

## La edificación singular, motor de avance de la tecnología de la construcción



**Salvador Fernández Fenollera**  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.  
Director de la División de Arquitectura y Desarrollo Urbano de Tyspa



**Gema Martínez González-Valcárcel**  
Arquitecta.  
Jefe de proyectos de la División de Arquitectura y Desarrollo Urbano de Tyspa



**Carlos Fontecha Andújar**  
Arquitecto.  
Jefe de proyectos de la División de Arquitectura y Desarrollo Urbano de Tyspa

### Resumen

La edificación singular podemos entenderla como aquella cuyas características fuerzan al hombre, al técnico, a traspasar los límites del conocimiento utilizado en la edificación común.

Esto ha sido así en toda la historia de la construcción, pero en los últimos 100 años se ha alcanzado un nivel de tecnificación que ha hecho de lo extraordinario algo ordinario, y a la vez se han buscado nuevos límites que forzar a gran velocidad.

En este artículo repasamos algunos de esos límites y cómo se han sobrepasado con algunos ejemplos de proyectos a los que se ha enfrentado Tyspa en los últimos e intensos años.

### Palabras clave

Edificio singular, arquitectura singular, construcción singular, suburbano, aeropuertos, rascacielos

### Abstract

*We can understand singular building like that whose characteristic forces man, the technician, to overstep the knowledge limits used for usual building.*

*It's been so all construction history, but at last 100 years it reaches a technical level that has done extraordinary something ordinary, and simultaneously it been looking for new limits to reach quickly.*

*This paper review some of this limits and how it's been exceeded with some projects that Tyspa has approached at last and intense years.*

### Keywords

*Singular building, singular architecture, singular construction, subway, airports, skyscrapers*

### Introducción

Desde el inicio del desarrollo de la humanidad, en cuanto el hombre comienza su relación con la tecnología en el sentido más amplio de la palabra, su aplicación a la edificación viene a cubrir una de sus necesidades básicas.

Cuando el hombre empieza a dar pasos más adelante del puro alojamiento y refugio empieza a dedicar sus esfuerzos a edificaciones que se salen de lo normal, que cubren otros objetivos, que resultan singulares bien por sus dimensiones, por su uso, por la motivación que está detrás de su construcción: monumentos funerarios, centros religiosos o astrológicos, fortalezas defensivas, centros del poder...

A ese tipo de monumentos el hombre dedica sus mejores recursos, decide dar el impulso que les lleva a evolucionar. La búsqueda de un mayor impacto en sus edificaciones

singulares le lleva a superar los límites y dar pasos adelante en la evolución de su tecnología.

Así es como evoluciona la edificación: no es en las residencias de la Grecia clásica donde se avanza en la geometría y la perspectiva, sino en la búsqueda de la armonía perfecta que lleva al Partenón. No es la domus la que lleva a Roma a descubrir el hormigón, sino monumentos como el Panteón (figura 1).

Así que las diversas civilizaciones van avanzando en el camino de la tecnología a través de sus edificaciones singulares.

Cuando en el siglo XX el salto tecnológico es gigante respecto a los siglos anteriores, la edificación singular comienza a extenderse. Cada vez hay más, ya no hay una



**Fig. 1. El Panteón de Agripa  
en Roma, edificación singular  
en el siglo II**

catedral en cada región, o como mucho en cada ciudad, sino que las ciudades se pueblan de edificaciones que habrían sido únicas unos cientos de años atrás, pero que ya no son más que... edificación ordinaria, usual... común. Las luces de las cubiertas se multiplican, la velocidad en la construcción crece exponencialmente, las formas evolucionan a grandísima velocidad, quedando rápidamente desfasado lo que era moderno solo un instante atrás...

Así que cuando llegamos al siglo XXI, en el que las limitaciones a la tecnología parecen haber desaparecido, todo parece posible. La ingeniería detrás de la edificación singular permite que ni la forma ni el uso ni el tamaño ni la velocidad de construcción sea un límite.

Pero aún así aún seguimos traspasando nuevos límites. Las condiciones de la edificación singular del siglo XXI exigen de grandes compañías de ingeniería con técnicos capaces de atacar todas las disciplinas que se encuentran en un edificio y empujarlas hacia el siguiente límite.

