



La revista de los
Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos

3564 ABRIL 2015

REVISTA DE
OBRAS PÚBLICAS

ROP

MONOGRÁFICO

Arquitectos e ingenieros. Insoslayable y poliédrica relación

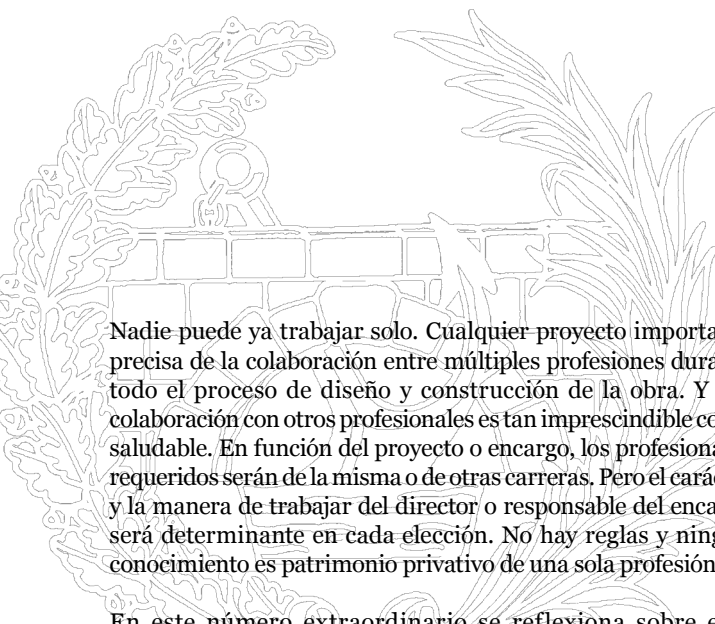
Coordinado por Pepa Cassinello y Carlos Nárdiz



Porque creemos que la innovación es la única manera de ser competitivos.
Porque creemos que el único mercado es el mundo entero.
Si crees como nosotros. **Creemos contigo.**

Sacyr

www.sacyr.com



Nadie puede ya trabajar solo. Cualquier proyecto importante precisa de la colaboración entre múltiples profesiones durante todo el proceso de diseño y construcción de la obra. Y esa colaboración con otros profesionales es tan imprescindible como saludable. En función del proyecto o encargo, los profesionales requeridos serán de la misma o de otras carreras. Pero el carácter y la manera de trabajar del director o responsable del encargo será determinante en cada elección. No hay reglas y ningún conocimiento es patrimonio privativo de una sola profesión.

En este número extraordinario se reflexiona sobre esta cuestión, en general particularizada al frecuente ejemplo de las estructuras de grandes edificios. Arquitectos e ingenieros se necesitan. Los buenos profesionales hacen muchas cosas y prefieren maximizar potencialidades, antes de trabajar aislados. Colaboran según su carácter y experiencia, no hay modelos fijos. La altiva arquitecta Hadid no tiene duda: puede dibujar cualquier cosa y siempre habrá un ingeniero que lo calcule y otro para construirlo. El conspicuo ingeniero Virgoleux recomienda añadir arquitectos al equipo de diseño para afrontar un puente: con ello los proyectos resultan más atractivos. Norman Foster tiene buenos ingenieros en su estudio, y en Ove Arup no faltan los arquitectos.

Varias de las colaboraciones aquí reseñadas son del tipo clásico: el arquitecto establece la forma y el ingeniero completa esa definición con los elementos imprescindibles para hacerla construable, tanto estructurales como de constructivos. Pero todo ello está cambiando hacia una interacción activa durante todo el proceso, desde los propios comienzos. La complejidad del proyecto actualmente exigido para un puente, edificio o cualquier otro tipo de obra es bastante mayor que hace un par de décadas. Y eso implica una retroalimentación constante, exige colaborar, no ya secuencialmente, sino durante todo el desarrollo del proyecto y la obra.

En cualquier caso, desde hace varias décadas, ingenieros y arquitectos aprenden unos de otros de manera sostenida. La magnitud de los proyectos y su ubicación en entornos muy complejos exigen unas actitudes de trabajo muy diferentes. Quienes tratan de progresar en su carrera, de hacer proyectos cada vez más interesantes o de participar en concursos donde acuden los grandes profesionales, no pueden permanecer ajenos a lo que ocurre en el mundo. Y para estar al día, tampoco pueden ignorar las bases de trabajo y los criterios profesionales de los demás profesionales.

Gracias al trabajo conjunto, la colaboración produce valor añadido a la propia actividad. Los proyectos mejoran tanto en arquitectura como en ingeniería, pues el desempeño de cada uno se enriquece con las aportaciones del otro. Los coordinadores de este número coinciden en ello. El artículo de la arquitecta Pepa Casinello incide significativamente en los muchos y excelentes ejemplos construidos a partir de la

colaboración. El del ingeniero Carlos Nárdiz, se manifiesta en el mismo sentido, aunque apunta recientes disfunciones.

Pero, como bien señala el ingeniero Manterola, arquitecto e ingeniero son bien distintos. E insiste en el reciente alejamiento, no ya práctico sino conceptual, en su obligada colaboración. Ciertos ingenieros parecen haberse entregado con armas y bagajes a lo que exigen algunos arquitectos. El arquitecto Lamela resalta la incidencia de la especialización en la demanda de colaboración: la 'Arquitectura de antaño' lo incluía todo. El ingeniero Corres apunta en la misma dirección y señala con ejemplos cómo puede corregirse la separación provocada por la especialización.

El ingeniero Mike Schlaich relata un proyecto de rápida ejecución, imposible de realizar sin una intensa colaboración. Tras colaborar muchos años, el arquitecto Rafael de La Hoz y el ingeniero Jiménez Cañas recalcan el interés de la aportación conceptual del otro desde el inicio del proceso y la importancia de meterse a fondo conjuntamente en el proyecto. Los arquitectos Paredes & Pedrosa relatan su colaboración con los ingenieros Gómez Gaité & Redondo, en un proyecto ganador del premio Eduardo Torroja sobre de Ingeniería y Arquitectura de 2014, establecido para fomentar la colaboración. El ingeniero Martínez Calzón reconoce la múltiple interacción conceptual con el arquitecto Carlos Rubio en dos proyectos recientes.

Por su parte, el ingeniero Jorge Bernabeu se focaliza en la capacidad de la estructura para generar soluciones arquitectónicas, convirtiéndose en la imagen representativa de terminales de transporte. Y el arquitecto César Portela se siente incapaz de separar ambas profesiones y trata de señalar las cualidades comunes concurrentes en ambas.

El ingeniero Alejandro Bernabeu describe el diseño de la estructura en términos arquitectónicos, como un proceso autónomo de ocupación del espacio a base de elementos de pequeño tamaño repetitivos y superpuestos. El arquitecto Soriano escribe sobre la misma obra en términos resistentes y estructurales, desarrollando entre ambos un ejercicio no ya de colaboración, sino de yuxtaposición profesional. En esa línea, cierra el número una aportación del Ingeniero Escrivá referida a la cada vez más difusa frontera entre ambas profesiones.

Los ejemplos propuestos por los autores ofrecen un rico muestrario de buena práctica profesional, una sólida contribución a una manera de hacer encaminada a la mejora de 'lo construido'. Sirva este término clásico como punto de encuentro para dos profesiones distintas con mucho en común, que ganan al acercarse y se empobrecen cuando se ignoran. La Revista de Obras Públicas se congratula en mantener su ya antiguo compromiso en ese acercamiento.

Miguel Aguiló

SUMARIO

EDITORIAL

MÁSTER

ARQUITECTURA

- 11** **Arquitectos e ingenieros**
Hitos de su colaboración tras la desaparición de las Casas de Vida
Pepa Cassinello
-
- 17** **Una mirada transversal a la arquitectura internacional**
Entre el soporte ingenieril y el manierismo geométrico
Carlos Nárdiz
-
- 27** **Arquitectos e ingenieros, ¿se parecen en algo?**
Javier Manterola Armisén
-
- 31** **La terminal T-4 del aeropuerto de Madrid-Barajas como referencia en la colaboración de arquitectos e ingenieros**
Antonio Lamela
-
- 39** **Arquitectos e ingenieros: una relación rica y llena de grandes oportunidades**
Hugo Corres Peiretti
-
- 45** **Sobre la buena colaboración entre arquitectos e ingenieros**
El Pabellón de Estado del aeropuerto de Barajas
Mike Schlaich
-
- 51** **Diálogo “constructivo” entre amigos**
Rafael de la Hoz Castanys y Jesús Jiménez Cañas
-
- 57** **¿Puede una estructura del siglo XXI construir el espacio de una villa romana del siglo IV?**
Paredes Pedrosa Arquitectos y Gogaite Ingenieros

La revista decana de la prensa española no diaria

Director
Antonio Papell

Redactora Jefe
Paula Muñoz

Fotografía
Juan Carlos Gárgoles

Publicidad
MM Mass Media
Hermosilla 64 6ºB
T. 91 431 08 39

Imprime
Gráficas 82

Depósito legal
M-156-1958

ISSN
0034-8619

ISSN electrónico
1695-4408

ROP en internet
<http://ropdigital.ciccp.es>

Suscripciones
<http://ropdigital.ciccp.es/suscripcion.php>
suscripcionesrop@ciccp.es
T. 91 308 19 88

Edita
Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Calle Almagro 42
28010 - Madrid



63 **La interacción arquitectura-estructura en dos importantes edificios de altura y un excursio acerca de la generalidad de dicha interacción en el momento actual**
Julio Martínez Calzón

73 **Ingeniería-arquitectura**
Carlos Rubio

77 **Determinantes funcionales en la concepción y construcción de grandes estaciones de transporte**
Jorge Bernabeu Larena

83 **Arquitectura e ingeniería**
César Portela

89 **Sobre el proceso de diseño: estructura de la ampliación del Palacio Euskalduna**
Alejandro Bernabeu Larena

95 **Ampliación Euskalduna Jauregia**
Federico Soriano

101 **Arquitecto o ingeniero, ¿dos caras de la misma moneda?**
Raúl Escrivá Peyró

Consejo de Administración

Presidente

Miguel Aguiló Alonso

Vocales

Juan A. Santamera Sánchez
José Manuel Loureda Mantiñán
José Javier Díez Roncero
Juan Guillamón Álvarez
Luis Berga Casafont
Roque Gistau Gistau
Benjamín Suárez Arroyo
José Antonio Revilla Cortezón
Francisco Martín Carrasco
Ramiro Aurín Lopera

Comité Editorial

Pepa Cassinello Plaza
Vicente Esteban Chapapriá
Jesús Gómez Hermoso
Conchita Lucas Serrano
Antonio Serrano Rodríguez

Foto de portada

Lake Shore Drive en primer término, Dewitt Chesnut Apartment en el medio y el John Hancock Center al fondo, en Chicago. Foto: Carlos Nárdiz





SÚMATE AL PROYECTO ONGAWA

TECNOLOGÍA / AGUA / PARTICIPACIÓN / TIC /
VOLUNTARIADO / ENERGÍA / AGRO / SOCIOS

Tfno.: (+34) 91 590 01 90
info@ongawa.org
www.ongawa.org

Antes:



ONGAWA es una asociación declarada de Utilidad Pública. Las cuentas de ONGAWA son auditadas anualmente por BDO Audiberia. ONGAWA cumple todos los Principios de Transparencia y Buenas Prácticas de la Fundación Lealtad. ONGAWA recibió, en 2005, la certificación ante la AECID como ONGD Calificada en el sector Tecnología

El Máster es un hecho

La correspondencia del título de Ingeniero de Caminos anterior a Bolonia

Desde que en abril de 2012 llegara a la dirección del Colegio la actual Junta de Gobierno, un objetivo ha prevalecido sobre el resto: la homologación del título a Máster. Un objetivo, casi una obsesión, que ahora ya es un hecho. Entonces, se abordó con toda intensidad el problema de titulación de los ingenieros egresados con anterioridad al proceso de Bolonia. Era necesario que se reconociera la equivalencia al máster del título de ingeniero de Caminos, dado que nuestra carrera ha constado en todo momento de cinco cursos como mínimo, y de más de 300 ECTS (créditos europeos). Era de justicia que así fuera y suponía recoger una inquietud de muchos compañeros que necesitaban este reconocimiento para encontrar una salida internacional a su carrera. Por otro lado, las empresas españolas con ingenieros de Caminos en sus plantillas necesitaban poder acreditar en las licitaciones la titulación de sus cuadros profesionales.

Una vez que se estableció en nuestro país el Marco Español de Cualificaciones para la Educación Superior (MECES), determinando cuatro niveles de titulación (técnico superior, grado, máster y doctor) era preciso que el Gobierno español comunicara a la Comisión Europea la equiparación de estos cuatro niveles a los ocho del Marco Europeo. En junio de 2012 se envió la primera misiva al ministro de Educación, Cultura y Deporte, José Ignacio Wert,



José Javier Díez Roncero, Juan A. Santamera, Soledad Becerril y José Manuel Loureda

de quien dependen las titulaciones universitarias. A esta gestión hay que añadir innumerables entrevistas con diputados nacionales, con políticos y autoridades estatales y con ingenieros de Caminos influyentes que podían ayudar a alcanzar el objetivo.

Con la colaboración de la diputada por Granada, Concepción Santa Ana, el presidente y el vicepresidente del Colegio mantuvieron una entrevista personal con el ministro, José Ignacio Wert, se formó un grupo de trabajo con la ANECA (la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación) y se estrechó el contacto del secretario general con la Subdirección General de Títulos y Reconocimiento de Cualificaciones.

Así durante el año 2013, se celebraron reuniones con la secretaria de Estado de Universidades, Montserrat Gomenio, y con la Defensora del Pueblo, Soledad Becerril.

En noviembre de ese mismo año, la práctica totalidad de asociaciones e instituciones relacionadas con la construcción y la ingeniería como Seopan, la Confederación Nacional de la Construcción (CNC), ANCI (Asociación Nacional de Constructores Independientes) y Tecniberia (Asociación Española de Empresas de Ingeniería, Consultoría y Servicios Tecnológicos), entre otras, dieron su apoyo total a los ingenieros de Caminos y a su Colegio para que el Gobierno equiparase su título profesional al nivel de Máster.



Fernando Benzo

El año 2014 se inició con una reunión con el subsecretario de Educación del Ministerio, Fernando Benzo, y el presidente del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Juan A. Santamera, el vicepresidente, José Manuel Loureda y el secretario general, José Javier Díez Roncero. En ella, se consiguió concretar el compromiso por parte del Ministerio de enviar el Real Decreto al Consejo de Estado y al Consejo de Universidades. Mientras tanto, el Ministerio puso a disposición de los colegiados que lo necesitaran un certificado de equivalencia al máster.

Durante el mes de marzo, el Colegio presentó alegaciones al borrador del Real Decreto sobre la equivalencia a Máster. Entre ellas destacaba la propuesta de tres disposiciones adicionales y un nuevo artículo.

En este periodo de tiempo también apoyó el Máster el Consejo Empresarial de la Competitividad y en el mes de agosto, entró en el Consejo de Estado el Proyecto de Real Decreto por el que



Consejo Empresarial de la Competitividad

se establecía el procedimiento para la correspondencia del título de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos a nivel de Máster. En opinión de esta institución se trata de una “norma necesaria para el fin pretendido siempre que se asegure su tramitación y aprobación urgente y se culmine el proceso con el pronto reconocimiento definitivo de la correspondencia del título de ingeniero de Caminos, Canales y Puertos al nivel de Máster”. En este sentido, el Colegio presentó una serie de alegaciones ante el Consejo de Estado:

- 1) Procedimiento automático y acortamiento de plazos
- 2) Sobre la correspondencia y sus efectos
- 3) Comunicación de equivalencia de niveles del MECES a niveles europeos EQF

El Dictamen por el Consejo de Estado era el último paso previo a la aprobación definitiva por el Gobierno del Real

Decreto en Consejo de Ministros. En noviembre de 2014, el Consejo de Ministros aprobó el Real Decreto que permitía la equiparación a Máster del título de ingeniero de Caminos anterior al Plan Bolonia.

A principios de este año se publicó un informe favorable del Consejo de Universidades al evaluar la correspondencia del título de ingeniero de Caminos, Canales y Puertos al nivel 3 del MECES.

El título pre Bolonia de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos es reconocido como equivalente a los actuales estudios de Máster. Así se recoge en dos decretos que el ministro del ramo, José Ignacio Wert, ha presentado a los rectores durante el Consejo de Universidades y que ha sido valorado positivamente por los rectores. Paralelamente, un nuevo RD de Educación establece que el nivel 3 (Máster) del Marco Español de Cualificaciones para la Educación Superior se corresponde con el nivel 7 del Marco Europeo de Cualificaciones. **ROP**

Repercusión en medios

Estos han sido algunos de los impactos que ha tenido en los medios de comunicación (prensa escrita, televisión, medios online) el desarrollo del proceso para la equivalencia del título de ingenieros de Caminos.



Intervención de Juan A. Santamera, presidente del Colegio, para hablar de los problemas que tienen los ingenieros españoles que cruzan la frontera para que les reconozcan el título.

TVE. 22/03/2013.
La tarde en 24 horas



La construcción se ha unido en pos del reconocimiento de la "maestría" de los ingenieros de Caminos apoyando así al Colegio, que ha presentado formalmente una solicitud al Gobierno.

Expansión, 25/10/2013.
Economía, página 34



Reunión entre Soledad Becerril, defensora del pueblo, y Juan A. Santamera, presidente del Colegio, junto con José Manuel Loureda, vicepresidente, and José Javier Díez Roncero, secretario general.

Tribuna de Juan A. Santamera titulada 'Ingenieros de Caminos y máster, un paso decisivo'.

Tribuna firmada por Juan A. Santamera, que lleva por título 'El Máster de Caminos, vital para la economía'. Equiparar el título a los de nivel de máster mejorará la empleabilidad de los ingenieros.

ABC. 26/10/2013.
Agenda

Expansión, 29/03/2014.
Opinión, página 38

La Razón, 10/06/2014.
Economía, página 36

La falta de homologación de títulos provoca pérdidas de 10.000 millones al año

Los ingenieros de caminos reiteran su apoyo al real decreto de Wert

GABRIEL FERRER Madrid
 La razón, como el colectivo de ingenieros viene explicando desde hace casi dos años, cuando empezó la implementación del Plan Bolonia, es que fuera de España los títulos equivalentes al de ingeniero son máster y, en este nivel, que de momento los españoles no pueden ostentar, se exige en la contratación laboral y en las licitaciones públicas. Lo que, debido a la falta de homologación, constituye un perjuicio a la "empleabilidad" de muchos ingenieros españoles y la competitividad de las empresas de nuestro país", advierte Santamera.
 Para dar una solución definitiva al problema, el decano de caminos reitera su "apoyo total" al borrador de real decreto. El proyecto, que no ha superado todavía el escrutinio de los informes que



Las empresas españolas de construcción e ingeniería pierden cada año 10.000 millones de euros en beneficios por no poder contar con ingenieros cuyos títulos estén homologados.

Cinco Días. 01/07/2014.
Economía&Profesionales,
página 26

Entrevista del presidente del Colegio, Juan A. Santamera, en La tarde en 24 horas.

TVE. 13/05/2014.
La tarde en 24 horas

SOS de los ingenieros a las grandes empresas. El Santander trasladará sus peticiones a los foros donde crea que es oportuno.

Cinco Días, 06/05/2014.
Economía&Profesionales,
página 31



Intervención de la vicepresidenta del Gobierno, Soraya Sáenz de Santamaría, en la jornada 'Cambio en el horizonte económico: recuperación y empleo', con motivo del 60 aniversario del Colegio.

28/01/2015.



Los ingenieros de Caminos y los ingenieros en Informática que obtuvieron sus títulos antes de la implantación del llamado Plan Bolonia ya tienen correspondencia en el Mecos.

Cinco Días. 24/04/2015.
Web



Mediante cuatro acuerdos, el Ejecutivo cumple así con el real decreto que en noviembre de 2014 regulaba las homologaciones para las titulaciones de ambos sistemas.

El Economista. 24/04/2015.
Web

Arquitectos e ingenieros

Hitos de su colaboración tras la desaparición de las Casas de Vida



Pepa Cassinello

Doctora arquitecta.

Directora de la Fundación Eduardo Torroja

Resumen

Ser arquitecto o ser ingeniero son dos cosas muy diferentes, porque diferentes son sus cometidos profesionales en la sociedad actual. Pero hubo un tiempo, ya muy lejano, en el que la arquitectura y la ingeniería civil fueron una única disciplina, que estaba destinada a realizar cualquier tipo de construcciones. Fue en el Antiguo Egipto, donde aunque les llamaron arquitectos, eran formados en las Casas de Vida como arquitectos e ingenieros.

