades locales para realizar los desvíos, con el objetivo de minimizar las afecciones al tráfico. Desde el consorcio, además, se destaca que durante la realización del proyecto se han superado los 15 millones de horas de trabajo sin que se hayan producido accidentes laborales, un registro que responde en buena medida a los elevados estándares de seguridad y salud en el trabajo aplicados en la obra, inéditos en Arabia Saudí. El propio cliente desea que estos estándares sirvan de referente para su aplicación como buenas prácticas en las obras futuras en este país.

### Singularidades del proyecto

**Automatización.** El metro automático (sin conductor) ya está en servicio en varias ciudades, pero el de Riad será, con 176 kilómetros, el más largo del mundo. Esta tecnología está basada en un sistema de señalización y control ferroviario, apoyado en la comunicación vía radio tren-vía y gestionado automáticamente desde un centro de control, que permite reducir el intervalo entre trenes (por ejemplo, cada 90 segundos), manteniendo la seguridad de la línea y aumentando así su capacidad, algo decisivo en horas punta.

**Energía.** El proyecto de Riad apuesta por la sostenibilidad ambiental, destacando el empleo de placas fotovoltaicas en estaciones y cocheras que ayudarán a reducir el impacto energético de su funcionamiento y ahorrarán hasta un 20% del consumo. Los trenes incorporarán un innovador sistema de recuperación de energía que "devolverá" a la red la energía de frenado de los convoyes al llegar a las estaciones.

**Estaciones.** La red tendrá 85 estaciones, equipadas con avanzados sistemas de confort, seguridad e información, además de wifi universal. Cuatro de ellas, diseñadas por prestigiosos arquitectos, serán los iconos de la red y actuarán como intercambiadores. Los sistemas de climatización de las estaciones se han diseñado para mantener la temperatura interior dentro de los niveles de confort humano, cuando en el exterior pueden alcanzarse los 50°. También los túneles incorporarán sistemas de ventilación para hacer frente, mediante sobrepresión, a las tormentas de arena que sufre Riad.

**Material móvil.** Tres grandes fabricantes suministrarán los 190 trenes de la red, que tendrán un diseño unificado y estarán identificados por el color de la línea en la que circularán. Con una velocidad punta de 80-90 km/h y capacidad para 230 pasajeros, cómodos, totalmente accesibles y con wifi, los trenes se han diseñado para adaptarse al rigor climático de Riad, manteniendo una temperatura interior de 25°.

**Innovación constructiva.** La obra de Riad es escenario del uso de tecnologías constructivas avanzadas, algunas de ellas inéditas en Arabia Saudí, como la perforación con tuneladoras o el sistema de lanzamiento de vanos completos en los viaductos. Para la vía en placa se ha empleado un sistema automatizado que construye la plataforma y monta las vías de forma cuatro veces más rápida que los sistemas convencionales. En diseño, las ingenierías han generalizado el uso de la metodología Building Information Modeling (BIM) para facilitar la coordinación de los proyectos entre equipos dispares y la integración de las distintas disciplinas que intervienen en la obra, lo que ha permitido desarrollar los proyectos con altos niveles de calidad y en los plazos establecidos.

### SALVAMENTO MARÍTIMO CUMPLE UN CUARTO DE SIGLO

# 25 años vigilando el mar

REDACCIÓN. BEGOÑA OLABARRIETA

Salvamento Marítimo es, 25 años después de su fundación, un referente internacional entre los servicios de guardacostas. Cerca de 310.000 personas atendidas, la vigilancia cada año de una superficie marítima asignada equivalente a tres veces el territorio nacional, 1.500 profesionales trabajando en sus 20 centros y sus campañas de prevención y seguridad hacen del salvamento español lo que es hoy.

**V**er una salvamar en nuestras costas o imágenes de rescates en situaciones extremas son escenas a las que ya estamos habituados, pero la salvaguarda del mar no siempre fue así: un servicio profesionalizado y dedicado en exclusividad al salvamento y la lucha contra la contaminación.

Sus orígenes hay que buscarlos en las sociedades benéficas de náufragos del siglo XIX formadas por voluntarios, marinos y pescadores, que acudían a las llamadas de socorro de los navíos con sus propias embarcaciones.

No será hasta 1880 cuando se cree la primera Sociedad Española de Salvamento de Náufragos, siguiendo el ejemplo de otras similares que ya iban surgiendo en distintos países europeos; pero los medios eran pocos, la formación inexistente y las dotaciones económicas muy escasas: 15 años después de su creación disponía de 30 botes y 1.000 voluntarios para cubrir todo el territorio.

Aun así, gracias al despliegue de centros locales, que rara vez se coordinaban entre sí, el salvamento se fue organizando poco a poco hasta que, en la España de 1940, sea la Armada quien asuma esta tarea. En 1970,

después de haber sobrevivido casi un siglo, aquella sociedad de náufragos se extingue definitivamente y pasa el testigo a la Cruz Roja del Mar.

Eran unos años en los que tráfico marítimo aumentaba rápidamente entre mares y fronteras, y la necesidad de un protocolo de actuación común en caso de rescate y de vigilancia se concretó en el llamado Convenio SAR (búsqueda y rescate, por sus siglas en inglés) 79, resultado de una conferencia celebrada ese año por la Organización Marítima Internacional (OMI), en la que se creó el actual modelo de actuación que hoy siguen todos los estados ribereños del planeta. España no podía quedarse fuera, pero tenía que ponerse al día si quería estar dentro del acuerdo.

Aún pasarían algunos años más hasta conseguirlo, y así llegó la Ley 27/92 de Puertos del Estado y de la Marina Mercante "para la creación de una sociedad estatal denominada Sociedad de Salvamento y Seguridad Marítima", aprobada en el Parlamento con el apoyo de todos los grupos, abriendo una nueva era.

Cien años después de aquella primera Sociedad Española de Náufragos, la creación de un organismo único que coordinara todas las entidades de SAR se hacía realidad.