En Tysa, ingeniería que desde su origen ha entendido la relación entre la arquitectura y la edificación y la ingeniería, siempre hemos estado vinculados a edificaciones singulares en las que dábamos los pasos adelante que posteriormente aplicábamos a edificaciones comunes. Acompañamos a

Félix Candela en el diseño de sus láminas, o a Rafael Moneo en su encuentro con el ferrocarril en Atocha, o a Norman Foster en las edificaciones enterradas que son las estaciones de metro en Bilbao, entre otros.

Pero no solo en el ámbito de la edificación hemos aplicado este concepto, la preocupación cada vez más creciente porque las infraestructuras se integraran en la vida de los ciudadanos han convertido a las obras civiles en auténticas obras singulares, siempre pendiente de garantizar la calidad y proporcionar más y mejores soluciones a sus clientes, buscando siempre la excelencia en la ingeniería.

A punto de cumplir 50 años de actividad ininterrumpida, no ha parado de crecer significativamente durante las últimas dos décadas y, en los últimos años, hemos conseguido importantísimos contratos de gran magnitud en todas sus áreas de actividad como los metros de Riad, Abu Dhabi, Doha, Estocolmo, Lima, Santiago de Chile y Sao Paulo, grandes proyectos de carreteras como el realizado para el concesionario de la autopista interestatal I-69 en el estado de Indiana (EE. UU.), grandes proyectos hidráulicos en Arabia Saudí, Kenia, Brasil y resto de Latinoamérica y la realización de la ingeniería en grandes instalaciones de energía renovable como el proyecto eólico de Coahuila (México) y el de Mount Solar Signal en California (USA).

En el campo de la edificación, en los últimos años hemos superado los límites de la edificación común en diversos aspectos: altura cuyo límite es el terreno o el cielo, geometría, tiempo, diseño arquitectónico... Aspectos que vamos a analizar con algunos ejemplos.

### El tiempo

Uno de los límites que la construcción está empujando cada vez más allá es el tiempo. La velocidad en la construcción desde luego, pero también en la planificación, en el diseño, en la puesta en marcha de los edificios, es un requisito crítico desde el punto de vista del resultado financiero de una operación o inversión.

Un centro comercial basa su modelo de negocio en una fecha de apertura estricta. Un edificio de oficinas se pone en el mercado en un momento concreto que no puede verse perjudicado por un retraso en la construcción. La puesta en operación de un aeropuerto puede ser el mo-

mento crítico que permita el comienzo de los ingresos y así su viabilidad financiera.

A finales de 1997, el Banco Santander decidió desarrollar un concepto innovador en Europa para la organización física de los servicios centrales del Grupo. Tomando como modelo experiencias previas que las grandes corporaciones industriales y tecnológicas americanas habían desarrollado con éxito, apostó por concentrar sus oficinas centrales en un único desarrollo urbano, localizado geográficamente dentro del ámbito metropolitano de Madrid, en forma de una Ciudad autónoma, dotada de todos los servicios básicos y de apoyo necesarios para llevar a cabo sus funciones con la máxima eficacia.

Cuando nos enfrentamos al proyecto de la **Ciudad Financiera del Banco Santander, en Boadilla del Monte**, tuvimos que entender que todo el plan de trasladar a sus casi 7.000 ocupantes a una sede común era una opera-



Fig. 2. Ciudad Financiera del Grupo Santander, en Boadilla del Monte (España)



**Fig. 3. Nueva Terminal de pasajeros del aeropuerto de Guarulhos, en Sao Paulo (Brasil)**

ción calculada milimétricamente desde el punto de vista financiero (figura 2).

Este fue el punto de partida sobre el que se elaboró este proyecto y obra que implicó un gran reto constructivo por varios motivos: sus dimensiones (160 Ha de superficie y más de 550.000 m<sup>2</sup> construidos), el plazo de ejecución, sus características funcionales y su integración en el entorno.

La propuesta del premio Pritzker Kevin Roche resultó ser la seleccionada (gracias a su idoneidad funcional, modulación, adecuación al programa de necesidades y normativa, integración en el entorno, e imagen corporativa reflejada en el proyecto).

A partir de su diseño, se realizó la planificación del proceso (proyecto-licitación de obras-ejecución) así como la redacción y tramitación de todos los proyectos de construcción, la ingeniería de detalle.