Hoy, pese a sus diferentes formaciones, tienen parcelas de interés común, y la historiografía nos demuestra que su colaboración no cesa de producir un sin fin patrimonial de icónicas innovaciones teñidas del color de la pluralidad profesional.

Palabras clave

Arquitecto, ingeniero, estructura resistente, forma geométrica

Abstract

Architects and engineers are currently held to be two very different professions conducting different roles. However, there was a time in the distant past when architecture and civil engineering were just one discipline responsible for all types of buildings. This was the case of Ancient Egypt where the profession known as "architects" were educated in the Houses of Life as architects and engineers.

Nowadays, in spite of their different education and training, these professions have many areas in common and throughout history the collaboration between the two has produced a vast wealth of iconic innovations imbued with the colour of this professional plurality.

Keywords

Architect, engineer, robust structure, geometric form

Introducción

El ADN del arquitecto es diferente al del ingeniero civil, porque diferente es la información y el conocimiento almacenado en las moléculas que actúan en sus anhelos, pensamientos y miradas profesionales. Mientras que la arquitectura se encarga del diseño y construcción del hábitat del hombre: viviendas, hospitales, museos, teatros, oficinas, colegios, mercados...; la Ingeniería Civil se ocupa fundamentalmente del desarrollo y construcción de las infraestructuras del territorio: puentes, carreteras, viaductos, presas, depósitos, puertos... Son, por ello, dos disciplinas muy distintas, pese a que ambas pertenezcan al campo de la construcción y aunque existan algunas insoslayables parcelas de interés común y situaciones que demandan o propician la colaboración entre ambas.

Pero antes de tejer una breve reflexión sobre su colaboración, es interesante recordar que hubo un tiempo, ya muy

lejano, en el que la arquitectura y la ingeniería civil fueron una única disciplina, que estaba destinada a realizar cualquier tipo de construcciones, con independencia de que se tratara de un templo o de un dique. Los llamados arquitectos del Antiguo Egipto eran además ingenieros, escultores y, en muchos casos, incluso médicos y astrónomos, como lo fue el célebre Senmut, autor del asombroso Templo de Abu Simbel (siglo XIII a. C.), hoy Patrimonio de la Humanidad. Fue Ramsés quien ordenó construirlo para conmemorar su victoria en la batalla de Kadesh. Un memorable legado que pone de manifiesto los plurales conocimientos de su arquitecto. El templo contó no sólo con una impactante fachada escultórica de piedra granítica de 33 m de altura, sino también con la mayor cúpula excavada en una montaña jamás realizada por el hombre. Y por si fuera poco, la puesta en escena del templo consiguió su primordial objetivo, disipar cualquier duda del pueblo egipcio sobre la divinidad de su faraón. Y es que –como por orden divino– dos veces al año, los rayos

del sol penetran en el templo hasta el fondo, iluminando las estatuas de tres de los cuatro dioses que presiden la más profunda cámara del templo: Amón, Ra y Ramsés, mientras que el dios de la oscuridad, Path, permanece en la penumbra. La cuestión es que parece ser que, precisamente, este fenómeno de luz ocurre dos días muy significativos para Ramsés: el de la batalla de Kadesh y el de su cumpleaños. Una asombrosa puesta en escena en la que hasta la luz del sol parecía obedecer al faraón¹.



Fig. 1. Templo de Abu Simbel, siglo XII a.C.

Sin duda, el ADN de estos ‘especiales arquitectos’, estaba lleno de variados y entrelazados conocimientos. Su formación la realizaban en unas escuelas especiales llamadas Casas de Vida, una especie de universidades minoritarias, en las que recibían clases de diferentes disciplinas y en las que la filosofía y la religión ocupaban gran parte de su tiempo. A estas Casas de Vida tan sólo accedían unos pocos alumnos muy especiales, que eran seleccionados con sumo cuidado, dado que estaban destinados a almacenar en su memoria el conocimiento que posteriormente debería ser transmitido a las generaciones futuras. Al final de su aprendizaje sabían tanto que no es de extrañar que a muchos de ellos, como a Senmut, los consideraran dioses.

Tras la desaparición de las Casas de Vida, diferentes civilizaciones del mundo continuaron aunando en un solo oficio la arquitectura y la ingeniería. Una larga y apasionante historia de la construcción civil y arquitectónica de la que aquí sólo podemos extraer unas muy breves pinceladas. A esta estirpe de arquitectos-ingenieros perteneció Sóstrato de Cnido, del periodo Helenístico, autor del desaparecido del Faro de Alejandría (siglo III a.C./altura entre 115 m y 150 m),

una de las Siete Maravillas del Mundo Antiguo. Y saltando en el tiempo y el espacio, también los ‘maestros medievales’ que construyeron las catedrales góticas lo fueron. Es sobradamente sabido que –buscando la luz– construyeron bóvedas nervadas de crucería que dirigen los empujes resultantes al sistema de contrarresto, liberando la fachada de su función portante. Construyeron la estructura en altura más prodigiosa jamás realizada en piedra, dotándola incluso de mecanismos especiales antisismo². Se trata de una proeza nacida de la simbiótica armonía entre el innovador espacio arquitectónico presidido por la luz y su esqueleto de piedra. También lo fue Leonardo da Vinci, que trasgrediendo profesiones y disciplinas, se convirtió en uno de los genios de la Historia de la Humanidad. Seguramente, de haber nacido en el Antiguo Egipto, hubiera sido alumno destacado de la Casa de Vida y posteriormente adorado como un dios.

Pero hoy las cosas son muy diferentes para los arquitectos y los ingenieros, como para todos los integrantes de la sociedad, en la que las diferentes disciplinas están integradas por muy diversos especialistas, que se reparten los extensos y poliédricos conocimientos alcanzados por la ciencia y la tecnología. Sin embargo, en sus escuelas técnicas superiores –arquitectura e ingeniería– existen asignaturas basadas en algunos conocimientos comunes, pese a sus diferentes programas y alcance. La que mayor repercusión tiene en el ámbito profesional es la de ‘Estructuras de Edificación’ que, en edificios especiales, demanda la colaboración de ingenieros estructuralistas en la arquitectura.

No en vano, Eduardo Torroja –referente de la ingeniería española–, catedrático de Estructuras en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos y defensor de la estrecha colaboración entre la arquitectura y la ingeniería civil, aglutinó la investigación y desarrollo de ambas disciplinas en el que se denominó Instituto Técnico de la Construcción (1934), hoy Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas. El lema que reza en su puerta define con rotunda claridad el apoyo a la colaboración pluriprofesional de este centro: “*Técnicas Pluses Opera Unica*”.

Eduardo Torroja integró además en su instituto la participación de otras disciplinas, que como la pintura y la escultura, reforzaban la reivindicación de “la técnica como arte”³. De

alguna manera, creó un nuevo tipo de Casa de Vida donde la aglutinación de la pluralidad reconstruía el poliédrico conocimiento completo del mundo de la construcción unido al arte. No es de extrañar que este instituto dirigido por Eduardo Torroja se convirtiera en el buque insignia de la investigación internacional durante las doradas décadas de la modernidad.

De la colaboración entre arquitectos e ingenieros

No es posible enhebrar en una sola aguja la poliédrica colaboración profesional entre arquitectos e ingenieros acaecida a lo largo de los siglos, pero es un hecho que de esta colaboración, al igual que cuando se trataba de una misma profesión, han surgido multitud de admirables e innovadores edificios, algunos tan icónicos como las Maravillas del Mundo Antiguo.

Una de las más frecuentes, y por ello la que cuenta con una mayor historiografía, es la colaboración de ingenieros estructuralistas en la arquitectura. La necesidad surge en torno a algunos tipos de edificios, fundamentalmente de grandes dimensiones, altura o luces de vano, como es el caso de los rascacielos y de los estadios de fútbol; así como otros que, aún siendo de reducidas dimensiones el hábitat arquitectónico –como si se trata de un puente–, está definido, de manera rotunda, por la propia forma resistente de su estructura que, en un solo gesto, integra y define el espacio habitable. Éste último es el caso de las icónicas Estructuras Laminares de la Arquitectura Moderna –*Thin Concrete Shells*–, de las posteriores Estructuras Ligeras a tracción,

y de la última generación de muchas de las formas libres espaciales que inundan hoy nuestras ciudades.

Por otra parte, hay dos maneras diferentes en las que la estructura resistente se incorpora a estos edificios; cuando la estructura es determinante de la forma espacial de la arquitectura, e incluso de su imagen, y cuando la estructura no solo no es determinante de la arquitectura, sino que además suele estar oculta.

De lo que la estructura impone en la forma de la arquitectura

Los rascacielos –de primera y última generación– son el más claro ejemplo de edificio dependiente de su estructura resistente, dado que su gran altura demanda una concepción especial que ha de resistir las fuertes cargas dinámicas producidas por el viento, influyendo de manera determinante en la generación espacial del edificio y en sus fachadas. Son edificios que han alcanzado una prodigiosa evolución, protagonizada por el ingeniero estructural, que es quien ha hecho posible su existencia; pero que, como todo hábitat, ha necesitado del arquitecto para ser habitable porque un rascacielos no es sólo una estructura. De esta necesaria colaboración arquitecto-ingeniero han surgido icónicos referentes que acuden ahora a nuestra memoria. Baste recordar algunos muy diferentes referentes de su evolución: el mítico Edificio Seagram de Nueva York (1957/Mies Van Der Rohe y Philip Johnson-Severud Associates ingeniero estructural/ 157 m), el desaparecido World Trade Center de Nueva York (1966-1975/ Minoru Yamasaki-Leslie E Robertson/ 526,3 m), el innovador Swiss Re. de Londres (2010/Norman Foster y



Fig. 2. Rascacielos: Edificio Seagram (1957); World Trade Center (1975); Swiss Re. de Londres (2010); Burj Khalifa (2010)

Arup/180 m), o el Burj Khalifa (Burj Dubai), actual récord de altura con 828 metros (2010/Adrian Smith y SOM-Bill Baker ingeniero estructural)⁴.

También es determinante –en la forma geométrica del edificio– la estructura resistente de la mayor parte de los edificios que cuentan con grandes luces de vano, máxime si su estructura se integra en la piel del edificio de manera visible. Un referente del siglo XXI es el Estadio Olímpico de Pekín (2008/330 m x 220 m y 69 m de altura), conocido como ‘el nido de pájaro’, proyectado por los arquitectos Herzog & De Meuron, los ingenieros Arup Sport y el China Architecture Design and Research Group, contando con la colaboración del escultor Ai Weiwei. Otro ejemplo, pero de reducido tamaño, es el Serpentine Gallery Pavilion (2002/Toyo Ito, Cecil Balmod y Arup), cuya fachada estructural se construyó con una cinta de acero que se quiebra definiendo una retícula irregular de triángulos y trapecios. Una caja de acero y vidrio que parece flotar en el espacio. Referentes de una perfecta simbiosis entre la forma resistente y la forma espacial del edificio y su icónica imagen, que construyen la tercera dimensión de manera discontinua.



Fig. 3. Estadio Olímpico de Pekín (2008)



Fig. 4. Serpentine Gallery Pavilion (2002)

Pero, sin duda, el mayor hito de la influencia de la estructura resistente en la forma de la arquitectura fueron las Estructuras Laminares de la Arquitectura Moderna. Una aventura tecnológica de la modernidad en la que arquitectos e ingenieros buscaron la más eficaz, ligera y desnuda forma resistente, aprovechando las características adecuadas del hormigón armado y la desnudez anhelada –*less is more*–. En ellas, la forma resistente es, a su vez, la forma de la arquitectura. Entre sus más admirados referentes destacan las tres cubiertas laminares más conocidas de Eduardo Torroja⁵, que nacieron integradas en tres edificios en los que intervinieron diferentes y destacados arquitectos: el Mercado de Algeciras, el Frontón Recoletos y el Hipódromo de la Zarzuela. Tres ejemplos en los que el protagonismo alcanzado, a nivel internacional, corresponde de manera indudable a las cubiertas de Eduardo Torroja. Al igual que la autoría del restaurante Los Manatales de Xochimilco, una de las estructuras laminares de mayor esbeltez jamás construida (30 m luz de vano y 4 cm de espesor), es del arquitecto Félix Candela⁶. Un extenso legado producto, en gran medida, de la colaboración entre arquitectos e ingenieros, del que otro referente es el famoso y desaparecido Pabellón Philipp (1958) de Le Corbusier, Iannis Xenakis y el ingeniero estructural Hoyte Duyster. También adquirieron este mismo protagonismo las posteriores estructuras ligeras. Uno de sus máximos iconos es el Estadio Olímpico de Munich del arquitecto Frei Otto y el ingeniero Jörg Schlaich. La más asombrosa e innovadora cubierta ligera, referente de cuantas nacieron tras ella y que la oficina alemana Schlaich Bergerman und Partner continua liderando en gran medida en la actual vanguardia internacional⁷.



Fig. 5. Mercado de Algeciras



Fig. 6. Restaurante Los Manantiales

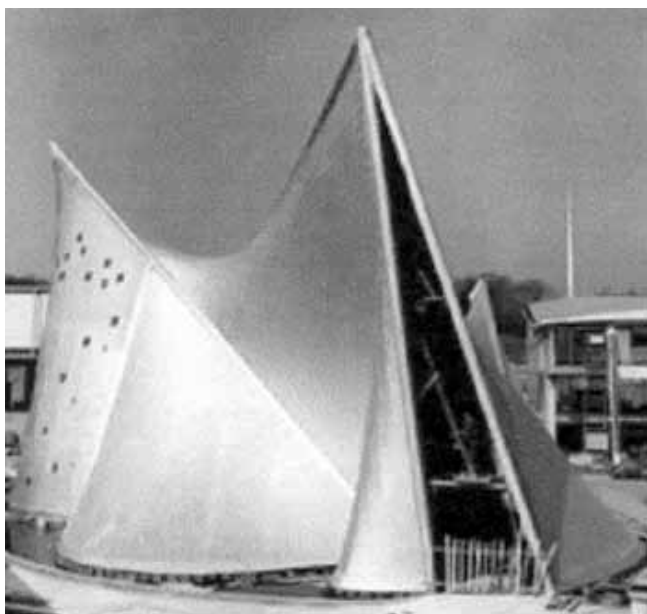


Fig. 7. Pabellón Philipp

De la dictadura de la forma arquitectónica

Hay otros casos en los que la arquitectura se genera al margen de su estructura resistente, y posteriormente el ingeniero tiene la ardua labor de buscar la mejor solución para hacer viable su construcción. Una estructura generalmente oculta y por ello despojada de protagonismo. Éste fue el caso de la Estatua de la Libertad de Nueva York (1875-1886), uno de los más famosos iconos de los Estados Unidos a nivel internacional, que alcanza una altura total de 93 metros. Su forma fue diseñada por el escultor Frédéric Auguste Bartholdi, en el proyecto arquitectónico intervino también Eugène Viollet-le-Duc y su estructura portante la realizó el célebre ingeniero francés Alexandre Gustave Eiffel. Una magnífica estructura de hierro recu-

bierto de cobre, oculta en el interior de la estatua. Hito nacido de la colaboración de relevantes profesionales del siglo XIX procedentes de diferentes disciplinas.



Fig. 8. Estatua de la Libertad de Nueva York

Este mismo tipo de colaboración es el que existe hoy en los edificios de la vanguardia del deconstructivismo del siglo XXI, que son proyectados por sus arquitectos como gigantes esculturas habitables con vocación de iconos, cuyas caprichosas formas geométricas son a veces de difícil representación, si no fuera por los avances de los programas informáticos de diseño. Los arquitectos Zaha Hadid y Frank Gehry son dos magníficos representantes de esta tendencia –la dictadura de la forma–, en la que la colaboración del ingeniero es la misma que realizó Eiffel en la Estatua de la Libertad. Las estructuras resistentes de estas complejas geometrías se resuelven habitualmente con entramados espaciales metálicos que se adaptan a las formas no convencionales. Su montaje es rápido y permite optimizar la compleja secuencia del proceso de construcción. Cuando el binomio arquitecto-ingeniero está en manos de relevantes profesionales, se obtienen admirables e innovadores edificios. Como el fabuloso Centro de Ciencia Phaeno de Wolfsburg de Zaha Hadid (2005) cuyos ingenieros estructurales fueron AKT Adams Kara Taylor y Tokarz Freirichs Leipold. O el sorprendente Museo Guggenheim de Bilbao de Frank Gehry, siendo la ingeniería estructural del proyecto SOM y de la obra IDOM⁸.

Y ahora que ya tengo que terminar de escribir, acude otra vez a mi memoria el Gran Templo de Abu Simbel. Esta vez para recordar la ya mítica colaboración internacional de arqueólogos, arquitectos⁹ e ingenieros realizada en 1960 para salvarlo de quedar para siempre sepultado bajo las aguas del Nilo en una “mutilante oscuridad”. La audaz co-



Fig. 12. Museo Guggenheim de Bilbao



Fig. 11. Centro de Ciencia Phaeno de Wolfsburg

laboración de arquitectos e ingenieros del siglo XX consiguió, no sólo salvar las fábricas pétreas que dieron forma y soporte estructural al espacio habitable, realizando su traslado mediante una meticulosa anastilosis, sino que también salvaron el fenómeno de luz del sol que fue su “razón de ser”. Una admirable colaboración que legó a las generaciones futuras, no solo un tipo de espacio para el culto y una impactante imagen, sino también el sentir que transmite su arquitectura. **ROP**

Notas y referencias

[1] Hawass, Z. A; Hosni, F.; Hosni, H L F. (2001): '*Mysteries of Abu Simbel: Ramesses II and the Temples of the Rising Sun*'. American University. El Cairo.

[2] Cassinello, P. (2004): 'Trazado y Estabilidad de las Catedrales Góticas'. Cuadernos INTEMAC nº53

[3] Torroja, E. (1958): '*Art and Artist*'. Cambridge University Press.

[4] Javier Manterota ha realizado un interesante análisis de sobre 'La Estructura en la Arquitectura Actual' publicado en varios artículos en la revista Informes de la Construcción del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.

[5] Torroja, E. (1958): 'Las estructuras de Eduardo Torroja'. Ministerio de Fomento. CEDEX. 1999.

[6] Cassinello, P. (2010): Félix Candela/Centenario-Centenary. Edición Fundación Juanelo Turriano

[7] Bögle, A.; Cachola, P.; Cassinello, P. (2011): Schlaich Bergerman und Partner. *Light Weight Structures/ Estructuras Ligeras*. Catálogo de la exposición en versión española. Edición Universidad Politécnica de Madrid

[8] Estructura premiada por la Asociación de Ingenieros de Estructura de los Estados Unidos.

[9] La propuesta del arquitecto y arqueólogo italiano Piero Gazzola fue la aprobada por la UNESCO.

Una mirada transversal a la arquitectura internacional

Entre el soporte ingenieril y el manierismo geométrico



Carlos Nárdiz

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Resumen

A través de la arquitectura internacional, desde mediados del siglo XX (aunque podríamos remitirnos también a la primera mitad), se puede seguir la colaboración que se ha producido entre arquitectos e ingenieros (fundamentalmente estructurales) para proyectar y construir las obras de arquitectura más significativas. La aportación de la ingeniería a la búsqueda de la ligereza en las cubiertas, modificando las soluciones estructurales anteriores y las propuestas también de la arquitectura para construir en las fronteras del conocimiento, manifestadas no solo en las mallas espaciales y en las cubiertas colgantes, sino también en la transformación estructural de los edificios de altura, nos relaciona con una arquitectura en la que el soporte ingenieril ha estado muy presente. Cuando este soporte se ha querido transmitir como imagen tecnológica de la arquitectura, a partir de finales de los años 60, incluyendo la imagen exterior de las instalaciones, los accesos a los edificios y las soluciones estructurales de los cierres de vidrio, la arquitectura ha necesitado más que nunca del apoyo de la ingeniería en la búsqueda de soluciones innovadoras, al servicio de planteamientos arquitectónicos. En etapas más cercanas, ya en el nuevo siglo, en la que el manierismo geométrico ha dominado la imagen de la arquitectura, la ingeniería, siempre complementaria, se ha puesto al servicio de la arquitectura, produciéndose, a veces, contradicciones entre la racionalidad estructural y la imagen formal de los edificios.

Palabras clave

Arquitectos e ingenieros, cubiertas, edificios de altura, geometrías complejas

Abstract

By tracing international architecture from the mid-20th century (and possibly even further back to the early 1900s) we may appreciate the collaboration between architects and engineers (essentially structural engineers) in the design and construction of the most significant works of architecture. The contribution of engineering in the search for ever lighter roof structures, the modification of earlier structural solutions and architectural proposals for structures at the very boundaries of knowledge, as manifested not only by space frames and suspended roofs, but also by the structural transformation of tall buildings, reveals an architecture heavily influenced by engineering. From the end of the sixties and when attempting to transmit this influence as a technological image of architecture, including the external image of the building systems, the accesses to the buildings and the structural glazing solutions, architecture has required the support of engineering more than ever in the search for innovative solutions at the service of architecture. In more recent times, and now in the present century, geometrical mannerism has dominated the image of architecture and the ever-present support of engineering has been brought to the aid of architecture to produce sometimes contradictory results between structural rationality and the formal image of buildings.

Keywords

Architects and engineers, roofing, tall buildings, complex geometries

1. Introducción

Los arquitectos del Movimiento Moderno, en las primeras décadas del siglo XX, al separar el esqueleto resistente del cierre exterior, modificaron el papel que había jugado el muro en la arquitectura tradicional, contribuyendo a desmaterializar el edificio de viviendas y oficinas y ofreciendo una imagen exterior de geometrías puras y planos superpuestos a la que

era fácil adaptar la estructura resistente. El modelo lo habían tomado de los primeros rascacielos, fábricas, mercados, estaciones, galerías o palacios de exposiciones, en los que la ingeniería tenía una fuerte presencia, que reinterpretaron en función de los nuevos lenguajes que ofrecían las artes visuales ligados a la estética de la máquina. Detrás de maestros de la arquitectura como Frank Lloyd Wright, Mies van

der Rohe o Le Corbusier, se encontraban ingenieros poco conocidos como Joseph Polivka, Frank V. Kornacker o Vladimir Bodiensky, para que, sobre todo a partir de los años 40, pudiesen acometer obras como el Museo Guggenheim en Nueva York, las torres de Lake Shore Drive en Chicago, o las diferentes unidades de habitación a partir de Marsella. Igual ocurrirá con el arquitecto Louis Kahn en sus relaciones conflictivas en los años 50 y 60 con el ingeniero August Komendant, conocidas por el libro que éste publicó en 1975 sobre sus 18 años de colaboración en los principales proyectos de Kahn, como los laboratorios de investigación de la Richards Medical en Filadelfia, utilizando la prefabricación.

Los ingenieros, por otra parte, de forma autónoma o en colaboración con arquitectos, encontrarán en la búsqueda de la ligereza de las cubiertas desde las primeras décadas del siglo XX, su principal contribución a la arquitectura, primero a través de las posibilidades que ofrecía el hormigón armado para la construcción de estructuras laminares y, después, a partir de mediados del siglo XX, con las estructuras espaciales de barras de acero y las cubiertas colgantes con redes de cables atirantados o pretensados. A ellas se unirán también, desde finales de los años 50, las transformaciones estructurales de los edificios altos, trasladando la resistencia al perímetro de los edificios, y las distintas soluciones de los muros cortina como imagen de la transparencia entre el interior y el exterior.

La arquitectura, que venía reconociéndose en la imagen tecnológica de la ingeniería, de la producción en serie, de los nuevos materiales como los perfiles de acero y aluminio, el hormigón pretensado, las chapas metálicas plegadas, las distintas variedades del vidrio, los polímeros, etc. dio un salto de escala a partir de finales de los años 60, cuando con el llamado *'high tech'* incorporó lenguajes de diseño y constructivos provenientes de la industria del transporte, de la ingeniería estructural de los puentes, de las fábricas o de las instalaciones de los edificios como imagen tecnológica de la arquitectura, que hizo aún más indispensable la colaboración con los ingenieros.

Fue posiblemente la Ópera de Sydney en los años 60, con las relaciones conflictivas que se produjeron entre el arquitecto, la ingeniería y la Administración, el edificio que supuso un punto de inflexión en las relaciones entre la arquitectura y la ingeniería al servicio de formas geométricas complejas, en donde la ingeniería comenzó a tener una presencia mediática que se consideró fundamental para que la arquitectura internacional avanzara con nuevas geometrías, que necesitaban

también de la innovación tecnológica, aunque gran parte del resto de la arquitectura actual, de carácter nacional o local, se siga apoyando todavía en las técnicas tradicionales.

2. La búsqueda de la ligereza en las cubiertas

La experiencia de las primeras décadas del siglo XX en láminas de hormigón armado, desde Dischinger a Torroja, y que se continuará a lo largo de los años 40, e incluso 60, desde Nervi a Esquillan y Candela, va a sufrir un cambio de materiales y tipológico a partir de los años 50, cuando ingenieros como Robert Le Ricolais y Z.S. Makowski, inventores como Buckminster Fuller y arquitectos como Konrad Wachmann o Frei Otto, empiecen a experimentar con las estructuras espaciales, las cúpulas geodésicas, las estructuras *'tensigrity'* y las cubiertas colgantes. Antes, ingenieros como Fred N. Severud, colaborando con el arquitecto Matthew Nowicki (que murió en 1950), habían conseguido cubrir el recinto del Raleigh Arena con una red de cables pretensados desde dos arcos inclinados, experiencia que repitió Severud con el arquitecto Eero Saarinen en el Ingalls Hockey Rink en New Haven (fig. 1), terminado en 1958, en este caso desde un solo arco central.

Aunque en los años 50 las láminas de hormigón armado seguían inspirando todo tipo de formas, como le ocurrió al arquitecto Jörn Utzon en el concurso que ganó en 1957 para la Ópera de Sydney, con la cubierta en forma de velas que Candela, Nervi y Torroja consideraron imposible de construir, hasta que cuatro años después, a partir de la forma esférica, la ingeniería Ove Arup and Partners encontró la forma de construirlas como estructuras nervadas pretensadas, las estructuras ligeras con barras o cables de acero se estaban



Fig. 1. Ingalls Hockey Rink, en New Haven. Foto: C. Nárdiz

imponiendo ya para la cubrición de grandes luces. La exposición de Montreal, en 1967, tuvo en la cúpula geodésica del pabellón americano de Buckminster Fuller, y en la estructura atirantada del pabellón alemán de Frei Otto, sus principales iconos. Tres años después, el arquitecto Kenzo Tange que con el ingeniero Yoshikatsu Tsubai había cubierto las instalaciones deportivas de los juegos olímpicos de Osaka en 1964 con estructuras de redes de cables (siguiendo las enseñanzas de Severud), cubría con una megaestructura espacial de barras la plaza de las Expo de Osaka en el año 70, que permitió pensar en ciudades utópicas con cubiertas ligeras de mallas de barras, como defendía Yona Friedman como apoyo a su arquitectura móvil.

El desarrollo de las estructuras ligeras, a partir de los años 60, tuvo también mucho que ver con la aplicación de los métodos analíticos con ordenador, que empezarán a resolver la indeterminación de los cálculos con derivadas parciales, a los que se añadieron las posibilidades de los nuevos métodos matriciales, en donde la arquitectura, no solamente en el aspectos constructivo de las distintas soluciones a los nudos, barras, anclajes y tirantes, tendrá un evidente soporte en los encuentros estructurales de la ingeniería. A las mallas espaciales de barras y a las cubiertas atirantadas y colgadas, se unirán en esos años las estructuras neumáticas con las que el ingeniero americano Walter Bird conseguirá cubrir grandes estadios, y el también ingeniero David Geiger, que había proyectado con este tipo de estructuras el pabellón de los Estados Unidos en 1970 de la feria de Osaka, conseguirá cubrir también grandes recintos con las estructuras 'tensigrity' que había patentado Buckminster Fuller en 1950, como el pabellón Olímpico de Seúl en 1988.

Los arquitectos, a partir de los años 60, se mirarán en las imágenes de las estructura ligeras para salvar grandes luces. La imagen de los Juegos Olímpicos de Múnich en 1972, serán las cubiertas atirantadas del estadio, la piscina olímpica y el hall de entrada, después del concurso ganado en 1967 (en el mismo año que la feria de Montreal) por el arquitecto Günter Behnisch que necesitó para llevarlas a cabo el asesoramiento de Frei Otto y la definición constructiva y estructural por parte de la consultora de ingeniería Leonhard und Andrä, en la que trabajaban dos jóvenes ingenieros Jörg Schlaich y Rudolf Bergermann, que fueron en realidad los que consiguieron materializarlas. Los problemas derivados de la definición geométrica de las mallas de membranas, la normalización de elementos constructivos (incluidos los nudos y los anclajes) y la definición del anillo perimetral interior para recoger los



Fig. 2. Cubierta del estadio olímpico de Múnich. Foto: C. Nárdiz

atirantamientos de las mallas que complementase los mástiles inclinados exteriores, fueron aportaciones ingenieriles apoyadas en cálculos y ensayos con modelo reducido, para resolver las geometrías complejas de la cubierta del estadio (fig. 2).

Los proyectos de Schlaich y Bergermann, a partir de los años 80, en colaboración con los arquitectos, se reconocen también en las láminas de rejilla de acero y cristal, heredadas de las cúpulas geodésicas de Buckminster Fuller, con mallas triangulares o rectangulares rigidizadas por cables diagonales, de una gran transparencia, como las que han ido cubriendo patios como el del Museo de Historia de Hamburgo (1989) e incluso espacios de estaciones, como la Estación Central de Berlín (fig. 3), de acuerdo con el concurso ganado



Fig. 3. Cubierta de la Estación Central de Berlín. Foto: C. Nárdiz

en 1995 por el arquitecto Meinhard von Gerkan, especializado en proyectos de estaciones y aeropuertos, incluido el propio aeropuerto de Stuttgart, con sus estructuras arborescentes de sostenimiento de la cubierta. Las mallas de rejillas triangulares se han convertido hoy en una imagen de las cubiertas ligeras, adaptables a todo tipo de formas, como la que el arquitecto Norman Foster y la ingeniería Buro Happold proyectaron en 1994 para cubrir el patio del Museo Británico en Londres, terminada en el año 2000.

Decía Frei Otto que la mejor construcción es aquélla que emplea el mínimo de energía y material, y que construir significa hacer arquitectura real en las fronteras del conocimiento. La ingeniería y la arquitectura han venido dando, desde los años 50, con las cubiertas ligeras, una respuesta a esas fronteras del conocimiento y sus realizaciones, que se prolongarán en los años 80 con membranas pretensadas como en el aeropuerto de Jeddah en Arabia Saudí, proyectado por los ingenieros Fazlur Khan (dentro de SOM) y Horst Berger; son la expresión de las posibilidades de colaboración entre la ingeniería y la arquitectura.

3. La transformación estructural de los edificios de altura

La imagen de los esqueletos resistentes de las estructuras metálicas reticulares de los primeros rascacielos en el Loop de Chicago, a finales del XIX, y la forma en que quedaban reflejados en las fachadas, excitaron la imaginación de Mies van der Rohe con sus dibujos de las torres en los años 20 en Berlín, que no conseguirá concretar hasta finales de los años 40, ya en América, con los apartamentos 860/880 Lake Shore Drive, también en Chicago, en los que la estructura metálica reticular resistente, revestida de hormigón para protegerla contra el fuego, se complementa con el muro cortina de la fachada, en el que los montantes de los perfiles laminados que enmarcan el vidrio contribuyen a acentuar la verticalidad del edificio. Los apartamentos, con 29 plantas, terminados en 1951, se convertirán en el modelo de las torres de viviendas y oficinas que Mies repetirá en Chicago, Detroit, Toronto o Nueva York, como el edificio Seagram en Park Avenue, terminado seis años después, con 39 plantas, casi enfrente de la Lever House, con la que SOM en 1957 había mostrado la nueva imagen de las torres de oficinas, en la que se reconocerán a partir de entonces las corporaciones que van a dominar el cielo de las ciudades americanas.

Con la sucesión de pórticos metálicos uniformemente espaciados, y nudos rígidos complementados con arriostramientos en los núcleos de escaleras y ascensores para resistir las

cargas laterales (viento y sismos), Mies había llegado a las 46 plantas del Toronto Dominion Center, terminado a finales de los años 60, y lo mismo había hecho la consultora de arquitectura e ingeniería SOM con otras torres que compartían el lenguaje racional de Mies, hasta que a partir de finales de los años 50 los ingenieros Myron Goldmith, que había presentado en 1953 en el IIT de Chicago una tesis sobre los efectos de la escala en los edificios altos apoyada en las experiencias de D'Arcy Thompson sobre el crecimiento y la forma, y Fazlur R. Khan, investigando sobre la eficiencia y la disminución del peso de las estructuras metálicas en estos edificios, mostraron, que al igual que en los puentes, sí se aumentaba la altura del edificio había que modificar el sistema estructural.

La concentración de la estructura que hacía Goldmith en su tesis en la periferia del edificio y que implicaba la concentración de pilares en la periferia del mismo, o la disposición de diagonales a medida que aumentaba la altura, pudieron ponerla en práctica Goldmith y Khan, trabajando dentro de SOM, en edificios de hormigón como el Dewitt Chesnut Apartment Building o el Brunwich Building, ambos en Chicago, terminados a mediados de los años 60 y, sobre todo, el John Hancock Center (1969) con estructura metálica y usos mixtos residenciales y de oficinas, en donde la participación del arquitecto Bruce Graham y el ingeniero Fazlur R. Khan fue fundamental para conseguir una estructura tubular metálica de 100 plantas, con diagonales exteriores para resistir los esfuerzos horizontales, que todavía domina el cielo de Chicago (fig. 4). El '*premium for height*' con el que Khan mostraba



Fig. 4. Lake Shore Drive en primer término, Dewitt Chesnut Apartament en el medio y el John Hancock Center al fondo, en Chicago. Foto: C. Nárdiz

la reducción del peso del acero en el tubo con diagonales periféricas (*brace tube*), se transformó en los años 70 en el 'bundle of tubes' de la Sears Tower, también en Chicago, con la que se llegó a las 110 plantas y en el 'tube-in-tube', en el que el tubo perimetral con diagonales y pilas separadas solo para resistir las cargas gravitatorias, se complementaba con un núcleo interior con pantallas de hormigón (ya desarrollado en esa época, con variantes como el Centro Pirelli en Milán, de Gio Ponti y P. L. Nervi, a finales de los 50) con el que se podía llegar también a las 70 plantas en edificios de hormigón armado.

Las torres de estructuras diagonales perimetrales, conformando estructuras externas espaciales apoyadas en la triangulación (*space truss*) y una estructura interior con pantallas de hormigón, se convertirán en la imagen estructural de las nuevas torres como el Banco de China en Hong Kong, en el que los ingenieros Leslie C. Robertson y Le Messurier, ayudarán a partir de 1982 al arquitecto I. M. Pei, especialista anteriormente en museos, a levantar esta torre acristalada con planta triangular, de 315 m de altura, en la que las diagonales exteriores definen la imagen de la fachada de cristal.

Será Le Messurier, quien desarrollará a partir de los años 70 las investigaciones que había iniciado Fazlur R. Khan con megaestructuras, mostrando que los edificios de gran altura podían ser construidos por medio de megacolumnas en los extremos del edificio, interconectadas por potentes diagonales, con las que se podía llegar a las 150 plantas de forma eficaz, y cuyas investigaciones serán útiles a arquitectos

como Norman Foster que con la ingeniería Arup consiguió levantar con un atrio interior la torre del Hong Kong and Shanghai Bank en Hong Kong (1986). El propio Le Messurier, con los arquitectos Hug Stubbins y Emery Rohh, conseguirá ya en la segunda mitad de los años 70 levantar la torre del Citicorp Center (fig. 5) en Nueva York (en una transversal al Seagram, desde Park Avenue) en el que un mástil central recibe la mayor parte de las cargas laterales, mientras que el cerramiento transversal arriostrado en fachada, recibe las cargas gravitatorias cada 12 plantas, dejando libre las 10 primeras plantas, en donde el edificio parece soportado solo por las cuatro pilas exteriores que ocupa la parte intermedia de cada lado del edificio.

El nuevo siglo nos traerá la destrucción de las torres gemelas de Nueva York (World Trade Center), proyectadas como tubos perimetrales en la segunda mitad de los años 60 por el arquitecto Minoru Yamasaki y el ingeniero Leslie E., con 110 plantas. La aplicación de los ensayos en túnel de viento, para comprobar la resistencia de las torres a las cargas laterales (como hará el propio Leslie E. Robertson con modelos reducidos), se irán complementando después progresivamente con modelos matemáticos por ordenador para simular la acción del viento o de cualquier fluido en cualquier forma geométrica (*Computational Fluid Dynamic*). Ello permitirá incluso asociar la forma y las consideraciones ambientales de ventilación del interior del propio edificio a los efectos del viento, como hicieron Foster y Arup en la Torre Swiss Re (1997-2004) en pleno corazón financiero de Londres (fig. 6).



Fig. 5. Planta baja del Citicorp Center en Nueva York. Foto: C. Nárdiz



Fig. 6. La Torre Swiss Re, en Londres. Foto: C. Nárdiz

Aunque los efectos del viento se han reivindicado como justificación de las nuevas formas de los edificios de gran altura (incluido el Swiss Re), la realidad es que las nuevas torres responden a lo que Deyan Sudjid ha llamado “la arquitectura del poder”, que tiene su máxima expresión en las torres que dominan el cielo de las ciudades emergentes (Hong Kong, Singapur, Pekín, Shanghái, Dubái, Doha, etc) que han sustituido a las ciudades americanas, y algunas europeas como Fráncfort o Londres, en el dominio de la altura con celosías metálicas triangulares en las fachadas (*dyagrid structures*) y núcleos de hormigón, que se transparentan a través de las fachadas de cristal y que no responden ya a planteamientos estructurales, sino a la imagen personalizada de las corporaciones que las encargan que tratan de mostrarla en la forma de la piel ligera de los edificios, reinterpretando incluso como han hecho Rem Koolhaas y Arup, la forma de las torres como en la sede de la CCTV en Pekín, construida para los Juegos Olímpicos del 2008.

4. La imagen tecnológica de la arquitectura

La industrialización de los materiales y los métodos de construcción, desde la producción al montaje, la importancia de las instalaciones (calefacción, aire acondicionado, iluminación, etc.) para la consecución de un entorno bien climatizado, la transformación de las fachadas ligeras para la mejora de las condiciones ambientales del interior de los edificios, que al mismo tiempo ofrezcan una imagen exterior transparente de los mismos, la flexibilidad de las plantas, la diferenciación entre los espacios sirvientes y los servidos, la disminución del peso de los materiales para abaratar su coste, la manifestación exterior de la estructura resistente informarán los retos de la arquitectura a partir de los años 60, que se traducirán en la propia forma de los edificios, en los que las aportaciones tecnológicas se impondrán sobre el lenguaje anterior compositivo y pictórico de la arquitectura.

El fallo del concurso para el Centro Pompidou en París (el Beaubourg), en 1971, por parte de un jurado presidido por Jean Prouvé, a favor del edificio proyectado por los arquitectos Renzo Piano y Richard Rogers con la ingeniería Ove Arup and Partners, mostraba los cambios que se estaban produciendo en la arquitectura de la década anterior, en la que la escala de los materiales y los elementos constructivos era la escala del edificio. La imagen del Beaubourg como un gran barco varado, con los accesos y las instalaciones exteriores, con las Gerberetes de acero fundido (fig. 7) y los nudos de los tubos y tirantes diseñados expresamente



Fig. 7. Las Gerberetes del Centro Pompidou, en París. Foto: C. Nárdiz

para la estructura, en los que se veía como decía Peter Rice (el ingeniero de Arup, junto con Ted Happold) la huella del proyectista frente a la producción industrializada del acero, se convirtió en la imagen de una arquitectura, apoyada aparentemente en la alta tecnología (*high tech*), sólo posible por la comunicación entre arquitectos e ingenieros. De esta arquitectura participarán en los años 70, e incluso después, aparte de los dos arquitectos anteriores, otros arquitectos británicos como Norman Foster, Michael Hopkins o Nicholas Grimshaw, extendiéndola a partir de las últimas décadas del siglo XX a otros muchos arquitectos, hasta que otra vez los aires postmodernos, volvieron a reivindicar la vuelta a los lenguajes clásicos y a los materiales tradicionales, aunque beneficiados ya de los encuentros constructivos anteriores.