El éxito de esta singular obra se debió a la combinación de varios factores que supimos poner en juego. Por un lado, prever desde la misma concepción del proyecto, es más, desde la selección del concepto arquitectónico, todos los

aspectos y procesos constructivos de los distintos tipos de obras. Por otro, la realización de un proyecto modular, es decir, la concepción de un proyecto global que admitía la posibilidad de ser ejecutado por fases que permitió el desarrollo simultáneo de redacción de proyectos con la construcción de las edificaciones y el loteado para la contratación de las obras, optimizando así el presupuesto. Y, por último, la utilización de herramientas informáticas de gestión de obra y gestión documental –desarrolladas internamente– ahora muy extendidas pero en su día novedosas, y que permitieron agilizar enormemente el proceso de control de la obra.

Otro proyecto al que nos enfrentamos en el que la combinación de un plazo muy ajustado y un gran tamaño fue en el **aeropuerto de Guarulhos en Sao Paulo (Brasil)**, el principal del país, por el que entran dos tercios de los visitantes cada año (figura 3).

La escala de este proyecto, su uso, su significado político de cara al Mundial de fútbol, así como los ajustados plazos de ejecución comprometidos (solapados con el desarrollo de las obras) fueron los retos a los que hubo que enfrentarse y superar.

El aeropuerto de Guarulhos es el más grande de Brasil, y está ubicado en la región de Sao Paulo, el estado con el mayor PIB.

Engecorps, la filial brasileña del grupo, y la propia Typsa realizaron los servicios de ingeniería correspondientes al desarrollo del Plan Director y a la redacción de los Proyectos Básico y Ejecutivo de todas las obras de ampliación. Con esta expansión el aeropuerto pasó a tener 108 posiciones, y su capacidad alcanzó los 12 millones de pasajeros por año.

El proyecto consistía en el lado tierra principalmente de un nuevo edificio de terminal de pasajeros de 198.000 m<sup>2</sup> estructurados en 5 niveles, tres nuevos edificios de aparcamientos de 8 niveles, con 329.500 m<sup>2</sup> de superficie y 20.000 plazas, más una serie de importantes obras en el lado aire y la urbanización

Las obras de la terminal 3 debían durar un año y nueve meses, tras la firma del contrato de concesión al grupo GRU Airport. Para lograrlo, el proyecto se debió desarrollar a una velocidad altísima y además el diseño debió considerarse como parámetro crítico la logística de la producción y la tecnología a disposición de la constructora.

Se planteó un proyecto de estructura que pudiera ser ejecutado mediante prefabricación in situ. Se diseñó una planta de prefabricado, y se discretizó el proyecto en unos 4.000 elementos prefabricados, más de la mitad diseñados individualmente.

También la cubierta se diseñó con el objetivo de montarse con gran agilidad. La geometría de la arquitectura se centró en buscar una modularidad y unas formas no demasiado complejas, aunque manteniendo un aspecto atractivo, de manera que la estructura metálica que la sustenta pudiera ser fabricada y montada con rapidez. Además los sistemas de impermeabilización y control de estanqueidad empleados también permitían un gran rendimiento con un acabado bueno, y con gran resultado técnico.

Por último, el proyecto debía enfrentarse a la entrada de requerimientos por los diversos operadores del aeropuerto al mismo tiempo que se diseñaba, exigiendo una organización del proceso muy controlado, por un lado, y una versatilidad en las soluciones técnicas de los espacios para integrar tanto los sistemas aeroportuarios (transporte



Fig. 4. CPD del Centro Tecnológico Cantabria del Grupo Santander, en Solares (España)

de equipajes, comunicación a viajeros etc.) y resto de agentes en el aeropuerto (aduanas, etc.) como la futura integración de los espacios comerciales

### El uso

Una característica que puede convertir a un edificio en singular es el uso para el que va a ser destinado. En algunos casos la función para la que se precisa la construcción de un nuevo edificio es novedoso, y exige plantear soluciones singulares.

Typsa ha realizado varios proyectos donde su uso ha condicionado el diseño arquitectónico y estructural del edificio, por ejemplo, en el **Centro de Proceso de Datos del Banco Santander en Cantabria** tuvimos que asumir como punto de partida que no solo el contenido del edificio era singular, al tener que alojar la más alta tecnología de

comunicaciones, sino que debía tener un altísimo nivel de seguridad ante fallos al suponer un elemento estratégico en el modelo de negocio bancario (figura 4).

En una parcela de 30 ha, se situaron dos edificios de procesos de datos (CPD de 15.000 m<sup>2</sup> cada uno) y una serie de edificios auxiliares, entre los que cabe destacar el edificio desde el que se controlan los dos CPD (*Enterprise Command Center*) y un centro de visitas (todos ellos con una superficie en torno a 5.000 m<sup>2</sup>). En estos dos nuevos CPD el Banco Santander centraliza el resto de CPD que tiene por todo el mundo.

Los nuevos CPD son unos de los mayores de Europa, con 3.000 m<sup>2</sup> de salas IT cada uno, gemelos, y diseñados con la más moderna tecnología, tanto en la obra civil que los contiene como en los equipamientos de soporte a una instalación tan importante y delicada.

Un equipo de proyectistas formado por IBM Global Services España para diseñar el programa de necesidades y los criterios de diseño y los arquitectos Gonzalo Echenique Gordillo y Francisco Fariña Martínez establecieron las bases sobre las que desarrollamos el proyecto constructivo apor-

tando nuestra técnica y experiencia, haciendo exhaustivos estudios de todos y cada uno de las especialidades intervinientes con el fin de aplicar la última tecnología existente con la mayor seguridad y eficiencia posible.

Así se diseñó un sistema de climatización TIER III con eficiencia anual EER 13 (en sistemas convencionales 1,2) mediante 'celdas' de refrigeración por free cooling indirecto, con intercambiadores estáticos y técnicas de enfriamiento evaporativo, y un diseño de salas IT para TIER IV eléctrico (disponibilidad máxima), con SAI dinámicos y un novedoso sistema aplicado en un CPD denominado IP bus doble anillo de distribución en baja tensión, que permite optimizar la distribución de energía con menos equipos SAI de los estrictamente necesarios cuando no se aplica este sistema.

Además la propia obra civil supuso el gran reto de conjugar la función de protección del contenido tecnológico frente a todo tipo de posibles eventualidades, la forma del diseño arquitectónico de gran calidad (Premio de arquitectura COAM), y la velocidad de ejecución que permitiera una actuación en plazo mínimo. La estructura de hormigón visto tenía un número mínimo de juntas para evitar en lo posible



**Fig. 5. Las cubiertas de la Caja Mágica abiertas, en Madrid (España)**

la entrada de humedad, y además se diseñó un armado de refuerzo en los muros que permitiera soportar el impacto de una explosión sin provocar el colapso y manteniendo operativos los equipos electrónicos del interior.

Otro proyecto icónico es sin duda la **Caja Mágica**. Obra única, por sus características de diseño, por la condición de figura consagrada de su autor, y por el trasfondo político que su construcción conlleva, de cara a la candidatura olímpica de Madrid (figura 5).

El proyecto debía acoger una infraestructura pública especialmente enfocada a las competiciones de tenis que se desarrollarían anualmente en Madrid y en unos eventuales juegos olímpicos, pero además debía tener una versatilidad en su diseño que le diera sentido comercial en su futura explotación con diversas actividades. Y además se planteó como un hito arquitectónico para la ciudad, convocándose un concurso internacional de arquitectura.

Llevamos a cabo la redacción del proyecto y dirección facultativa de estructuras, instalaciones y colaboramos con el arquitecto Dominique Perrault en materia de arquitectura, en un gran trabajo de equipo. Así mismo participé en la asistencia técnica en medio ambiente y diseño sostenible. Y MC2 participó en el diseño de las cubiertas para la constructora FCC.

La solución de Dominique Perrault consistía en una “caja” que contenía distintos volúmenes que podían funcionar juntos o aislados, y cubiertos por una “tapa” que, para mayor versatilidad, se podía abrir o cerrar y por tanto funcionar como espacios outdoor o indoor, y colocado junto al río Manzanares, en contacto y diálogo con él.

El edificio principal, la “caja” propiamente dicha, tenía una planta casi cuadrada de 160 m de lado, situada en el centro del lago que la rodea y “conecta” con el río, y alberga tres pistas cubiertas dotadas de graderíos (con forma de pirámide cuadrangular truncada invertida), con capacidad para 12.310, 3.525 y 2.726 espectadores respectivamente. Es el que da nombre al complejo: Caja Mágica. Su estructura es de hormigón armado y pretensado, con elementos de hormigón prefabricado en los graderíos.