El ingeniero Peter Rice, integrado en Arup, hará de su colaboración con los arquitectos, transmitida en su libro ‘Un ingeniero imagina’, publicado en 1994, dos años después de su muerte, su principal aportación a la arquitectura, llegando a estar asociado con Renzo Piano (con el que proyectó por ejemplo el Museo Menil en Houston) colaborando con Richard Rogers también en el edificio Lloyd’s en Londres, y fundando con los arquitectos Ian Richie y Martín Francis, “R. F. R.”, para proyectar estructuras acristaladas con el “vidrio estructural” como las de los invernaderos de La Villete en París (con el arquitecto Adrián Fainsbilder) o la pirámide de acceso al Louvre (con I. M. Pei). Con Norman Foster colaboró en el proyecto del aeropuerto de Stansted (el tercer aeropuerto de Londres), y con el arquitecto ‘desconstructivista’ Bernard Tshumi, a comienzos de los 80, en los edificios y la pasarela que los comunica en el parque de La Villete, co-

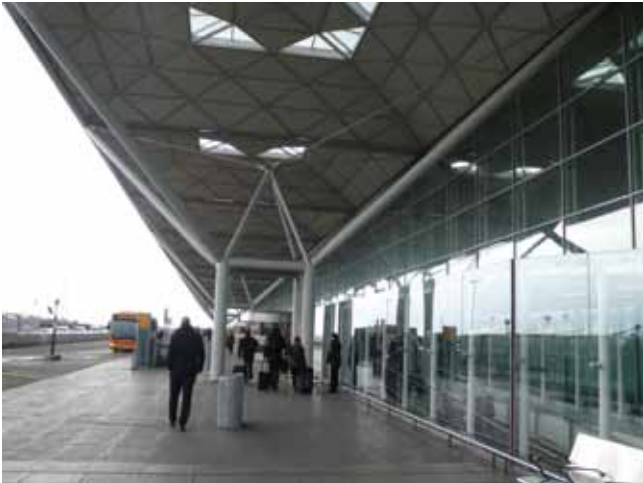


Fig. 8. Aeropuerto de Stansted en Londres. Foto: C. Nárdiz

laborando también con otros arquitectos que se extienden incluso a las primeras obras de Zaha Hadid.

Richard Rogers y Norman Foster, que se asociaron en 1963 a la vuelta de la Universidad de Yale, se reconocerán inicialmente en el lenguaje de las fábricas, como en la desaparecida Reliance Controls en Swindon (Inglaterra), expresión de su arquitectura apoyada en los productos industriales, en cuyo proyecto colaboró también el ingeniero británico Anthony Hunt. Este ingeniero estará detrás de la mayor parte de los proyectos de Foster en los años 70 (una vez separada la sociedad con Rogers), como el edificio comercial Willis Faber@Dumas en Inswich, con su fachada acristalada colgada del forjado, o el Centro de Artes Visuales de Sainsbury, con su estructura espacial reflejada en la fachada.

A partir de los años 80, la arquitectura de Foster, dentro de Foster Associates con un diseño compartido con otros arquitectos como Spencer de Grey, David Nelson y Ken Shuttleworth, es inentendible sin la colaboración con Arup and Partners en obras como el aeropuerto de Stansted (fig. 8), el Banco de Hong Kong citado o la torre de Collserola en Barcelona. El estudio de Foster, a partir de los años 90, en el Riverside Three en Londres, junto al Albert Bridge, ha ido relacionándose con todas las tipologías de edificios desde las torres, como el banco anterior, o la del Commerzbank en Fráncfort, hasta infraestructuras propias de la arquitectura e ingeniería del transporte como el metro de Bilbao, la estación de Canary Wharf en Londres o los aeropuertos internacionales de Hong Kong y Pekín. La relación que tuvo con Buckminster Fuller a principios de los años 70 en torno a la preocupación por los



Fig. 9. Zentrum Paul Klee, en Berna. Foto: C. Nárdiz

problemas energéticos de la arquitectura (como manifestación de la imagen tecnológica) le ha llevado, casi siempre en colaboración con Arup, a plantear proyectos que van desde la torre Swiss Re citada hasta nuevas ciudades como la de Masdar en Abu Dabi, en la que ha coincidido con la preocupación por la defensa de las ciudades sostenibles de Richard Rogers.

Los planteamientos energéticos de la edificación, ligados no solo a la transformación de las fachadas con vidrios laminares o templados de doble hoja o con atrios interiores en los edificios que contribuyan a su ventilación, se han extendido también a propuestas de integración formal y paisajísticas de los edificios en la naturaleza con proyectos como el Zentrum Paul Klee (fig. 9) de Renzo Piano, en Berna (Suiza), o en las propias transformaciones que Richard Rogers plantea para ciudades como Londres.

La escala en la que se mueven hoy estos arquitectos, dentro de sociedades a nivel internacional, con un diseño compartido (aunque bajo el nombre del arquitecto fundador), con la integración también de ingenieros con sus equipos, solo es posible con el apoyo de ingenierías especializadas, que se mueven también a nivel internacional. Los lenguajes de esta arquitectura se nutren también de lenguajes de la ingeniería ya que, como defiende Norman Foster, gran admirador de la aviación, ofrece experiencias y analogías que pueden informar el mundo de la arquitectura.

5. La ingeniería al servicio de las geometrías complejas

Los arquitectos que en el año 1988 se incluyeron en la exposición del MOMA en Nueva York bajo el título

‘Deconstructivist Architecture’ representan hoy, a través de su proyección internacional, la imagen de una arquitectura que se mueve en el campo de las geometrías complejas, en el que la complejidad y contradicción de la arquitectura que ya defendía Robert Venturi a mediados de los años 60, como expresión de un manierismo geométrico que remitía al Barroco y al Rococó, busca despertar emociones en el observador, a cuyo servicio se va a poner la ingeniería. Arquitectos como Frank Gehry, Peter Eisenman, Daniel Libeskind, Rem Koolhaas, Zaha Hadid, Bernard Tschumi o Coop Himmelb(l)au, que se incluían en la anterior exposición, están hoy en la cabeza de esta arquitectura apoyada en nuevos métodos de proyecto, con la utilización creciente del ordenador a partir de mediados de los años 90. Estas geometrías, que se llevan a la piel del edificio, y en donde la personalización de la arquitectura es demandada por los clientes, determinan el marco en el que se mueven hoy los concursos y los encargos a los anteriores arquitectos, o de otros que se mueven también a nivel internacional como Jean Nouvel, Herzog y De Meuron, relacionados con todas las tipologías. Junto a ellos están emergiendo otros estudios de arquitectura menores como los arquitectos japoneses (Shigeru Ban, Sanaa) que se mueven también a nivel internacional y que buscan en los centros culturales de menor dimensión la forma de expresar la ligereza y la transparencia.

Frente a las maquetas y el diseño paramétrico apoyado en programas con ordenador, procedentes de la industria del automóvil y la aviación, para la representación tridimensional de las formas complejas, la ingeniería ha ido creando sus unidades de ‘Advanced Geometry’ como en Arup, a comien-



Fig. 10. Museo Vitra en Weill am Rheim. Foto: C. Nárdiz

zos del nuevo siglo, en las que apoyar mediante algoritmos la generación de las formas complejas, o dotándose de *software* que diesen una respuesta estructural y constructiva a las representaciones en 3D, mediante el cálculo con elementos infinitos, o con nuevas tecnologías de información como el BIM para representar constructivamente las complejas mallas estructurales, favoreciendo así mismo el proceso de fabricación y montaje de los distintos elementos constructivos con sus uniones. Las firmas de arquitectos hoy, formadas por equipos de arquitectos, ingenieros y diseñadores, bajo el nombre de su fundador, siguen defendiendo la autonomía de la forma. Detrás están las consultoras de ingeniería como Arup, Schlaich Bergermann und partner, Bollinger + Grohmann, BuroHappold, etc. que se mueven también a nivel internacional al servicio de los edificios ‘icónicos’ que representan la arquitectura del nuevo siglo, aunque también ingenierías más locales, como en España, Inglaterra y Alemania, están sirviendo de soporte a estas arquitecturas de autor, en donde el Oriente Medio y los países asiáticos han tomado el relevo de Europa y América en demanda de esta arquitectura.

Frank Gehry en el Museo Guggenheim en Bilbao (1991-97), con sus formas inspiradas en la construcción naval, su estructura de muros alabeados formados por celosías metálicas y su revestimiento exterior en titanio, convirtió a este edificio en una imagen de la nueva arquitectura, en donde Gehry manipula las superficies envolventes de sus maquetas, relacionando la imagen exterior de las mismas con el interior, que su colaborador Jim Glymh, apoyándose en el programa CATIA, traduce en imágenes geométricas construibles. El precedente del



Fig. 11. El Kunsthall en Rotterdam. Foto: C. Nárdiz

museo de Bilbao fue el museo Vitra (fig. 10), a menor escala, proyectado y construido a finales de los años 80, en Weill am Rheim (Alemania). Gehry reivindica la dimensión escultórica de la arquitectura, y ha estado apoyado por ingenierías locales, aunque en sus obras más conocidas ha tenido que recurrir a ingenierías como Arup o Schlaich Begermann.

Rem Koolhaas, asociado a partir de mediados de los 70 con Elia Zenghelis en OMA, y con el apoyo de la ingeniería Arup y su ingeniero Cecil Balmond, construirá en los años 80 y 90 su obras más personales desde la Casa de Burdeos, al Kunsthal en Rotterdam (fig. 11) y el Consgrexpo en Lille, cuya concepción estructural ha explicado Balmond en su libro 'Informal'. Esta colaboración se ha mantenido durante el nuevo siglo con Balmond integrado en Arup, hasta llegar a obras como la Casa de la Música en Oporto, o la CCTV New Headquarters en Beijing (China), terminada en el 2008 (Ver A+U. Cecil Balmond. November 2006).

La arquitecta iraní Zaha Hadid, formada en la Assotiation School of Architecture (AA) en Londres, donde tuvo de profesores a Koolhaas y Zenghelis, encontró inicialmente en la diagonal, con la que el constructivista ruso Konstantine Melnikov había proyectado el pabellón soviético de la feria de París de 1925, su inspiración para plantear, mediante dibujos en perspectiva, sus formas fluidas que dinamicen el espacio, apoyándose después en su colaborador Patrick Schumacher, para componer mediante ordenador espacios multidireccionales. En Weill am Rheim tiene dos edificios de los años 90, la estación de bomberos, en el propio recinto de Vitra, y el LF One, construido con motivo de la feria de

jardinería de 1999, que muestran la utilización de espacios dinámicos apoyados en la diagonal, abriéndose a partir de esta época a todas las tipologías, y dando sus mejores respuestas en los centros culturales como el Phaeno Science Center de Wofsburg (Alemania) o el Museo Nacional MAXXI en Roma (fig. 12), siempre en colaboración con las ingenierías de Arup, BuroHappold o Bollinger+Grohmann.

El estudio de arquitectura fundado por Walter Prix y Helmut Swiezinski en Viena a finales de los 60, con el nombre de Coop Himmelb(l)au, influido por el también arquitecto vienés Peter Cook, empezó a internacionalizarse a partir de mediados de los años 90, gracias a la colaboración de ingenierías como Bollinger+Grohmaan (B+G) para materializar edificios como el Ufa Cinema Center en Dresde, terminado en 1998, el BMW Welt (2001-2007) en Múnich, próximo al estadio Olímpico, las torres del European Center Bank (CCB), recientemente terminadas en Fráncfort (aunque fuera del centro financiero de esta ciudad) o el Musée des Confluénces de Lyon, en la confluencia del Ródano y el Saona. Paneles metálicos de acero inoxidable y fachadas acristaladas con formas complejas, comparten planteamientos de proyectos y estructurales en el caso del museo de BMW y el de las Confluencias (con las celosías y estructuras espaciales metálicas que soportan el edificio), mientras que la torre del ECB, de 180 m de altura, proyectada por Walter Prix y la ingeniería B+G, transforma el bloque tradicional de las torres en dos edificios con estructuras triangulares perimetrales y núcleos de hormigón, que dejan un atrio común, en donde la imagen hoy de la margen del río Main, es la del cierre acristalado que las une (fig. 13).



Fig. 12. El Maxxi, en Roma. Foto: C. Nárdiz



Fig. 13. Torre del European Center Bank, en Fráncfort. Foto: C. Nárdiz



Fig. 14. Rolex Learning Center, en Lausana. Foto: C. Nárdiz

Bollinger+Grohmann, con su sede principal en Fráncfort, se reconocen hoy como empresa consultora de ingeniería al servicio de los proyectos de arquitectura con geometrías complejas, con una especialización también en fachadas acristaladas como el Art Museum de Graz, terminado en 2003, y proyectado por Peter Cook. Pero también en la restauración de edificios históricos, como el Stadel Museum en Fráncfort, con la losa pretensada central ajardinada y abierta con claraboyas con la que se han cubierto las nuevas salas del museo, o en proyectos al servicio de una arquitectura ligera y transparente como la de la firma japonesa SANAA en el Museo del Louvre de Lens (Francia) o en el Rolex Learning Center (RLC) en Lausana (Suiza). Esta arquitectura, en el caso del RLC, no impide enfrentarse con soluciones estructurales complejas como la losa curva de hormigón pretensado, abierta por grandes huecos interiores, que constituye la estructura de este edificio tipo ‘sándwich’, en el que se reducen al mínimo las pilas metálicas interiores que sustentan la cubierta metálica superior (fig. 14).

Finalmente traemos aquí a la firma de arquitectura UNSTUDIO, formada a finales de los años 80, por el arquitecto Ben van Berkel y la historiadora de arte Caroline Bos, que se dio a conocer con el Erasmus Bridge, en Rotterdam, terminado a mediados de los años 90 y que utiliza imágenes de las estructuras matemáticas como la banda de Moebius o la botella de Klein, para justificar formas arquitectónicas apoyadas en diagramas funcionales con los que se buscan experiencias espaciales y sensuales asociadas al movimiento. Su obra más significativa es el Museo Mercedes Benz, en



Fig. 15. Museo Mercedes Benz, en Stuttgart. Foto: C. Nárdiz

las afueras de Stuttgart, terminado en el 2002, y con forma de doble hélice que se recorre a través de una rampa continua interior de hormigón que se refleja en la forma exterior del edificio, a través de los paneles de acero inoxidable y cristales poligonales rehundidos (fig. 15). Su relación con las infraestructuras de transporte, aparte del puente anterior, y el de Utrecht, o el que terminaron recientemente para el metro de Lyon (en todos los casos con estructuras atirantadas) se refleja en el magnífico intercambiador de transporte de Arnhem (Países Bajos), para los autobuses, con la estación de ferrocarril próxima (proyectada también por Unstudio), en colaboración con la ingeniería Arup, con un estacionamiento subterráneo ordenada por el soporte en forma en V en el centro, construido con pantallas de hormigón, cuyo concepto estructural explicaba también Cecil Balmond en el libro ‘Informal’.

Frente al anonimato en el que se ha movido la ingeniería al servicio de la arquitectura, hoy es bastante frecuente, a nivel internacional, reflejar en cada proyecto las ingenierías que han colaborado (y no solo las estructurales), pensando en la arquitectura como un trabajo colectivo y complementario entre arquitectos e ingenieros, como se refleja por ejemplo en publicaciones recientes de Detail Engineering sobre Schlaich Bergermann und partners, Arup o Bollinger+Grohmann. Parece que este es un camino de futuro, al cual todavía de una forma tan explícita no se ha incorporado la arquitectura e ingeniería española, a pesar de la fuerte dependencia que ha existido en los últimos años entre las obras de los arquitectos y de determinados ingenieros, como se refleja en este número de la ROP. **ROP**

Arquitectos e ingenieros, ¿se parecen en algo?



Javier Manterola Armisén

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Consejero delegado de CFCSL

Resumen

El ingeniero Javier Manterola analiza en este artículo las diferencias, que para algunos no son tantas, entre ingenieros y arquitectos. Para ello, pone como ejemplos el Chicago del siglo XIX, Santa María de Fiore en Florencia o Santa Sofía y San Pedro de Roma, entre otros. En su opinión, la colaboración entre ellos es cada vez menor, ya que "el ingeniero ha resuelto con su tecnología todos los problemas que se le puedan ocurrir al arquitecto".

Palabras clave

Arquitectura, ingeniería, diferencias, 'high tech'

Abstract

In this article the engineer Javier Manterola examines, what for many, is the minimal difference between engineer and architect. To this end, the author gives the examples of 19th century Chicago, Santa Maria del Fiore in Florence, Hagia Sophia and St. Peter's Basilica in Rome, among others. In his opinion, the collaboration between the two is ever-more infrequent as "through technology, the engineer has resolved all the problems that may arise for the architect".

Keywords

Architecture, engineering, differences, High Tech

Es frecuente oír que ambas profesiones son similares, casi hermanas, muy próximas, con finalidades parecidas. Y no, pienso que son dos profesiones diferentes, tan diferentes como la de un informático o la de un físico o un médico. Pienso que el arquitecto construye casas, hospitales, etc. Y yo digo que el arquitecto construye algo, o más bien manda construir algo, hecho este de construir que nunca le ha importado demasiado en la época contemporánea.

Ha pasado el tiempo de un Brunellesqui para el cual la construcción de la cúpula de Santa María de Fiore en Florencia fue un problema, lo intentó en serio, ocupó todo su pensamiento, un problema que resolvió mal, pues toda la cúpula se le agrietó, pero a fin de cuentas lo intentó y la cúpula sigue ahí. No, el hecho de construir es muy diferente en el arquitecto y el ingeniero. La misma obtención de formas no tiene nada que ver. ¿El Empire State es un problema de arquitectura o ingeniería? Pienso ahora en la arquitectura 'high tech', en el centro George Pompidou (fig. 1), todo el conjunto formal responde a un principio, hacer de ese edificio una máquina 'high tech'. El problema real se habría resuelto mucho mejor si las cerchas transversales

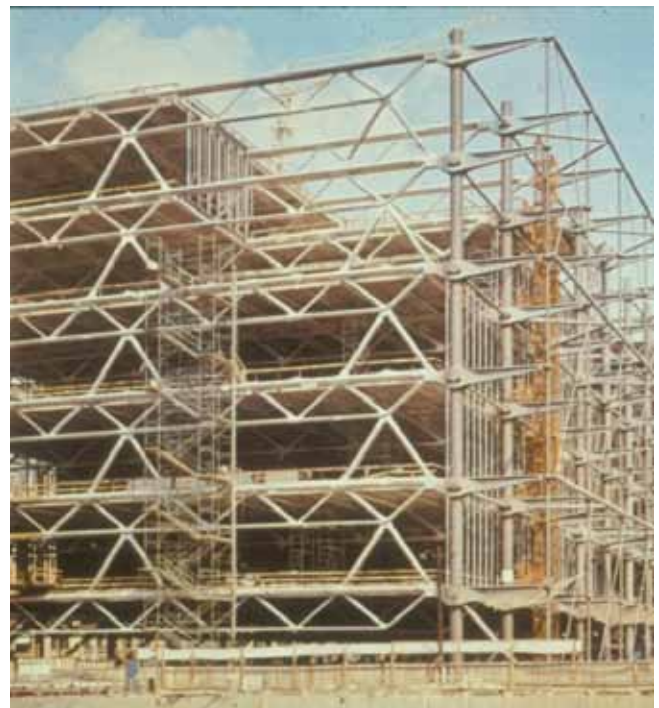


Fig. 1

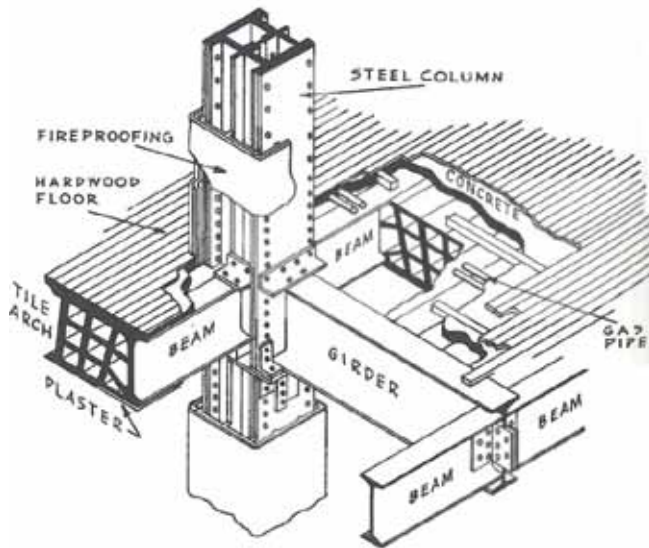


Fig. 2

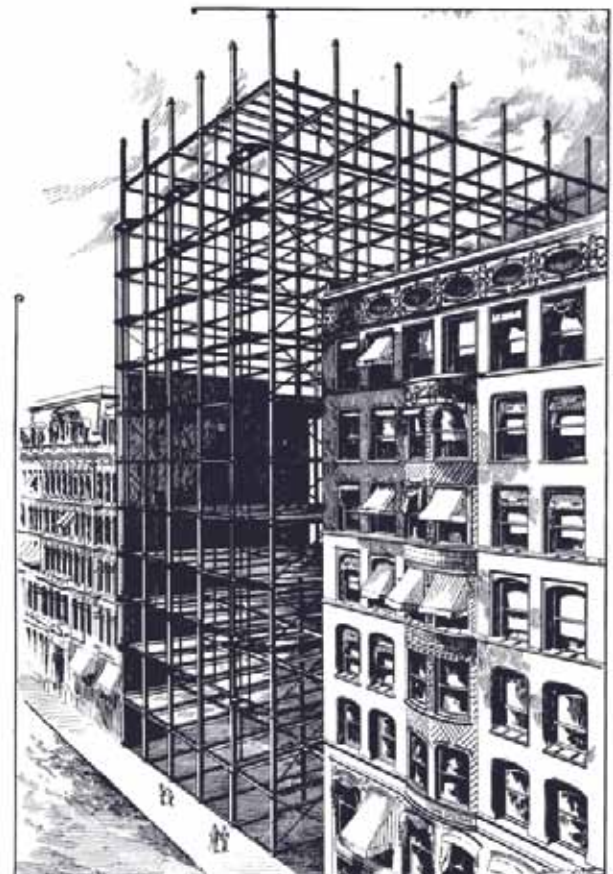


Fig. 3

hubiesen sido un poco más largas y se hubieran apoyado directamente sobre los pilares, en lugar de ser más cortas de lo debido que es lo que ocasiona la necesidad de las “*garballetes*”, los tirantes exteriores, etc. Se utiliza un problema ficticio, creado artificialmente, para resolverlo después de una manera tecnológica. Y eso que Renzo Piano es de lo mejor. Y así se podrían poner infinidad de ejemplos. Sólo me detengo ante Mies Van der Rohe. Todo lo que ha hecho lo ha hecho bien, sin necesidad de forzar para que en el resultado aparezca lo imprescindible. Ahora bien: ¿quién ha creado toda la arquitectura moderna? Y yo señalo un nudo (fig. 2) el que se produce en el cruce de un pilar y dos vigas ortogonales. Ese nudo, eminentemente ingenieril, ha permitido eliminar tabiques, muros, cierres, etc., ha permitido hacer transparentes las fachadas y los espacios interiores.