Lo más característico del proyecto es el sofisticado sistema de cubiertas móviles. Cada pista tiene una cubierta independiente que se abre mediante un complejo sistema

pivotante y según distintos ángulos, dependiendo del tipo de juego, las condiciones climáticas, la cantidad de espectadores y la cantidad de luz existente. Se convierten así en elementos que pueden provocar relaciones inusuales de la arquitectura con su exterior, permitiendo al clima entrar en ella y a la vez proyectar hacia fuera la actividad y el bullicio de los acontecimientos deportivos. La idea de su autor no era construir un edificio sino poner en escena una arquitectura.

Además, los acabados de la zona de pistas en hormigón pulido, las gradas retráctiles, los sistemas de gestión de las instalaciones, de iluminación o de climatización independientes, permitían una versatilidad en usos y configuraciones de los espacios que complementaban el requisito principal: la multifuncionalidad.

#### La intención arquitectónica

Hablando de edificación singular, sin duda uno de los argumentos que empujan a buscar nuevos límites en la edificación en nuestros tiempos es la intención de los arquitectos. La sociedad actual de alguna forma demanda a los arquitectos que espacios singulares tengan soluciones singulares, y el altísimo desarrollo de la tecnología ha



Fig. 6. Sede de Gas Natural en Barcelona (España)



Fig. 7. Pabellón de España en la Expo 2010 en Shanghái (China)

permitido a los arquitectos entender que su creatividad no tiene apenas límites.

Hay numerosísimos ejemplos de que la intención del arquitecto ha provocado un salto a la ingeniería que lo desarrolla, como el Museo Guggenheim de Bilbao o 'El nido de pájaro', el Estadio Olímpico de Pekín de Herzog y De Meuron.

En nuestra empresa hemos enfrentado algunos de ellos, algunos ya mencionados, pero queremos destacar dos proyectos de MC2, empresa especialista en estructuras singulares del Grupo Tyspa, que reflejan muy bien cómo la ingeniería permite hacer realidad el diseño del arquitecto.

La nueva **sede de la compañía Gas Natural en Barcelona** fue objeto de un competido concurso por invitación a un selecto grupo de seis renombrados arquitectos catalanes, ganado por el estudio de arquitectura EMBT de Enric Miralles y Benedetta Tagliabue (figura 6).

Está constituida por un conjunto de edificios de oficinas de formas y características muy diferentes, fuertemen-

te entrelazados para constituir una compleja propuesta arquitectónica de gran interés con una amplia gama de objetivos, sobre todo una Imagen atractiva, destacada y emblemática, una fuerte interpenetración y diálogo con el ámbito público, incorporando calles interiores entre los edificios componentes y bajo los mismos, y especialmente una transparencia visual a través del complejo, en la dirección tierra-mar, mediante grandes huecos en la fachada de la avenida, que se obtienen gracias a la disposición volada de amplios cuerpos de la edificación.

El esquema elegido para la superestructura se basó en el empleo de soluciones metálicas y mixtas integradas en megaestructuras: sistemas estructurales que tratan de aprovechar las dimensiones totales de las formas arquitectónicas puestas en juego para, disponiendo las piezas más ligeras y económicas, obtener respuestas deformacionales de gran rigidez y funcionalidad.

El complejo se compone básicamente de cuatro edificios: Torre, Portaaviones, Capitel, Cascada; a los que se añaden otros dos menores: el edificio Puente, de tres plantas de altura que comunica los edificios Torre y Portaaviones,



por encima de la calle interior antes citada, y el pequeño edificio Pétalo, que se sitúa bajo el vuelo del Portaaviones. Todo el complejo presenta un gran zócalo subterráneo de tres plantas de sótano realizado íntegramente en hormigón armado, para aparcamientos y servicios fundamentalmente, que se extiende a la totalidad de la manzana en la que se sitúa.

Las estructuras de los edificios Capitel y Portaaviones presentan un especial interés. El primero está formado por un cuerpo volado, rematado frontalmente por superficies cóncavas salientes que incrementan su vuelo con la altura en forma de volutas, como en el orden del capitel corintio del cual se tomó su nombre. Y el segundo comprende un gran volumen en voladizo de cerca de 40 m de longitud, 18,5 m de altura y situado a 20 m del suelo, sustentado por un sistema de dos grandes celosías situadas en las caras exteriores longitudinales que se cuelgan en su centro del punto superior de un amplio núcleo de hormigón, mediante un sistema de suspensión mixto de gran potencia.

Ambos edificios se construyeron mediante procedimientos específicos que aprovechan la autocapacidad evolutiva de las propias megaestructuras empleadas; mientras que el resto del complejo fue llevado a cabo con una ejecución de carácter convencional

Otro proyecto destacado por su original configuración arquitectónica es el **Pabellón de España para la Expo 2010 en Shanghái**, con una complejidad que no solo empujó los límites del cálculo estructural, sino que nos hizo emplear la más avanzada tecnología informática para modelización y cálculo (figura 7).

Constituido por un conjunto de superficies muy curvadas que generan una variedad de espacios concatenados, tanto en el interior como en el exterior, posee un lenguaje arquitectónico muy expresivo, rematado por un acabado de fachada en mimbre que a la vez resaltaba su carácter de eventual y lo relacionaba con la cultura china.

Diseñada por el estudio EMBT con una vocación de recordar al cesto de mimbre, común en ambas culturas, supuso un reto extraordinario en la búsqueda de un sistema estructural adecuado a la forma libre del edificio, y requirió un intenso diálogo entre arquitectura y estructura desde los inicios de la concepción del edificio.



Fig. 8. La doble curvatura de la estructura del Pabellón de España en la Expo 2010 en Shanghái (China)

En este diálogo se operó con las principales variables que configuran el edificio, tratando de encontrar el sistema que mejor se adaptase a la forma libre del mismo dentro de una coherencia estructural. La doble curvatura de las superficies de fachada fue tanto el reto como la solución a su estructura, ya que tales sistemas ofrecen un comportamiento deformativo-resistente extraordinariamente eficaz.

En el diseño arquitectónico y en el estructural, los programas informáticos, unos comerciales, otros de desarrollo propio, han jugado un papel fundamental. La forma definida por Arquitectura mediante superficies NURBS (“non-uniform rational B-Splines”: B-splines racionales no uniformes) fue cortada por planos verticales y horizontales para definir los ejes de las mallas ortogonales de los tubos de fachada. Las curvaturas variables de estos ejes fueron adaptadas para limitarlas a un número pequeño, y simplificar la ejecución en taller que lo hiciera más fácil de ejecutar, y también más económico; y del sistema 3D así tratado se determinó el modelo estructural sobre el cual fueron ajustadas, en un proceso iterativo, las dimensiones, resistencias y la propia forma (figura 8).