Toda la arquitectura de Chicago, del Chicago del siglo XIX, la han hecho los arquitectos, pero no habría sido posible sin ese nudo ingenieril. ¿Quién plantea la necesidad de ese nudo que ha permitido, bien en hormigón, bien en acero, toda la arquitectura contemporánea? (fig. 3). No, no ha sido el arquitecto, ha sido el ingeniero quien le ha dicho que si utilizas este nudo con los materiales modernos todo va a cambiar.



Centro de Chicago



Chicago 2010

La arquitectura existe y la ingeniería también, pero la cabeza de un arquitecto es muy distinta a la de un ingeniero. Se ha configurado de distinta forma. La arquitectura y la ingeniería son dos mundos diferentes. Todo el universo formal conseguido por los arquitectos a lo largo de dos mil o más años, realizado con piedra, es formidable. Pero ¿es la misma persona, la misma manera de pensar la del que construyó la catedral de Reims que la que construyó San Pedro de Roma? No. A los dos les llamaban arquitectos y eran a la vez arquitectos e ingenieros. Se planteaban los problemas de construir de verdad y unos sabían cómo hacerlo y otros copiaban cómo hacerlo. ¿Es lo mismo Bernini que Borronini? No. A mí me gustan mucho los dos pero Bernini no era capaz de imaginar Sant'Ivo alla Sapienza. Borronini, además de hacerse las mismas preguntas y respuestas que los demás arquitectos, se hacía otras propias de la manera de ser del ingeniero.

La cúpula la inventan los ingenieros, y de paso el espacio cupular. Esto lo recogen los arquitectos y hacen arquitectura con ella desde Santa Sofía hasta Los Inválidos pasando por San Pedro de Roma. Dónde estaría ahora la arquitectura si, a principios del siglo XIX, con la primera revolución industrial, no aparecen los ingenieros que son los que unen ciencia y técnica para empezar a construir un universo formal nuevo, diferente que da origen a mercados y estaciones de ferrocarril, casas transparentes y libres como ya hemos dicho,

desde los trabajos en Chicago de William Le Baron Jenney, ingeniero y después arquitecto, que da origen a toda la arquitectura contemporánea.

Son dos mundos diferentes, su evolución es diferente y son dos maneras de pensar diferentes. El de los ingenieros es el mundo de lo resistente. Su universo formal parte de este mundo y es exclusivo, propio, único, incapaz de ser abordado y generado por los arquitectos. Estos tienen su propio mundo complejo, difícil, importante, pero diferente. Nada que ver aquello que un ingeniero piensa durante todo el día con lo que puede pensar un arquitecto cuyo mundo propio es bastante ajeno al ingenieril. Que la arquitectura necesita de la ingeniería es evidente para generar las grandes soluciones. A partir de ello el arquitecto hace la arquitectura.

La colaboración entre ellos para construir edificios es cada vez menor desde que el ingeniero ha resuelto con su tecnología todos los problemas que se le puedan ocurrir al arquitecto. Ante un problema de construcción que se le señaló a Saha Hadid en un concurso, su contestación fue significativa: "Siempre habrá un ingeniero que lo resuelva". Y, por mucho que queramos y podamos, la estructura es una parte fundamental de la arquitectura. Y se nota cuando es tenida en cuenta desde la configuración inicial del edificio. **ROP**

La terminal T-4 del aeropuerto de Madrid-Barajas como referencia en la colaboración de arquitectos e ingenieros



Antonio Lamela

Prof. Dr. Arquitecto, Urbanista y planificador del territorio.

Premio Rey Jaime I Dr. Honoris Causa UCJC / Académico RADE

Resumen

Desde tiempos pasados se hizo patente la necesidad de aportar soluciones nuevas a nuevos retos humanos, técnicos y artísticos, lo que constituyó el germen de las diferentes ingenierías, hasta llegar, en nuestros días, al grado de desarrollo que han alcanzado. Hoy, arquitectura e ingeniería son dos disciplinas complementarias, cada vez más complejas, con sus diversas ramas de especialización. Ingenieros y arquitectos colaboran necesariamente en el nuevo marco del desarrollo sustentable, con visión holista, mundial y multidisciplinar. La T4 del aeropuerto de Madrid-Barajas es un ejemplo del resultado de esa colaboración, que culminó con aportaciones novedosas no solo en el ámbito de la edificación, sino del transporte, la seguridad y las comunicaciones. Un ejemplo práctico más de I+D+i, cuyo éxito se debe al trabajo en equipo.

Palabras clave

Colaboración, disciplinas, innovación

Abstract

Throughout history it has been necessary to provide new solutions to meet new human, technical and artistic challenges and this has constituted the very seed of the different engineering disciplines until reaching the level of development obtained today. Architecture and engineering are now two complementary disciplines of ever-increasing complexity, with their diverse branches of specialization. Engineers and architects have to work hand in hand within a new framework of sustainable development, with a holistic, international and multi-disciplinary focus. The T4 terminal at Madrid-Barajas Airport is an example of this collaboration and one that has given way to innovative advances, not only in the field of buildings, but also in that of transport, safety and communications. This has proved to be yet a further practical example of R&D&I and where the successful outcome of which ultimately depends on teamwork.

Keywords

Collaboration, disciplines, innovation

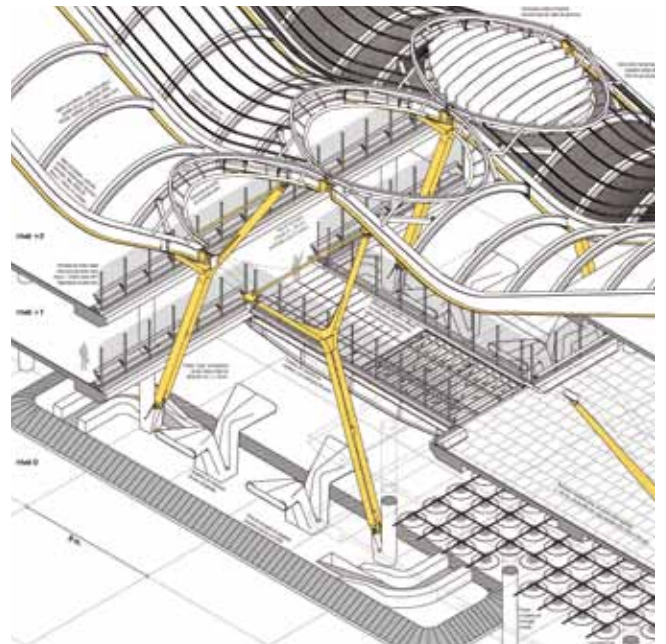
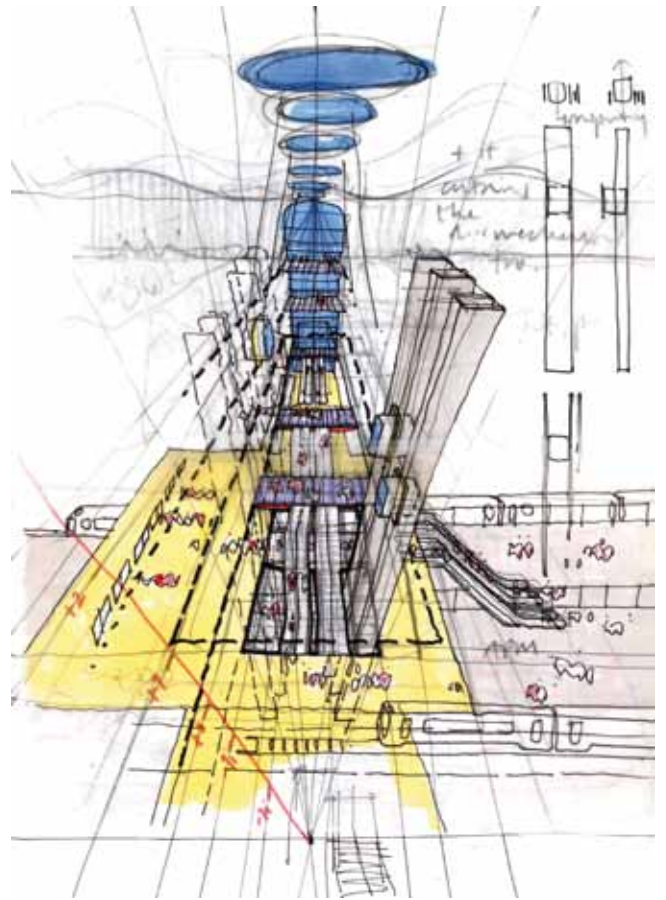
Por supuesto, los arquitectos también somos ‘ingenieros’ al utilizar el ‘ingenio’ en nuestras creaciones y en las dos acepciones preferidas del diccionario: el intelecto y la máquina. Y así sucede con todos los buenos profesionales de cada sector del conocimiento, sea cual sea éste. No parece muy lógico que la sociedad adjudique la ‘ingeniería’ a un grupo, a pesar de que cada día esa capacitación se vaya extendiendo más, hasta el punto de que ya se habla de ‘ingeniería política o social’, refiriéndose a ‘manejos’, actuaciones o hechos que no tienen otras justificaciones. Sólo me voy a referir a lo que entendemos por ingenierías tradicionales, de las que, con satisfacción, me siento formar parte como generalista, aunque no tenga título de ingeniero de ninguna especialidad. En según qué momentos resulta muy difícil establecer límites separadores entre lo que se interpreta como arquitectura e ingeniería.





Pienso, que, en casos muy extendidos, lo que entendemos habitualmente como ingenierías son especializaciones de la arquitectura para profundizar algo más en algunas materias. Evidentemente, hay que matizar mucho cuando incluimos las innovadoras ingenierías de últimas apariciones en nuevos campos de actuación, ya que, de cualquier forma, eran desconocidas hasta hace muy poco tiempo, aunque ya van siendo muy numerosas, y hasta dominantes, debido al aumento y progreso de recientes ciencias que estamos aplicando en la actualidad de forma tan imprevista como arrolladora, a la vez que ilusionante.

Es muy interesante, sin ir demasiado lejos, tomar como referencia a los grandes arquitectos del siglo XVI que proyectaron y dirigieron las obras del gran monumento de San Lorenzo del Escorial, en el Real Sitio que lleva tal nombre: Juan Bautista de Toledo, primero, y Juan de Herrera, después. Ambos hicieron de 'ingenieros' en lo que hoy son materias específicas de ingenierías. Actuaron como ingenieros de minas en la búsqueda, encuentro y explotación de canteras de piedra granítica para la construcción de aquella ingente obra de alta calidad; también hicieron de ingenieros de Caminos al trazar y construir las vías de acceso al lugar y de comunicación entre los distintos tajos a establecer; realizaron obras de presas de contención de aguas para crear embalses de abastecimientos hídricos para las necesidades temporales de la construcción, así como las definitivas para el buen funcionamiento del Real Monasterio, la residencia de frailes, las de las casas de oficios y todas las necesidades derivadas, previstas e imaginables. Por supuesto, hicieron de ingenieros generales de construcción integral para organizar y coordinar todos los tipos de trabajos





especializados a ejecutar. No olvidemos que, además, adecuaron el sitio de acumulación y vertido de los restos y residuos de obra, lugar que se llamó El Escorial, por ser donde iban las escorias de la herrería, así como todo lo demás desechable. Y, lo más importante, tuvieron que proyectar y crear máquinas, ingenios, para manejar, transportar y elevar hasta las cotas previstas las piedras esculpidas en las playas de trabajos de cantería, así como lo que también correspondía a otros oficios, haciendo de ingenieros industriales, con gran inventiva y variedad. Hoy asombra, por su eficacia y precisión, la maquinaria que se construyó, aparte de su avanzada técnica en aquellos tiempos.

Por supuesto, también, realizaron labores de andamiajes de todo tipo y magnitud para llegar a las ubicaciones de los diferentes trabajos, y rematar con pulcritud las labores más inusitadas que hoy nos siguen sorprendiendo. Algunas a cotas muy altas, aparte de resistentes a las inclemencias del clima y fuertes vientos. Y tantas otras cosas más, que constituyen referencias históricas de trabajos que hoy se entienden como pura ingeniería, en aquella época de trabajos 'a pecho', con tracción de sangre animal o incluso solo humana, utilizando un herramental tan elemental y simple que no ayudaba demasiado a conseguir las cuidadosas labores que practicaron.

Damos por sabido que, simultáneamente, había que seguir produciendo los coetáneos materiales cerámicos de construcción, así como los cementos habituales para su integración conjuntiva mediante todo tipo de cales hídricas, así como sus correspondientes herramientas de manejo, de madera o acero. Seguía el uso y práctica del ingenio, como talento y como instrumento de trabajo.



+ desarrollo sostenible

Más que agua

Talento, conocimiento y compromiso.
Aportamos respuestas adecuadas
para una gestión más eficiente.
Compartimos conocimiento
y generamos innovación.
Trabajamos por un futuro basado
en el compromiso y la cooperación.

www.aqualogy.net



AQVALOGY
Where Water Lives

SOLUCIONES INTEGRADAS
DEL AGUA PARA UN
DESARROLLO SOSTENIBLE

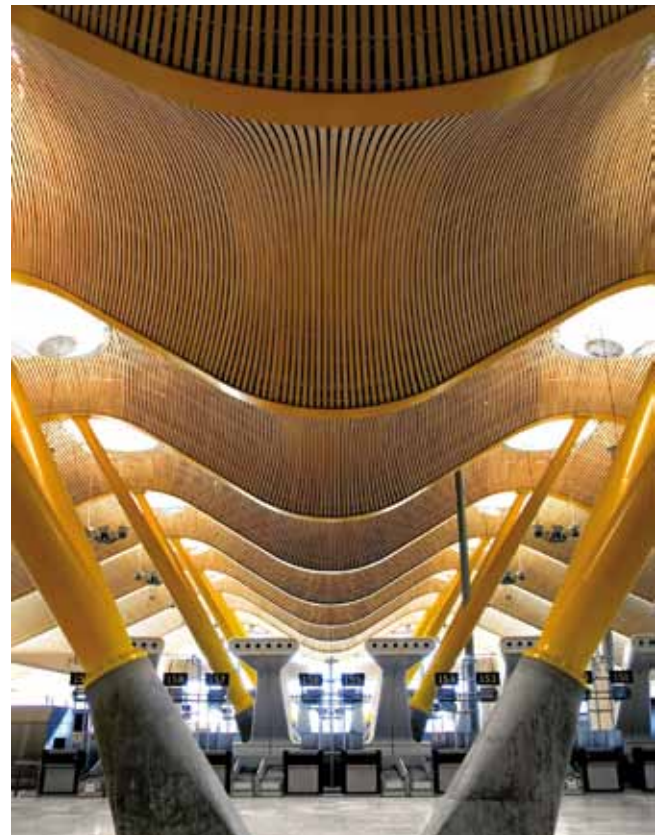


En la planificación del uso del suelo había que reservar espacio para resolver los problemas alimentarios de tal población: agricultura extensiva para cereales diversos, sin marginar la horticultura, frutales y floristería. La ganadería también estaba contemplada en la solución abierta y en la estabulada. Aquí aparece encubierta la ingeniería agraria, agrícola-ganadera y alimentaria. Es evidente que, como tenían que vestirse, existían los cultivos de fibras y los telares de todo tipo para generar tejidos capaces y suficientes para cubrir sus necesidades, anticipo de la ingeniería textil. El abastecimiento de agua ya estaba resuelto con la creación de embalses, ya citados, mediante la construcción de presas de gravedad o de cualquier tipo. Además ya se practicaba la reforestación diversa y específica con objetivos muy variados, según la calidad del suelo, el clima y otros condicionantes, adelantándose a los actuales ingenieros agrónomos, forestales y montes.

Y todo esto lo realizaron con el uniforme de simples arquitectos, avalados, o no, por alguna universidad, pero sin

titulación de ingenieros, que aún no existía. Por tal motivo, yo sigo con la convicción de que las 'ingenierías actuales' son etapas sucesivas de especializaciones diversas de lo que antaño era el compendio de la Arquitectura integral. Así también lo practicaron las civilizaciones anteriores con todos los grandes maestros de los conocimientos más remotos de cualquier civilización lejana, a nivel mundial, hasta reparando en los tiempos europeos más próximos de Leonardo da Vinci o Miguel Ángel, que fueron grandes profesionales de todo: un gran compendio del saber, cuidando hasta el más mínimo detalle.

Eso mismo, en grandes líneas, es lo que hemos hecho en la famosa T-4 del aeropuerto Madrid-Barajas, que también se desea tomar como otra referencia actual del buen saber hacer conjunto entre arquitectos e ingenieros, buscando el mejor resultado común. En el macroequipo creado ya teníamos para cada caso concreto distintos especialistas que, llegado el caso, se iban a ocupar de cada materia específica, dentro de un gran equipo conjuntado, acos-





tumbrados a trabajar de tal manera desde hacía tiempo, aunque fuera separadamente; tanto por parte de Richard Rogers y Asociados como por Estudio Lamela, en cuanto a arquitectos, más Initec, Aena y otros colaboradores diversos de especialidades varias.

Antes de concluir la mención a la T-4, recuerdo que queda pendiente la adecuación paisajista de los terrenos más próximos al conjunto aeroportuario, lo que es esencial al tratarse de un aeropuerto 'hub' de la trascendencia que tiene el de Madrid. Ahí vuelve a aparecer la estrecha y deseada colaboración entre arquitectos, ingenieros, y creadores artísticos diversos para conseguir un 'ente' mundialista del que todos nos sintamos orgullosos como sociedad humana. El objetivo merece la pena para mantener en la memoria la más bella imagen de la llegada o salida, del gran Madrid-Barajas, con el territorio de su entorno, que conformaría un gran parque vegetal y artístico, como hecho ejemplar para el resto de nuestro planeta. La compensación económica, directa e indirecta, sería sorprendente. Los recortes dinerarios que hoy se plantean de forma generalizada deben tener otros destinos menos discutibles y trascendentes.