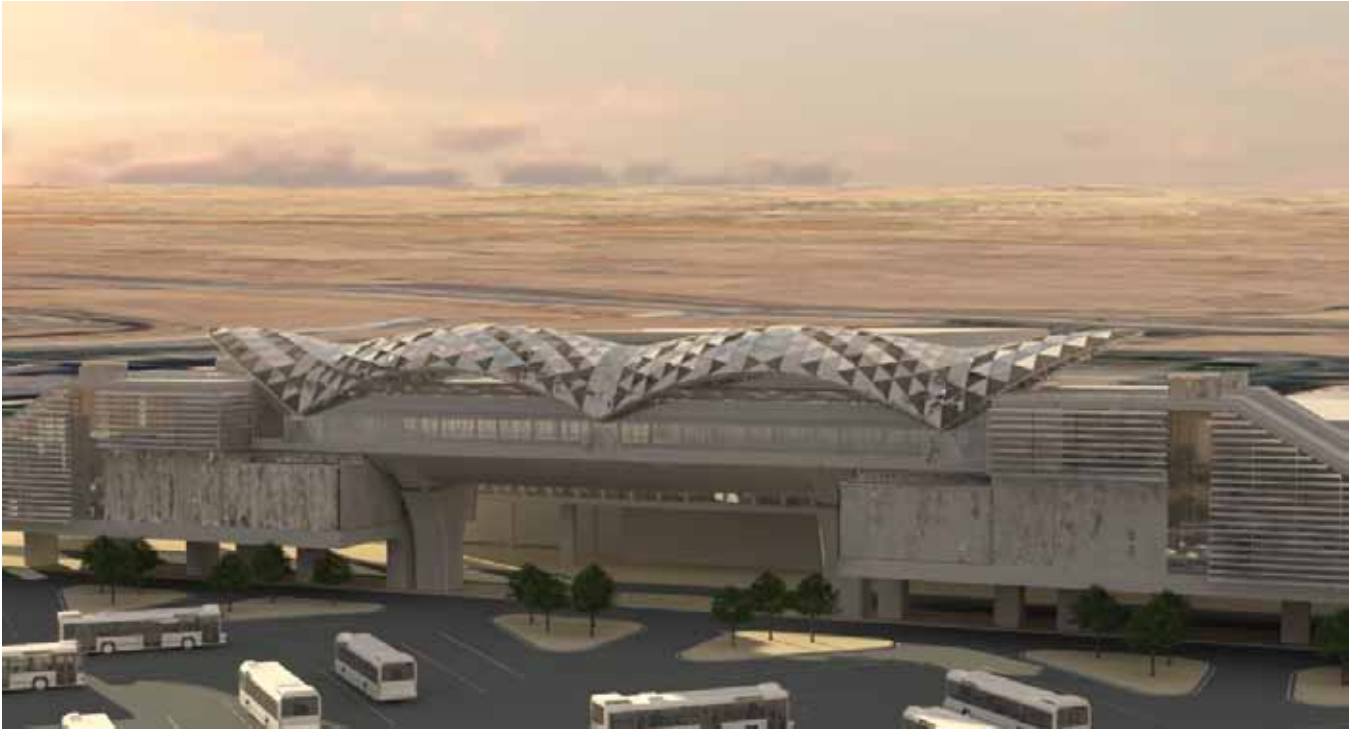


Fig. 9. Impresión fotográfica de una estación elevada del metro de Riad (Arabia Saudí)

Este software permitió alcanzar una configuración optimizada que satisfacía tanto a los requerimientos arquitectónicos como a los estructurales y que adicionalmente fue luego empleado por el taller metálico chino para la construcción de todos los elementos, para lograr la gran precisión geométrica necesaria en su definición. De este modo, un mismo modelo geométrico sirvió como medio de comunicación entre el diseño arquitectónico, el diseño y análisis estructural, y la construcción en taller.

### La escala y el reto internacional

Por otra parte, en los tiempos actuales el mercado principalmente internacional de las ingenierías en España ha convertido ese factor en habitual. Solemos trabajar en idiomas desde hace ya tiempo. Eso no arroja especial singularidad. Pero cuando a la dimensión internacional se suma la gigantesca dimensión de algunos de los proyectos, y el increíblemente corto plazo, nos encontramos desde luego ante un reto. Es el caso del proyecto del **metro de Riad** (figura 9).

Seis líneas y 176 kilómetros entre túneles, vías a nivel y viaductos constituyen un resumen del proyecto encargado

por el gobierno saudí para modernizar y mejorar el transporte público de la capital. En una ciudad donde escasean las aceras y la gasolina tiene un precio sorprendentemente cercano al del agua, la necesidad de un nuevo medio que no colapse las calles es imprescindible, y por ello se han destinado 23.500 millones de dólares (17.500 millones de euros) para llevar a cabo una red de trenes que supera el 50 % de la extensión del metro de Madrid. La diferencia es que la capital española estrenó el suyo en 1919 y ha ido creciendo desde entonces; los árabes planean condensar esos casi 100 años de historia en cinco y verlo terminado para 2019.

La obra está dividida en tres grandes paquetes, contará con 85 estaciones y se calcula que requerirá el trabajo de 45.000 personas.

Nuestra empresa entra en la imagen dentro del consorcio FAST (nombre derivado de las iniciales de las empresas que lo constituyen), que consiguió la adjudicación de las líneas 4, 5 y 6 por 7.820 millones de dólares, y participa en la elaboración de los proyectos conceptuales y de detalle de la obra civil en dichas líneas.

Estamos haciendo la ingeniería del túnel de la línea 5, y el tratamiento urbano y paisajista de la superficie en las líneas 4, 5 y 6, pero también somos responsables de las edificaciones enterradas que son las estaciones. Para nosotros no es ninguna novedad, hemos realizado el diseño de numerosas estaciones de metro. Pero en este caso estamos aplicando a pleno rendimiento una tecnología que permite avanzar en estos retos como es la tecnología BIM.

Este proyecto se está desarrollando íntegramente siguiendo procedimientos BIM (*Building Information Model*), en los que el diseño se organiza mediante sistemas informáticos y la información del proyecto se introduce en modelos tridimensionales con el programa Revit. Se trata de la última generación de software para el diseño asistido por ordenador que se caracteriza por su capacidad para generar modelos virtuales que pueden ser visualizados tridimensionalmente desde las primeras fases de diseño y que, además, incorporan datos paramétricos, de manera que sus comportamiento y prestaciones (*'performance'*) pueden someterse desde el principio al análisis paramétrico.

Esta metodología de trabajo cambia la forma de enfrentar el proyecto, exigiendo una precisa organización en las formas de tratamiento de la información, por un lado, y una modificación de los ritmos y procesos de diseño. Además generando la información siempre pensando en el final (para qué se va a utilizar este modelo) y no en el principio (qué quiero representar en este modelo).

### La búsqueda del cielo

El último gran reto al que queremos referirnos es a la altura. Este siglo ha vivido cómo el rascacielos ha comenzado a ser habitual en los paisajes de muchas ciudades en el mundo. Y se han superado records en altura con edificios que cada vez se acercan más al cielo. Alcanzar una altura importante casi ha dejado de ser un desafío, y en cambio hacerlo atendiendo a determinadas condiciones o con determinadas geometrías arquitectónicas sí suponen límites en los que empujamos la tecnología un paso más allá.

En Tyspa y MC2 hemos enfrentado varios de esos retos, como la Torre Espacio (figura 10) y la Torre PWC (figura 10) de Madrid, en su momento entre las más altas de Europa junto a sus dos hermanas, la primera apoyada sobre una



Fig. 10. Torre PWC (izquierda) y Torre Espacio (derecha), en Madrid (España)



cimentación postesada o con algunos de sus soportes inclinados para ajustarse a la forma que fija la arquitectura; la segunda con su núcleo de rigidez en forma de trébol y combinación de estructura de hormigón y metálica para ganar agilidad en la construcción.

Queremos destacar aquí la **Torre Hotel de la Société New Marina Casablanca** (promovida por CGI –Compagnie General Immobilier– perteneciente al grupo CDG –Caisse de Depot et Gestion– de Marruecos), de 157 m de altura y con un Palacio de Congresos asociado, que serán gestionados por la empresa JW Marriott, por lo que tanto el proyecto, como la construcción, así como la operación y el mantenimiento siguen sus estándares de calidad (figura 11).

La principal característica de esta torre es su arquitectura, de la firma británica WATG. La geometría de la torre se genera por el giro de tres grados en sentido antihorario, que se produce entre cada planta consecutiva, dando lugar a una fachada de doble curvatura.

Esta geometría supuso tres retos importantes para nosotros, que desarrollamos el trabajo junto a la compañía marroquí Novec y MC2 y la consultora de fachadas ENAR, más allá de la altura.

Por un lado, la rotación de las plantas junto con la necesidad de contemplar algunos requerimientos técnicos extraordinarios del cliente final implicó la búsqueda de soluciones no convencionales para la distribución de las instalaciones en toda la torre. Se establecieron tres plantas técnicas desde las que se lanzaban los servicios en distribuciones verticales que acompañaban el giro de las plantas dando lugar a redes helicoidales.

El giro relativo entre plantas, apoyadas en y en soportes inclinados que acompañan al giro de la torre, determinó el comportamiento estructural del edificio, y ha requerido diversas consideraciones en su diseño para integrar adecuadamente los requisitos arquitectónicos, de instalaciones y fachadas, pero, especialmente, constructivas.

La tipología formal giratoria de la torre conlleva una larga serie de características que, en conjunto con los aspectos funcionales requeridos, las disposiciones arquitectónicas y las condiciones constructivas, dan lugar a unas posibi-



Fig. 11. Torre Hotel de la Societé New Marina Casablanca, en Casablanca (Marruecos)

lidades muy abiertas. Frente a una forma de estas características, es obligado buscar la mejor configuración no solo estructural sino de todas las disciplinas intervinientes en su diseño, que permitan alcanzar la mejor eficiencia holística del edificio. En el caso de la Torre de Casablanca se decidió emplear un núcleo circular interior y soportes inclinados, rectos entre planta y planta, de sección circular para los soportes perimetrales, y de sección rectangular para el anillo interior de soportes.

En cuanto a la fachada, se ha diseñado una solución que se adapte a la geometría pero con el objetivo de simplificar el montaje, permitiendo una alta modularidad con paneles de gran tamaño, de manera que el montaje in situ sea muy rápido, y además se reduzca el número de juntas a sellar en la obra, asegurando un mejor comportamiento de estanqueidad. **ROP**