Aprovecho para hacer una observación muy importante y en lo que, a veces, no se repara. La T-4 no es un edificio aeroportuario sino que es una ciudad terminal aeroportuaria, por sus magnitudes. En la T-4 trabajan cada día más de 3.000 personas en puestos fijos de trabajo, lo que puede equivaler a la población laboral de una ciudad de 15.000 habitantes. Si a esto se añade la población eventual y cotidiana que se relaciona con dicha terminal –otros 1.000 diarios–, estaríamos hablando de la población laboral de una ciudad de 20.000 habitantes. No incluyo los meros visitantes. Este es mi argumento para poder hablar de una ciudad más que de un edificio, lo que es trascendente en cualquier aspecto que se contemple. Por supuesto, a esto hay que añadir la población diaria de usuarios viajeros de dicha instalación que en estos momentos tiene una media de 40 millones de pasajeros al año, lo que la consolida en la categoría urbana de ciudad importante, con el indiscutible e imprescindible apoyo de Madrid.

En este caso, la colaboración profesional y técnica entre arquitectos e ingenieros de muy diferentes especialidades ha sido tan excelente, que no nos hemos dado cuenta de que existíamos unos y otros, ni de que éramos de distintas nacionalidades, aunque predominando españoles e ingleses, aparte de los de otras procedencias. Ha sido una colaboración propia de nuestra era, en la que, inteligentemente, tratamos de borrar injustificadas fronteras, con estrictas visiones geoístas y holistas, propias de terrícolas cultos y avanzados de nuestra época, en los albores del siglo XXI e inicios del III milenio.

Yo siempre he entendido y defendido así estas colaboraciones profesionales con todas y cada una de otras di-



versas formaciones, y que deben ser muy distintas según el objetivo y tipo de proyecto de qué se trate; así como de su ubicación, clima y tantas otras circunstancias y consideraciones. Ha sido así desde mi primer edificio y partiendo desde el origen, con el primer trazo del croquis del proyecto. Es el único camino razonable, y en el que sigo persistiendo. Lo mismo debe ser para cualquier proyecto de ingeniería, cuando debe intervenir el arquitecto, como, generalmente, es siempre deseable.

Hago una referencia de enorme interés e importancia, que es muy fácil de entender, y que tiene que ver con las grandes obras de ingeniería, sirviendo como ejemplo las impactantes plataformas de prospección o explotación de crudos en cualquier lugar del mundo, ya estén situadas en tierra o mar. Esto permite extrapolar la esencia de la idea a otras realizaciones con cualquier otro propósito o explotación y en cualquier lugar de nuestro globo terráqueo. Normalmente, estas gigantescas plataformas están concebidas desde contemplaciones meramente funcionales y de eficiencia muy pragmática, dejando al margen cualquier preocupación plástica con intencionalidad estética como gran valor añadido, lo que se echa de menos.

El resultado sería mucho mejor si, desde un principio, hubiera intervenido una persona o equipo que hubiera aportado esta preocupación artística al resultado final. El ideal sería que, incluso, esta preocupación hubiera sido dominante, sin perder funcionalidad, hasta el punto de que pudiera ser un atractivo tan importante que justificara, separadamente, su presencia en el lugar, hasta el punto de pasar a ser la motivación de su creación, incluso la justificación de su visita, más o menos masiva. A ello se podría añadir algo más, como la presencia de una exposición permanente, informativa y didáctica de lo que son este tipo de instalaciones y la función que cumplen, así como su gran valor social como aportación imprescindible. Habríamos dado la vuelta a un posible problema, al que habríamos convertido en una solución, de la que la sociedad estaría orgullosa, además de ser capaz de generar ingresos económicos complementarios al haber creado un elemento atrayente por su belleza dentro de un paisaje enriquecido. El resultado final podría ser el equivalente a una macroescultura de dimensiones muy importantes, merecedora de admiración y respeto. Podría ser un gran referente a seguir en otros lugares para muy diferentes aplicaciones. **ROP**



Arquitectos e ingenieros: una relación rica y llena de grandes oportunidades



Hugo Corres Peiretti

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Catedrático de Hormigón Estructural.
ETSICCP-UPM

Resumen

En este artículo se presenta brevemente una aproximación histórica a la evolución de la arquitectura y la ingeniería. Se presentan ejemplos extraordinarios que se han dado a lo largo del tiempo. Ejemplos pretéritos, cuando la actividad de la arquitectura, la ingeniería, la construcción y el arte se integraban en una única persona. Ejemplos mucho más recientes, cuando las distintas disciplinas se separaron pero que, sin embargo, requerían de una integración inteligente de las distintas actuaciones para poder obtener resultados adecuados y que solo pocos arquitectos, ingenieros y constructores –en esta etapa los artistas se separaron aún más de la actividad más específica constructiva– han sabido cultivar y aprovechar hasta las últimas consecuencias. Se muestran por último algunos ejemplos recientes en los que el autor ha participado directamente y en los que se describe la interacción arquitectura ingeniería.

Palabras clave

Arquitectura, ingeniería, T4, Pasarela Cáscara, Torre Intecsa-San Paolo, Escultura Vela Arturo Bernet

Abstract

This article presents a brief historic overview of the evolution of architecture and engineering, revealing extraordinary examples produced over the course of history. Ancient examples, reflecting times when architecture, engineering, building and art were exercised as just one profession. Far more recent examples, following the division of the different disciplines into separate branches but which still required intelligent coordination and incorporation of the different activities to ensure satisfactory results and one which only a few architects, engineers and builders – not to mention artists, who had already distanced themselves even further from the specific area of building – have known how to cultivate and exploit to the maximum. The article concludes with several, more recent examples in which the author has intervened directly and where a description is given of the interaction between architecture and engineering.

Keywords

Architecture, engineering, T4, Cascara bridge, Intecsa Tower – Sao Paulo, "Sail Sculpture" Arturo Bernet

1. Introducción

La arquitectura, la ingeniería –la estructural en particular–, el arte y la construcción han estado gestionadas por las mismas personas hasta hace relativamente poco tiempo, si se mira este aspecto desde una perspectiva amplia. Hay muchos y grandes ejemplos del gran oficio de algunos de estos grandísimos artistas/técnicos.

El Panteón de Agripa [1], posiblemente una de las obras más interesantes de la historia de la arquitectura y la ingeniería estructural, construido en el siglo II por Apolodoro de Damasco, es un buen ejemplo de esta actividad polifacética de los arquitectos, ingenieros, constructores y artistas de todos los tiempos. Apolodoro de Damasco fue asimismo el proyectista del puente,

extraordinario para su época –más de 1.000 m de longitud, vanos de 52 m de luz y pilas de 20 m a 45 m– construido para Trajano sobre el Danubio [2 y 3], a principios del siglo II.

El Renacimiento alumbró a Juan de Herrera, otro grandísimo arquitecto, ingeniero, constructor y artista, que intervino en edificios como el monasterio de El Escorial [4], con elementos estructurales también extraordinarios con la bóveda plana de la Basílica, o puentes, como los construidos en la ruta entre El Escorial y Madrid, u otras infraestructuras de distintos tipos.

Insignes, cultivados, sensibles humanistas que dominaban el conocimiento de la época, estos personajes, a los que cabría



Fig. 1. Panteón de Agripa. Siglo II



Fig. 2. Monasterio de El Escorial. Bóveda plana de la Basílica. 1563-1584



unir los nombres de Brunelleschi, Rodrigo Gil de Hontañón o el propio Leonardo da Vinci, conocían la historia de sus actividades y tenían la ambición de mejorar, innovar, ir más allá de los límites alcanzados.

A partir del s. XVIII las actividades se han ido haciendo poco a poco más complejas, las disciplinas de las distintas actividades se han desarrollado de forma especializada y más independientemente, con menos interacciones. Esta evolución, que desde el punto de vista técnico y tecnológico es inevitable, no se ha visto seguida por un proceso de integración de las disciplinas que cultive, a todos los

niveles, una capacidad de integración, de comprensión de los problemas comunes.

La educación en las Escuelas de Ingeniería y Arquitectura no ha ayudado mucho a forjar este proceso integrador. Los arquitectos gestionan problemas muy complejos, la arquitectura requiere satisfacer muchos requerimientos con muchas interacciones, que los ingenieros deben, primero, conocer adecuadamente y, luego, tener la mente abierta para contribuir con propuestas que resuelvan de forma creativa las necesidades. El intercambio, además, exige unos niveles de comunicación que requiere de un nivel cultural común y de una predisposición abierta.



Fig. 3. Frontón Recoletos



Fig. 4. Cubierta del Hipódromo de la Zarzuela

Eduardo Torroja [5] fue también ejemplo en este tipo de relaciones. Trabajó con arquitectos en muchos proyectos –el Frontón Recoletos y el Hipódromo de la Zarzuela son sólo algunos ejemplos–, en los que siempre se vio la influencia decisiva de la propuesta estructural que engrandece la obra.

Ha habido otros, pocos pero grandes ingenieros, que han contribuido a afianzar esta rica relación entre ingenieros y arquitectos. Peter Rice [6] es sin duda uno de ellos y, quizás, quien contribuyó como nadie a hacer posible este periodo magnífico de la arquitectura ‘high tech’ junto con grandes arquitectos como Foster, Rogers y Piano.

En adelante se muestran algunos ejemplos, resultado de algunas de las muchas oportunidades que ha tenido el autor de este trabajo de compartir faena con arquitectos. Estos encuentros han sido siempre intensos, interesantes y, sobre todo, ricos en experiencias complementarias y llenos de aprendizajes.



Fig. 5. Beaubourg o Centro Nacional de Arte y Cultura Georges Pompidou

2. T4 Madrid

La T4 de Madrid [7] ha sido, sin ninguna duda, uno de los grandes proyectos de Fhecor Ingenieros Consultores. Nos obligó a crecer de forma especial. El proyecto había sido objeto de un concurso internacional que había ganado una UTE entre Lamela y Rogers.

Fue un proyecto extraordinario por sus dimensiones, más de 1.000.000 m², por su presupuesto, del orden de 6.000 millones de euros, por el tiempo de ejecución, por su trascendencia para Madrid, etc.

Entramos en el proyecto después del concurso y durante su elaboración. Entramos para asesorar a Aena. Salimos el día de su inauguración, aunque en realidad, por suerte, no hemos salido nunca, ni en los momentos más tristes, cuando el atentado, ni ahora que se está transformando para ganar rentabilidad y requiere de intervenciones para cirujanos que lo conocen bien.

Desde la posición en la que estábamos, primero como asesores del cliente Aena y luego como proyectistas del proyecto constructivo trabajando para los constructores, podríamos haber tenido una relación compleja con el equipo de proyecto, pero nunca fue así.

Desde el primer momento en que se sentaron las bases de colaboración y a lo largo del día a día, fue creándose ese nivel de confianza que es imprescindible para afianzar la relación. Debe siempre, en este ámbito y probablemente en todos, generarse un nivel de confianza que avale los intercambios que se establecen en este tipo de trabajos. Esta confianza debe ser mutua. Esta confianza es imprescindible porque supone poner en manos de otros, actividades y decisiones que tienen trascendencia. Esta confianza que debe conse-



Fig. 6. T4 de Madrid. Edificio terminal y satélite

guirse es casi mágica y una muestra de entendimiento. Es el indicador más vivo de que la simbiosis se ha conseguido.

En este proyecto ha habido mil ejemplos de colaboración. Quizás los más significativos que recuerdo, por el carácter más ingenieril de los mismos y por suponer, en cualquier caso, un mayor nivel de confianza entre arquitectos e ingenieros: el procedimiento constructivo adoptado y el desarrollo de los puentes de acceso a la terminal.

En cuanto al proceso constructivo, que creo que fue uno de los mayores aciertos de esta obra para permitir una velocidad de construcción extraordinaria, se pusieron encima de la mesa todos los posibles: prefabricación, sistemas tradicionales, sistemas típicos de puentes, etc. Aparecieron también todas las desconfianzas. Las de los arquitectos que temían, no sin razón, por la calidad de la ejecución, las de los constructores, que intentaban optimizar todas las variables de su ecuación: facilidad constructiva, velocidad de construcción, eficiencia económica, etc.

El resultado fue adoptar un procedimiento constructivo típico de puentes pero para una estructura de edificación, de cargas y dimensiones más modestas. La solución estructural es de pórticos con luces de 18,00 m de vano y vigas pretensadas. Había más de 80 km de vigas. Debía construirse con un alto grado de sistematización. La propuesta fue utilizar unas cimbras para las vigas autoportantes y combinarlas con un proceso constructivo en donde la sección transversal era evolutiva, con mejor peso cuando se hormigonaba sobre la junta y cargando la viga a medida que aumentaba su capacidad resistente. El ciclo era:

a. Hormigonado de las vigas en longitudes de 72 m con cimbra autolanzable. Movimiento de la cimbra a las pocas horas haciendo trabajar la sección de la viga solo con armadura pasiva, es decir, armada.

b. Pretensado de la viga cuando tenía una fracción mínima de la carga total final. Esto creaba los problemas típicos de vacío, pretensado con poca carga para compensar.

c. Instalación de las losas alveolares entre pórticos.

d. Hormigonado de la capa superior de las losas alveolares y de la parte superior de la viga.

Un proceso rápido, optimizado económicamente y con unas calidades compatibles con los requerimientos de la arquitectura.

El otro ejemplo fue el proyecto de los puentes de acceso a la terminal, inicialmente planteados con formas y proceso constructivo diferentes de los que finalmente se ejecutaron.

En este caso las luces de los vanos de los puentes, en la zona de la terminal, eran los mismos que las de los pórticos, 18,00 m, es decir, una luz modesta. Por otro lado los puentes esta-



Fig. 7. Construcción de la T4. Vigas longitudinales de los pórticos de 18,00 m de vano con cimbra autolanzable

ban a distintos niveles, para acceder a salidas llegadas y otros usos de las distintas plantas. Por último, los puentes eran muy anchos, por lo que la mayor demanda estructural estaba en el comportamiento transversal más que en el longitudinal, como ocurre normalmente en puentes.

La experiencia de los ingenieros en puentes y las necesidades de los mismos para servir a un edificio dieron lugar a muchas reuniones de diseño, maquetas incluidas tal como normalmente se hace en arquitectura, dio lugar al final a un resultado realmente adecuado.

3. Torre Intesa-San Paolo

En estos momentos en los que trabajar en el exterior es una necesidad, de una complejidad extraordinaria por miles de razones, también la arquitectura nos ha dado la oportunidad de realizar el proyecto de la estructura de la torre Intesa-San Paolo en Turín, proyecto del arquitecto Renzo Piano.

Este es un edificio de una complejidad estructural extraordinaria. Tiene distintos usos a largo de su altura. Debajo de la rasante, aparcamiento e instalaciones. La planta suelo es una plaza prácticamente diáfana donde no llegan más que



Fig. 8. Torre Intesa-San Paolo en Turín, Italia

seis megacolumnas. A nivel 7, a 34,00 m de altura, existe una planta de transición, que es la que permite minimizar el número de pilares que llega al suelo, de la que cuelga un anfiteatro y de la que parten 35 plantas de oficinas. Es una estructura de 2.000 toneladas de peso propio que es necesario construir a esta altura. Las plantas normales son bastante diáfanas pero con más pilares que los que llegan al suelo. En los últimos niveles, en la parte superior del edificio, hay un jardín de invierno, público con salas de exposiciones, restaurante y otras instalaciones.

Es un edificio que tenía un proyecto básico, pero había que hacer el proyecto de construcción y modificaciones para la optimización. A pesar de que el contexto de la obra era muy complejo –en Italia las gestiones tienen una complejidad infinita–, de nuestra posición en el proyecto, de nuevo del lado del constructor que es una situación mal entendida y estigmatizada, y de la complejidad específica de la obra, la colaboración con Piano fue adecuada y el resultado fue también muy bueno.

4. Pasarela Cáscara Madrid Río

Este es un ejemplo especialmente interesante. M-Río [8] ha sido uno de los proyectos de urbanismo más interesantes de la historia de Madrid, y tendrá una trascendencia histórica para la ciudad. Se han quitado de la superficie más de 120.000 vehículos/hora en horas punta. Se ha eliminado la separación que suponía la M-30 en una gran parte de su trazado y, quizás lo más importante, se han habilitado más de 1.000.000 Ha para uso de la ciudad. Extraordinario, a pesar de las críticas de su costo y los inconvenientes causados por su construcción.

En este contexto, Fhecor Ingenieros Consultores ha colaborado con el equipo de arquitectos ganador del concurso –Garrido-Burgos, Rubio-Álvarez Salas, Javier Porras, West 8– en el proyecto de pasarelas y otras intervenciones estructurales necesarias. Otra gran oportunidad y un gran placer.

Estas pasarelas sobre el Manzanares son la entrada al nuevo ámbito cultural que constituye el rehabilitado edificio de los antiguos mataderos de Madrid. Para estas pasarelas se pensó en una intervención especial, se pensó en una pasarela que fuera a su vez soporte para una obra de arte que anunciara al paseante que entraba en un recinto especial, en una nueva área cultural. Salvando las distancias, era como realizar una Capilla Sixtina moderna pero aunando el encuentro y la colaboración entre muchos interlocutores: arquitectos, artistas, ingenieros y constructores, que antaño eran, ya se ha dicho, una única persona. Había que poner en común capacidades y



Fig. 9. Pasarela Cáscara en la zona de Matadero. M-Río. Madrid.



Fig. 10. Escultura de Arturo Berned

oficios ejecutados desde distintas experiencias y entornos de educación. El resultado, como puede verse, ha sido fantástico.

5. Esculturas de Arturo Berned

Los arquitectos siempre ofrecen nuevas posibilidades. Arturo Berned [9], arquitecto, es también un conocido escultor y utiliza materiales estructurales, como el acero, para realizar esculturas de grandes dimensiones, gran altura y gran esbeltez.

Invitados a participar en uno de sus proyectos, vimos, tras una aproximación al problema, que sus esculturas son estructuras elegantísimas que requieren muchos de los ingredientes de otras estructuras. Requieren además de una enorme delicadeza para tratar las superficies, para esconder las soldaduras para exaltar la forma y la textura. Son estructuras delicadas a las que hay que tratar de forma especial. También ha sido un aprendizaje una invitación tan atractiva.

6. Consideraciones finales

Nuestros respectivos oficios, de arquitecto y de ingeniero, siempre han tenido un objetivo similar: pensar, actuar y hacer poniendo el ser humano en el centro de nuestra actividad.

En el pasado más remoto ha sido tarea de grandes de la historia de la ingeniería, la arquitectura, la construcción y el arte, todas actividades gestionadas por el mismo y brillante artista.

La historia ha marcado un camino que ha tendido a la especialización y, con ella, al alejamiento de estas dos disciplinas, tan complementarias. Es imprescindible rehacer las relaciones entre ingenieros y arquitectos para poder servir mejor a nuestro

verdadero objetivo, contribuir a la evolución del género humano, ejerciendo responsablemente y con amplitud de miras nuestros respectivos oficios para ayudar a vivir, para enseñar a vivir, para armonizar nuestras obras con el entorno, para dejar trazas de nuestra evolución, para contribuir a mantener mejor nuestra existencia y la de nuestro planeta... **ROP**

Referencias

- [1] Montero Fernández, Francisco Javier (2004). 'El Panteón: Imagen, tiempo y espacio. Proyecto y patrimonio'. Sevilla: Universidad de Sevilla. Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. ISBN 84-472-0824-9
- [2] Galliazzo, Vittorio (1994), *I ponti romani. Catalogo generale*, Vol. 2, Treviso: Edizioni Canova, pp. 320-324 (No. 646), ISBN 88-85066-66-6.
- [3] Griggs, Francis E. (2007), 'Trajan's Bridge: The World's First Long-Span Wooden Bridge', *Civil Engineering Practice* 22 (1): 19-50, ISSN 0886-9685.
- [4] Chueca Goitia, Fernando (1966). 'Casas reales en monasterios y conventos españoles'; 2ª ed. corr. y aum. 1982. Xarait, Madrid. ISBN 84-85434-18-8.
- [5] Torroja E. (1958): *The Structures Of Eduardo Torroja. An Autobiography Of Engineering Accomplishment*. F W Dodge Corporation. ISBN: 84-498-0430-2.
- [6] Rice, P (1994): 'Un ingeniero imagina'. 1994. ISBN: 978-84-932270-5-0.
- [7] 'Hormigón y Acero'. Número Monográfico dedicado a la Nueva Área Terminal del Aeropuerto de Barajas. ACHE nº 239 1º Trimestre 2006.
- [8] Madrid Río. Un Proyecto de Transformación Urbana (2011) ISBN: 978-84-7506-978-4.
- [9] Arturo Berned. <http://www.berned.com/>

Sobre la buena colaboración entre arquitectos y ingenieros

El Pabellón de Estado del aeropuerto de Barajas



Mike Schlaich
Ingeniero civil

Participantes en el proyecto

Constructor:

Aena, Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea, Madrid

Contratista principal:

Dragados, Madrid

Arquitectura:

Estudio Lamela, Madrid

Richard Rogers Partnership, Londres

Diseño de estructuras:

Schlaich Bergermann und Partner, Stuttgart

Cubierta de membranas:

B&O Hightex, Rimsting.

La colaboración entre arquitecto y ingeniero es buena si al final cuenta con una calidad holística que se manifiesta en un *Gesamtkunstwerk* donde todos los aspectos de la obra son de alta calidad y donde las contribuciones individuales de los actores están tan amalgamadas que no se pueden atribuir a una profesión o un individuo solo. Respecto a la colaboración entre arquitecto e ingeniero se habla de veracidad de la construcción cuando las dos caras de la misma moneda coinciden: ‘técnica’ y ‘arte’ o ‘función’ y ‘emoción’.

Queremos vivir en edificios ‘buenos’, de calidad, porque fomentan calidad de vida. Para el arquitecto Volkwin Marg, un edificio es bueno cuando es bello, y la belleza aparece cuando la veracidad se une con la bondad de una construcción, que tiene un efecto positivo sobre la sociedad. ¿Veracidad, bondad y belleza? Hay otras ‘tres cualidades’ para definir el logro, aunque la más conocida es del arquitecto Vitruvio –firmas, utilitas

y venustas–. El ingeniero Jörg Schlaich utiliza los adjetivos ecológico, social y cultural cuando define una buena estructura ligera y el ingeniero David Billington habla de eficiencia, economía y elegancia para la creación de ‘*structural art*’. Es un fundamentalista que no confía mucho en el *Gesamtkunstwerk* como resultado de la colaboración de arquitecto e ingeniero pero me llama la atención que utilice la palabra elegancia.

Me parece que los ingenieros hablan bastante más de la elegancia que los arquitectos. No sé por qué pero admito que a mí me atrae también y que me parece un ingrediente importante de una buena obra. Para mí, la elegancia es belleza ‘plus’, belleza más ligereza, transparencia, reducción, purismo o movimiento. No obstante, creo que lo más importante es que elegancia aparezca sin esfuerzo –‘*effortless*’–. Algo es elegante, si intuimos que ha sido muy difícil lograrlo aunque no veamos los esfuerzos que han sido necesarios para conseguirlo. Queremos vivir en edificios elegantes, con obras elegantes ¿por qué fomentan una vida elegante?

Cada uno debe juzgar por sí mismo si el Pabellón de Estado del Aeropuerto de Barajas le parece elegante, pero claramente es el resultado de una buena colaboración no solo entre un arquitecto y un ingeniero, sino de dos estudios de arquitectura en el equipo y el propio contratista en la mesa. Y además, había muchísima prisa. La suerte era que los arquitectos, el Estudio Lamela y Rogers+Partners ya habían diseñado juntos las terminales del aeropuerto. Los elementos del pabellón son: la nube de membrana que da sombra, la cubierta banda tesa de vidrio con la fachada de vidrio que aísla de los ruidos, los puristas espacios laterales de hormigón que también sirven de apoyo para la nube y que permiten el anclaje fácil de la banda tesa. Los miembros del equipo han formado una composición de elementos, que, espero, se perciba como una contribución positiva al conjunto del aeropuerto de Barajas.



Fig. 1. La nueva Terminal 4 del Aeropuerto de Madrid-Barajas

Para los que quieren saber más detalles sobre la estructura, adjuntamos una versión abreviada de un artículo sobre el proyecto que se publicó en marzo del 2004 en la revista alemana Bauingenieur.

Pabellón de Estado. La Terminal para altas autoridades del Aeropuerto de Madrid-Barajas

Resumen artículo publicado en Bauingenieur 2004

Autores: Knut Göppert, Sebastian Linden, Thomas Moschner



El Pabellón de Estado del Aeropuerto de Madrid-Barajas se unió a la Terminal T4 en el año 2005 como terminal oficial para visitas de Estado. El edificio ofrece un ambiente adecuado para recepciones de estado y asistencia a representantes oficiales del Gobierno y de la Casa Real.

La sala de recepción central, situada entre dos vigas de hormigón armado de dos plantas, destaca por una cubierta textil compuesta de dos partes. Las membranas se sostienen sobre una construcción de acero interior y forman aleros en voladizo en un sentido frontal. Una cubierta flotante de vidrio y las fachadas de vidrio templado de la parte frontal garantizan la protección climática del área central.

Gracias a la minimización de los elementos de soporte se alcanza una transparencia máxima de la construcción: Flejes de acero colgantes forman base de soporte para estructuras de vidrio y fachadas de vidrio en voladizo las cuales se ven sostenidas por una barra de vidrio colocada horizontalmente.

1. Pabellón de Estado/Contexto Terminal 4

Para satisfacer las crecientes necesidades del tráfico aéreo en el siglo XXI, se amplió el aeropuerto de Madrid-Barajas entre los años 1997 (concurso) y 2006 (inauguración) de la mano de los arquitectos Richard Rogers Partnership, Londres, y del estudio de arquitectos Estudio Lamela, Madrid, creando las nuevas terminales T4 y T4S.

El edificio está compuesto de dos vigas laterales de 14,40 m de anchura, 64,80 m de longitud y 4,80 m de altura, y un pasillo central con cubierta de 18,00 m de anchura.



Fig. 2. La nueva Terminal 4 del aeropuerto de Madrid-Barajas

Otra viga de hormigón armado paralela de tamaño similar cierra el lado este. A lo largo de la estructura de las vigas se disponen las salas multifuncionales, mientras que el pasillo toma el papel de sala de recepción. Las vigas laterales son una construcción de hormigón liso de una planta con fachadas abiertas hacia al frente y fachadas cerradas al exterior. La parte interior se abre hacia la zona de paso central por varios accesos y sus paredes de 7,20 m de altura delimitan la sala de recepción.

La sala de recepción dispone de una cubierta translúcida casi flotante que la protege de la radiación solar directa. Además, una construcción de cristal compuesta de tres fachadas independientes y una cubierta de cristal colgante ofrece protección contra el viento y la intemperie. La construcción translúcida de la cubierta y las superficies transparentes de cristal no se perciben tanto como una estructura creadora de espacio, es decir, elementos de delimitación, sino más bien como una envoltura ligera que facilita la fluidez entre el interior y el exterior.

2. Cubierta textil/construcción

La gran estructura de la cubierta consta de un tejido de membrana de dos capas que se sostiene mediante una construcción de acero situada en su interior. La existencia de una capa superior y una inferior refuerza desde lejos su imagen.

Las membranas se apoyan de forma alterna sobre vigas de acero lentiformes con una distancia de 7,20 m entre ellas. Los cables valley situados entre ambas capas garantizan la tensión necesaria de las membranas. Las vigas de acero de tubo circular atraviesan más de 25,20 m a una altura de 4,50 m. Los cordones en forma de arco de las vigas de acero están separados y estabilizados por postes de tubo circular a una distancia de 3,20 m. Gracias a la estructura curvada de los cordones y la homogénea transferencia de cargas procedente de



Fig. 3. Vista de la estructura de la membrana



Fig. 4. Vista del Pabellón de Estado desde el área de maniobras

las membranas conectadas, se puede prescindir de barras en diagonal. Las vigas están simplemente apoyadas y articuladas en sus extremos y una de las capas de membrana es suficiente para evitar vuelcos.

La construcción de la cubierta en su parte frontal sobresale como voladizo por ambos lados aprox. 11,00m. Las membranas están aquí unidas a una viga marginal de tubo circular.

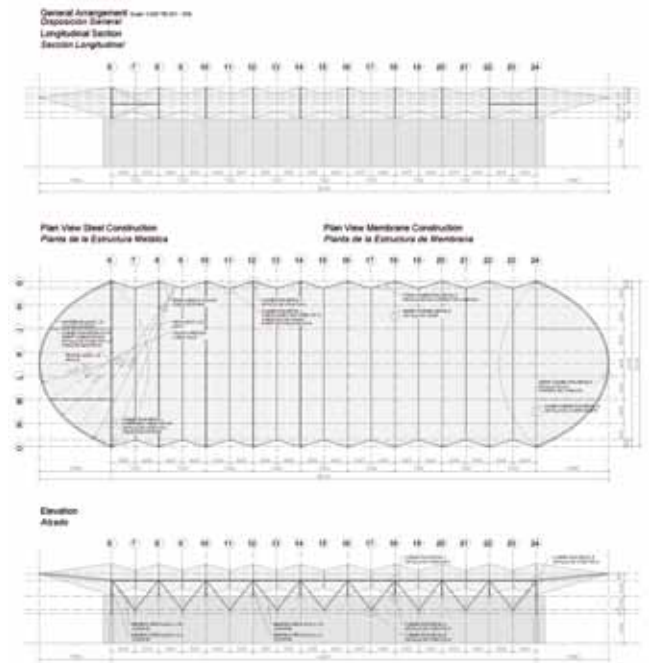


Fig. 5. Vista de la estructura de membranas



Detail F Strap Connection Visorbeam
Detalle F Conexión de Conexión

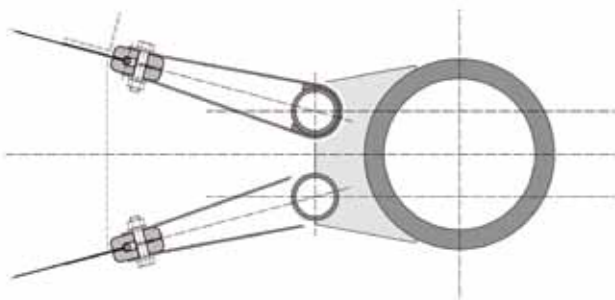
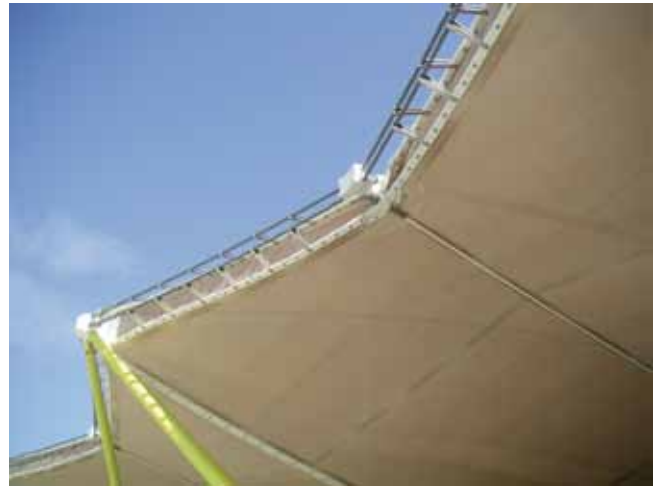


Fig. 6. Conexión en el borde de la membrana en la zona de los extremos

La parte final de este voladizo está inclinada hacia arriba aprox. 1,00 m para garantizar el desagüe a lo largo de la viga marginal. Las membranas funcionan aquí como componentes principales para el desvío de cargas de su propio peso a las vigas marginales y de cargas de nieve (membrana superior) así como de cargas suspendidas (membrana inferior). Como prevención a siniestros por caída de la membrana superior se han colocado dos cables de seguridad adicionales en el interior de las membranas que, sin embargo, no participan en la transferencia de cargas prevista.

Toda la estructura de la cubierta se apoya sin forzar sobre trípodes de acero de tubo circular en los extremos de los caballetes de acero lentiformes. Los trípodes están conectados a otros componentes en los tabiques que flanquean la sala de recepción garantizando así la rigidez de la estructura de la cubierta en sentido longitudinal y transversal.



Detail G Strap Connection
Detalle G Conexión de Conexión

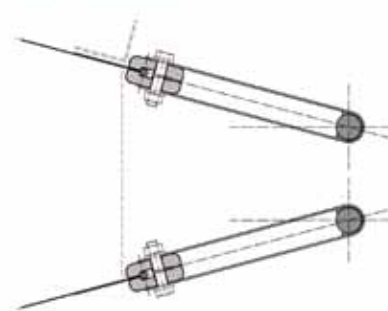


Fig. 7. Conexión en el borde de la membrana en los márgenes de ajuste

Componentes y Detalles de Conexión

La membrana superior está compuesta de tejidos de fibra de vidrio recubierta de PTFE con una resistencia a la tracción de 140 kN/m en sentido de la urdimbre; la membrana inferior está compuesta de tejidos de fibra de vidrio tejida recubierta de PTFE con una resistencia a la tracción de 100 kN/m en sentido de la urdimbre. Las conexiones a las vigas marginales así como a los pares de cables marginales se lleva a cabo mediante placas de sujeción de aluminio con bandas de acero inoxidable con una distancia de 0,50 m.

3. Cubierta de Vidrio/Construcción

El margen superior de la sala de recepción esta formado por una construcción de acero y cristal extremadamente reducida, constituida únicamente por 27 bandas de chapa de acero flotantes sobre las que se apoyan paneles de cristal. Las bandas de chapa con un corte transversal de 120x130 mm cubren más de 18m entre las paredes que flanquean la sala. Están



Fig. 8. Espacio interior y cubierta de cristal



Roof Support Perspective
Sujeción de la cubierta, Perspectiva

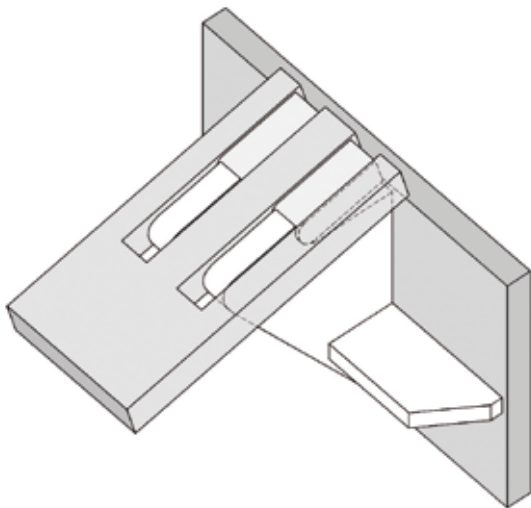


Fig. 9. Fijación de las bandas flotantes

colocadas a una distancia de 1,80 m, de manera que con un saliente de 0,3 m a ambos extremos se alcanza una longitud total de la cubierta de 47,40 m.

La fijación de la construcción a las paredes laterales se consigue mediante consolas, cuyas chapas tienen forma de garras y están provistas de hilos de teflón. Los extremos de las chapas flotantes poseen un equivalente de acero inoxidable y se cuelgan desde arriba en las garras. Las consolas están integradas en un perfil tipo U que se extiende por toda su longitud creándose así una línea suave e ininterrumpida. Al mismo tiempo, este perfil sirve para fijar el revestimiento de las paredes hecho de malla metálica de acero inoxidable.

A parte de las bandas suspendidas no existen más elementos de soporte en toda la estructura de la cubierta. La estabilidad de la estructura suspendida se consigue exclusivamente gracias a su propio peso.

4. Fachadas de Cristal/Construcción

La sala de recepción está delimitada por dos fachadas de cristal hacia el cielo y hacia el exterior; una tercera cubierta separa además el espacio interior en dos grandes áreas. Las tres fachadas son idénticas, tienen una anchura de 18 m y su margen superior sigue el contorno de la cubierta. La altura máxima de la fachada asciende a aprox. 6,20 m hasta el margen y a aprox. 5,00 m en su parte central.

Al contrario de la imponente estructura de la construcción de los marcos de las puertas que marca la imagen exterior, la superficie que se deja a las fachadas debía quedar arquitectónicamente lo más oculta posible, incluso ser casi invisible. Para conseguirlo se eligió una construcción de vidrio templado con amplios paneles de una altura de suelo a techo de 1,80 m y una barra de cristal colocada horizontalmente a una altura de 3,60 m. Los marcos de las puertas sobresalen por su parte superior en voladizo y forman así un soporte adicional para la barra de cristal. Hablando desde un punto de vista estático, se trata de vigas de un solo vano que desplazan las cargas de viento de las superficies de la fachada a los soportes.

Los paneles de cristal de las fachadas están colocados en perfiles tipo U tanto en el borde inferior como a lo largo de los bordes fijos (paredes, marcos de puertas) y únicamente apoyados en la superficie de la fachada a través de la barra horizontal de 400mm de profundidad. El voladizo libre por encima de la barra de cristal mide hasta 2,60 m.



Fig. 10. Vista de la fachada de cristal

Los paneles de las fachadas están contruidos con tres láminas de vidrio templado de 12 mm de grosor cada uno y dos láminas interiores de PVB (de 2,28 mm cada una). En el caso de la barra de cristal se trata también de un acristalamiento triple compuesto por láminas de vidrio ESG de 100mm de grosor. Las barras de cristal están provistas de entalladuras en sus extremos, lo que permite reducir la altura de construcción en las áreas de soporte de 400 mm a 360 mm. De esta manera, se crea una línea de fuga ininterrumpida de los bordes del vidrio con las cubetas situadas sobre los marcos de las puertas a una profundidad de asimismo 400 mm.

Sin embargo, el desafiante detalle de la construcción de la fachada lo representa la unión entre la barra de cristal y los paneles de la fachada. También en este caso, para evitar uniones de

metal o similares, se eligió un encolado que asimila totalmente la transferencia de fuerza entre ambas partes.

Las juntas verticales entre los paneles de las fachadas únicamente están rellenos de silicona. Además, las condiciones de utilización permiten prescindir de una unión cerrada de la fachada a la cubierta. A favor de la ligereza de la construcción, obtenemos aquí una amplia abertura de 15 cm que posibilita un moldeado libre de la cubierta.

5. Agradecimiento

El diseño y la ejecución del Pabellón de Estado tuvo lugar entre enero y septiembre de 2005. Considerando el tan corto plazo de tiempo destinado al diseño y construcción, conviene agradecer a todos los participantes la perseverancia y dedicación que se precisaron para la realización de este proyecto. **ROP**

Referencias

- GÖPPERT, Knut ; LINDEN, Sebastian ; MOSCHNER, Thomas:
Pabellón de Estado – *Das Staatsterminal am Flughafen Madrid Barajas*. In: Bauingenieur 82 (2007), S. 103-108

Diálogo “constructivo” entre amigos



Rafael de la Hoz Castanys

Arquitecto.

Director de su propio estudio



Jesús Jiménez Cañas

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Director del Departamento de Estructuras de la Escuela Superior de Arquitectura de La Salle. Universidad Ramón Llull de Barcelona.

Director de su propio estudio de ingeniería

Resumen

Pretendemos reflexionar sobre nuestra forma de colaboración arquitecto-ingeniero en redacción de proyectos y su posterior construcción. La estructura son los elementos de la propia arquitectura encargados de vencer la gravedad. Protagonismo de los procesos constructivos en el resultado y percepción final. Importancia de la voluntad de comprensión de las peculiaridades específicas, de los conocimientos, cultura y formación de cada uno. Protagonismo y la evidencia o no de la estructura. Singularidad sí, ¿riesgo?, razonablemente no. Al inicio del proyecto, es difícil conocer los límites del problema, un problema que va más allá del programa.

Palabras clave

Colaboración estructural, constructividad, fachada estructural, tipología y escala, lo aparente

Abstract

The article seeks to examine the extent of collaboration between architect and engineer in design and building. The structure as the element of architecture entrusted with defying gravity. The protagonism of building processes in the end result and perception. The importance of the intended understanding of specific peculiarities, of the knowledge, culture and education of every one. Protagonism and the evidence or not of the structure. A nod to singularity, but by no means to risk. At the start of a project it is difficult to know the extent of the problem, a problem that goes far beyond that of planning.

Keywords

Structural collaboration, constructivity, structural walling, type and scale, the apparent

Hablando de ‘construcciones’, pretendemos comentar algunas reflexiones sobre nuestra forma de afrontar la colaboración arquitecto-ingeniero en los procesos de proyecto y construcción en los que hemos tenido la oportunidad de intervenir. Los proyectos que no se construyen, son huérfanos de haber sufrido y gozado de enfrentarse con la realidad, alguna vez también difícil e ingrata, de enfrentarse con la realidad de su propia virtualidad.

Hablamos sobre la colaboración en las estructuras resistentes –la colaboración con ingenieros de instalaciones o de otros campos supondría otro tipo de comentarios–.

Coincidimos en entender los elementos que habitualmente se denominan estructurales, como pertenecientes y difícilmente separables de los denominados también habitualmente arquitectónicos. En realidad, y hacer una definición siempre puede resultar pedante o peligroso, “la estructura la forman elementos de la propia arquitectura encargados de trasladar las cargas al suelo, o más preciso, de vencer a la gravedad”.

JJC.- El arquitecto tiene la idea inicial del proyecto, de lo que quiere expresar o transmitir, del proceso que podría entenderse, casi siempre, como un salto al vacío. Cuando el arquitecto ya tiene la idea, es cuando comenzamos a trabajar sobre esa base, aportando cada uno lo que se nos ocurra. Suele ser una fase muy fructífera y gratificante.

RLH.- Nosotros o lo hacemos todo o lo hacemos en colaboración. En muchos casos, cuando trabajamos con empresas de ingeniería extranjeras, ya contratadas por el cliente, hay que dárselo todo hecho, esa fase de comprensión o análisis es más difícil. Acabamos haciendo el proyecto estructural nosotros aunque ellos lo completen con el cálculo.

La verdad, fuera de España, el proceso no tiene nada que ver con lo que sucede aquí.

Me interesa, sobre todo, tu aportación en la fase de definición, de lo que podría denominarse proyecto estructural, tipología idónea y “amistad total y respeto” con el resto de



la arquitectura. Luego me interesa también tu aportación en el “cómo se construiría”. Sería la fase de definición de cómo hacerlo posible.

JJC.- Es cierto, en numerosos ejemplos de construcciones civiles, el proceso constructivo es preponderante e incide directamente en las características técnicas y hasta formales del propio proyecto. Con frecuencia, si el proyecto constructivo es erróneo se pueden desvirtuar gran parte de las intenciones del proyecto, con resultados verdaderamente ortopédicos.

RLH.- Cómo se construye Repsol o Telefónica... debemos ser capaces de ‘convencer’ al constructor que intenta otros procesos, que normalmente, ni siquiera suponen ventaja alguna para él. Yo necesito que el proceso constructivo sea bello, pero cuando el arquitecto hace una manifestación semejante, el constructor piensa que te has vuelto loco. Y sin embargo, es cierto que, a veces, me gustan más las fotos de la obra que el resultado final.

JJC.- La referencia es oportuna. En Telefónica querías hacer desaparecer los pilares de planta baja, en una esquina de cada uno de los ocho edificios de cuatro plantas y en una banda de 8,10 x 24,30 y de 8,10 x 32,40 m. No había otra posibilidad que colgar esas esquinas de la gran cubierta, pero esa cubierta no estaría construida hasta no haberse edificado los propios edificios. En realidad el proyecto estructural no estaría bien resuelto hasta no conseguir un sistema constructivo que no exigiera depender de un cálculo de deformaciones, muy difícil de precisar, por la cantidad de elementos cuya rigidez era aventuradísimo evaluar. Cuando encontramos una solución constructiva en la cual la nivela-

ción final de las plantas suspendidas era independiente de esas deformaciones de la gran cubierta, es cuando pudimos pensar en haber resuelto satisfactoriamente el proyecto estructural. Como ya hemos comentado, si el proceso constructivo es erróneo, el resultado final resultará ortopédico.

La colaboración ingeniería-arquitectura

RLH.- ¿Qué experiencia tienes en ese aspecto?

JJC.- En general la colaboración entre estudios de ingeniería y arquitectura es buena cuando existe voluntad de comprensión de las peculiaridades específicas de cada uno, –aportables– al proyecto. No siempre es así, sobre todo cuando se intenta contraponer la diferente formación y cultura técnica de ambos, sin querer comprender que se está interviniendo en un empeño común. Creo que esto mismo sucede entre profesionales de cualquier otro sector.

RLH.- En lo referente a tu experiencia, tanto en el ámbito del desarrollo del propio proyecto como a la satisfacción del resultado, ¿con qué arquitectos has trabajado mejor?

JJC.- He trabajado con muchos arquitectos, en general me he sentido muy confortable con la mayoría. Mi relación con las estructuras de arquitectura comenzó a principios de los años 70 colaborando con el Estudio Per de Barcelona (Pep Bonet, Cristian Cirici, Lluís Clotet y Óscar Tusquets). Incluso antes, durante la carrera, ya estuve trabajando en el estudio de los arquitectos Fdez. Castro y Guzmán Folgueras. Me ayudó mucho a entender la arquitectura y a familiarizarme con su lenguaje proyectual. Empecé a colaborar con Rafael





Moneo, contigo mismo y con muchos arquitectos 'senior' y 'junior' (Dominique Perrault, Norman Foster, Herzog & De Meuron como extranjeros y numerosos estupendos arquitectos españoles extraordinariamente lúcidos), con todos ellos, salvo raras excepciones, la colaboración ha sido fructífera y al menos para mí, muy gratificante.

En algunas ocasiones, estos trabajos me han hecho plantearme algunas posibilidades de interés. Antonio Moragas, en un centro cívico en Montjuïc, resuelto con cerchas metálicas, de canto importante, la fachada era una enorme cristalera y prefería que no se evidenciara la cercha coincidente con el plano de vidrio en superpuesta a él. Le indiqué que con las dimensiones que necesitaba para la carpintería de colocación de los vidrios, tendríamos sección suficiente para que la fachada fuera portante y no necesitaríamos cercha alguna. En realidad, no es ninguna novedad, en los edificios antiguos

las fachadas, frecuentemente eran también resistentes. En el siglo XII, (y seguramente antes), ya se empezaron a descomponer esas fachadas portantes, que se comportaban como un muro continuo pero con apoyos, próximos, intermitentes. Este mismo recurso lo he utilizado en un edificio de Patxi Mangado, en Santiago de Compostela. Las fachadas están formadas por una sucesión de perfiles metálicos compuestos, muy esbeltos y próximos, que apurando las posibilidades de pandeo, son a la vez fachada estructural y carpintería para los vidrios.

RLH.- ¿Por qué el adjetivo 'fachada descompuesta'?

JJC.- En realidad, debería denominarlas como fachadas estructurales discontinuas. Es cierto, el adjetivo correcto debería ser aquel, pero en realidad se trata de una fachada que se comporta, dada la proximidad de los apoyos, como muro de carga continuo. Puede entenderse como una transición parecida a la del románico al gótico.

Hay un edificio claro ejemplo de fachada estructural descompuesta: la Fundación Alicia (Lluís Clotet e Ignacio Paricio) que se proyectó y construyó en Martorell, para Centro de Experimentación de cocina de Ferran Adrià. Sólo tiene un apoyo interior, el resto es fachada estructural descompuesta.

RLH.- ¿Se puede decir que una estructura es arriesgada, tal como escuchamos muchas veces?

JJC.- En sentido estricto, todas deben estar calculadas con los coeficientes de seguridad adecuados. Podrían deno-





minarse, insólitas, atípicas feas, bonitas, espectaculares, inteligentes, expresivas, ingeniosas... o cualquier otro calificativo, pero no arriesgadas. El riesgo puede derivarse de un proyecto estructural en el que, al igual que en el ajedrez, una casilla tenga excesiva responsabilidad en la victoria final y cuya pérdida provoque el desastre. Ese riesgo estadístico de posible error posterior, durante la construcción o en su vida útil, por un exceso de protagonismo resistente de algún punto determinado, es lo que se puede minimizar o evitar desde el proyecto. Impartir clases en un máster de estructuras me resulta muy enriquecedor y, a veces, me sorprende encontrar profesionales de diferentes países extrañados de que mis clases no se centren fundamentalmente en el cálculo, más en proyectar bien y en tipología. El cálculo es muy importante pero, sobre, todo es una comprobación o ajuste de un buen proyecto. Tiene que ayudar pero no puede ser el leitmotiv del proyecto.

El ingeniero tiene la necesidad de entender el proyecto arquitectónico

RLH.- A veces se produce una crítica mutua (ingeniero-arquitecto) por el gran desconocimiento que existe. El ingeniero piensa que el arquitecto tiene un gran desconocimiento de la forma y del cálculo y el arquitecto, por otra parte, a veces, piensa del ingeniero: qué pesado, cómo me cuesta entenderme con él.

Lo que está claro es que ninguno de ambos conoce los límites del problema al inicio del proyecto, un problema que va más allá del programa.

Para la determinación de la magnitud del problema, el ingeniero aporta précalculos, investigaciones propias, consultas al arquitecto, etc. El arquitecto llega por un método de aproximaciones sucesivas, inicia el camino de una forma más frívola, de prueba-error... Y en ese proceso va descubriendo

cual es el problema que todavía no ha resuelto. A veces muy difícil de describir.

Cuando el ingeniero le acompaña en este proceso, esta primera fase puede llegar a agotarse. No está acostumbrado a dedicar tanto tiempo a la determinación del problema. Mi experiencia me dice que a veces, el arquitecto sabe hacer, a solas, ese primer proceso y sabe cuándo debe comenzar el diálogo arquitectura-ingeniería, el arquitecto no tiene la solución pero ha sabido acotar el problema. Yo le dedico mucho tiempo a determinar el problema, a solas, pero no podría hacerlo sin el conocimiento de una escuela técnica.

JJC.- A veces el ingeniero prefiere estar en ese proceso inicial con el arquitecto.

RLH.- Si eso es así, es muy útil, pues en ese proceso de aproximaciones, que a veces, nosotros descartamos alguna vía que podría recuperarse si el ingeniero estuviera allí y nos hiciera considerar su validez. Este proceso supone un notable esfuerzo de buena disposición y comprensión por parte del arquitecto y del ingeniero.

JJC.- A los alumnos de arquitectura les intento convencer de que la estructura forma de la misma arquitectura sin que los elementos estructurales sean ajenos o independientes del resto. Deben estar en la cabeza del generador del proyecto desde el inicio, sin olvidar que el edificio se tiene que sujetar aunque sea el ingeniero u otro especialista quien lo haga posible.

RLH.- ¿Cuál es la principal dificultad que has encontrado en ese aspecto?





JJC.- Frecuentemente, la apreciación errónea de la escala de los elementos estructurales. Los ‘buenos arquitectos’ no tienen este problema porque, de origen, cuentan con su presencia en el proyecto global. No obstante, algunos no evalúan esa escala y enseguida nos acusan de estar destruyéndoles su proyecto. Esto es así por estar bien planteado, el arquitecto no ha entendido su propio proyecto.

A mis alumnos les aseguro que la colaboración es más fructífera cuando el ingeniero ha asumido el objetivo del proyecto: si la estructura ha de ser protagonista o pasar desapercibida; si su expresión debe ayudar a la lectura y entendimiento del proyecto siendo expresiva o no; si debe o no hacer patente cómo funciona, etc. La mayoría de los ingenieros queremos que la estructura se entienda diciendo: “qué fuerza tiene esta estructura, qué bien se lee...” A veces, es necesario que se entienda la estructura pero a veces no, podría competir con un efecto volumétrico o de espacio, en un proyecto en el que eso sea lo fundamental.

Algunos ejemplos paradigmáticos: Santa Sofía y la Mezquita de Córdoba

RLH.- Los edificios tienen la forma de su estructura. Quien no entienda esto no puede ser arquitecto. Pero hay algunos casos paradigmáticos en los que no es así. Pongo dos ejemplos: Santa Sofía y la Mezquita de Córdoba.

En Santa Sofía no hay estructura aparente. Al entrar en Santa Sofía y todo el mundo se pregunta, ¿pero esto cómo se sujeta? Es evidente que hay una concesión de las estructuras,

pero no es explícita, por lo tanto, deja al espectador el placer de intuir que sucede allí. ¿Cómo es posible que la bóveda se sustente sobre la otra?

La Mezquita, otro ejemplo, es el caso contrario. Se trata de un bosque de estructura, un bosque estructural.

Podría pensarse que una emociona a los arquitectos y otra a los ingenieros, pero no es así, ambas nos emocionan a los dos.

En la Mezquita, podría pensarse que la estructura es explícita, pero no es así porque el primer arco no sustenta nada. El segundo sin embargo sí. Este sería un ejemplo fabuloso para las escuelas. Abriría un debate sobre si el arquitecto





debería suprimir el primer arco por no sustentar nada y el ingeniero debería eliminarlo por honestidad estructural. Sin embargo, es el ingeniero quien propone ese arco, pues no sustentando nada, formalmente se vincula tanto al otro que genera una sensación de ingravidez del que resulta un interior mágico...

Los dos son ejemplos de ingeniería y arquitectura paradigmáticos. Son ejemplos opuestos, sin embargo parten del mismo programa: hágame usted un templo. A partir de ahí hay que resolver el problema. La decisión arquitectónica de estructura explícita o su ocultación para generar una atmósfera espiritual, es un buen ejemplo del proceso del ejercicio que comentamos, arquitectura-ingeniería.

JJC.- Personalmente a mí, me gusta mucho llegar a entrar en el fondo del problema arquitectónico. Si no entiendo el fondo, difícilmente podré interpretarlo y por mucho espíritu de colaboración que aporte, nunca será lo mejor que sea capaz de hacer.

RLH.- Hemos sido educados como si existieran grandes diferencias, pero realmente yo no veo tantas entre arquitectura e ingeniería.

JJC.- Es verdad. En el pasado, por ejemplo, las obras relacionadas con el ferrocarril, no solo la infraestructura, y en muchas ocasiones también las estaciones, que eran proyectos impresionantes, las hacían los ingenieros. Después vino el culto excesivo a la especialización del cálculo, que quizás haya facilitado ese divorcio. Así encontramos, muchas veces, la denominación de calculista (que a mí no me gusta nada por limitativa) a cambio de la más considerada 'proyectista de la estructura'. Pero en cuanto a la definición de la forma y a la respuesta funcional de la forma, la sintonía es fundamental y en sentido estricto tiene más que ver con proyectar, con imaginar ('El ingeniero imagina'. Peter Rice) que con solo calcular.

RLH.- Es una evidencia. Es una relación de afecto/desafecto, con la gravedad. Siempre tenemos los ejemplos de vuestros puentes. Es decir plantear un artificio por el cual la materia se vence a sí misma. Si no hay en la arquitectura una relación de cómo fuimos capaces... la materia se devendría ingravida. La estructura se encarga de devolver al terreno aquello que le has arrancado. Al final, consiste en hacer magia. Sería un poco estúpido si al final del artificio nos dijeran: yo lo he hecho así. La idea es imaginar el artificio. Debe haber un punto de misterio para que la gente se pregunte ¿y esto, cómo lo hicieron?

JJC.- Es imprescindible llevarse bien en el diálogo entre arquitectura e ingeniería, y en eso sería muy importante que en nuestras escuelas se hablara también de expresarnos con el dibujo, de conceptos y cultura formales, de composición, etc. Afortunadamente, ya hay algún catedrático y algunos profesores interesados en transmitirlos. Sin duda estarán facilitando la comunicación y entendimiento con la arquitectura que, presumiblemente, manejan esos conceptos con familiaridad.

RLH.- A propósito del dibujo, a mi padre le gustaba mucho mostrarme los dibujos de la Torre Eiffel en construcción, donde aparecen unas grúas con unos arcos que son completamente falsos y mi padre decía: ¡mira, mira, los ingenieros!. Pero no tanto por la falsedad, sino porque el proyecto necesitaba esa dulcificación, esa referencia a una estructura clásica como el arco. **ROP**

¿Puede una estructura del siglo XXI construir el espacio de una villa romana del siglo IV?



Paredes Pedrosa Arquitectos
Ángela García de Paredes
Ignacio García Pedrosa

Gogaite Ingenieros
Alfonso Gómez Gaité
Alfonso Redondo Gómez

Resumen

La villa romana La Olmeda contiene un valioso conjunto de mosaicos romanos del siglo IV. Se proyecta una cubrición continua para la excavación, que permite su conservación y su visita, sin interferir con la planta del yacimiento arqueológico. La cubierta, protagonista del espacio, se organiza en cuatro bóvedas metálicas, que cubren el área de la Villa, apoyadas perimetralmente y sobre cuatro pilares que delimitan el patio originario. El interior se plantea como un gran recinto continuo, dentro del cual se integran los distintos elementos que constituyen el programa museístico como piezas autónomas bajo la cubierta única..

Palabras clave

Villa, romana, Olmeda, mosaicos, Palencia

Abstract

The Roman Villa at La Olmeda contains a valuable series of 4th century Roman mosaics. A continuous enclosure has been designed to cover the excavation to allow conservation and visits without interfering with the area of the archaeological site. The roof cover – the most prominent feature of the structure – is arranged around four steel arch structures covering the area of the Villa, supported at the perimeter and on four columns bordering the original courtyard. The interior is arranged as a large continuous open space incorporating and combining all the different elements of the museum exhibition as individual exhibits under one roof.

Keywords

Olmeda Roman Villa, Palencia

La Olmeda recupera una villa romana del siglo IV descubierta casualmente en 1968 en un paisaje de choperas característico de la Vega del Carrión. El entorno es horizontal y salpicado de bosques y la Villa, que contiene uno de los mejores conjuntos de mosaicos romanos de la península ibérica, está rodeada de fincas con cultivos de regadío. La intervención debía integrarse en el lugar, como la silueta de sus árboles y de otra parte debía integrar en su interior la huella del yacimiento arqueológico y un museo que exhibiera los ricos pavimentos de mosaicos, geométricos y figurativos, exhumados durante cuarenta años de excavaciones y que el visitante espera encontrar dentro de una villa romana.

La voluntad de hallar una solución integradora entre el exterior y el paisaje y entre el interior y el área arqueológica es extensiva en La Olmeda a la arquitectura y estructura. La dificultad conceptual que representa la reconstrucción de una arquitectura que existió hace más de 1.600 años y de la que desconocemos sus características espaciales

mas precisas conducen, bien a un ejercicio de invención constructiva y fabulación histórica o bien a una solución arquitectónica que sea capaz de evocar las condiciones de riqueza espacial que sin duda tuvo la villa en sus días de esplendor. Se plantea resolver esta dificultad recurriendo a una solución arquitectónica en la que la desnudez estructural sea expresiva y minuciosa en la resolución formal de todos y cada uno de los elementos constructivos, desde las uniones estructurales al conjunto estructural buscando la unidad de lenguaje.

En este sentido, entender la arquitectura como una actividad integradora de cuestiones diversas es la base de la contribución conjunta del arquitecto y del ingeniero al proyecto de La Olmeda y la edificación se plantea, como en tiempos pasados, como una empresa colectiva. En La Olmeda es verdaderamente imposible decir dónde termina la arquitectura y donde comienza la ingeniería y viceversa. El planteamiento de un basamento estructural de hormigón visto, que ata el



Fotos: Roland Halbe

edificio al lugar y que protege el valioso legado arqueológico, se une al de una cubierta metálica muy ligera que parece flotar sobre el yacimiento y que queda vista configurando un artesonado estructural, que a modo de la “carpintería de armar” tradicional española sea capaz de mediante pequeñas piezas de salvar grandes luces y evocar así la cubierta de un palacio. El proyecto de La Olmeda ha requerido la utilización de estructuras distintas que sin embargo tienen una presencia unitaria, pues todas ellas quedan vistas en el interior. El cerramiento que configura el perímetro exterior, se construye con un muro de hormigón blanco con encofrado de tablilla vertical que le aporta una textura vibrante. Sobre este muro, que se corona con una pasarela zigzagueante en ménsula también en hormigón blanco, se apoya tanto el cerramiento de acero corten como los pilares de acero que constituyen el apoyo estructural de borde y el soporte de las fachadas traslúcidas perimetrales que se integran en la escala y en el paisaje cambiante de las choperas.

Resolver la estructura de la extensa cubierta no supone pues sólo una cuestión de esfuerzos mecánicos, con el condicionante de los escasos puntos interiores de apoyo, supone también una presencia desnuda protagonista del nuevo espacio arquitectónico de la villa romana. Debe evocar la cualidad espacial que un día tuvo la villa e incorporarla al valor arqueológico que hoy posee. Al observar el aspecto industrial de las naves utilizadas en otros yacimientos, cu-

yas cubriciones exhiben un carácter funcional de cerchas y chapas ligeras, inducía a plantear el diseño de la estructura como un elemento determinante de la nueva imagen de La Olmeda. De otra parte se debía resolver la construcción de una gran estructura en un medio rural lejos de fabricantes y tener como medio de izado una única grúa en el centro del yacimiento, que no debía ser pisado. Todo ello llevó a desarrollar un sistema constructivo modular prefabricado en taller. De esta manera, se resolvió asimismo el problema del transporte de las piezas romboidales de acero por medios convencionales y la propia estructura de acero podía quedar vista como un gran artesonado abovedado.

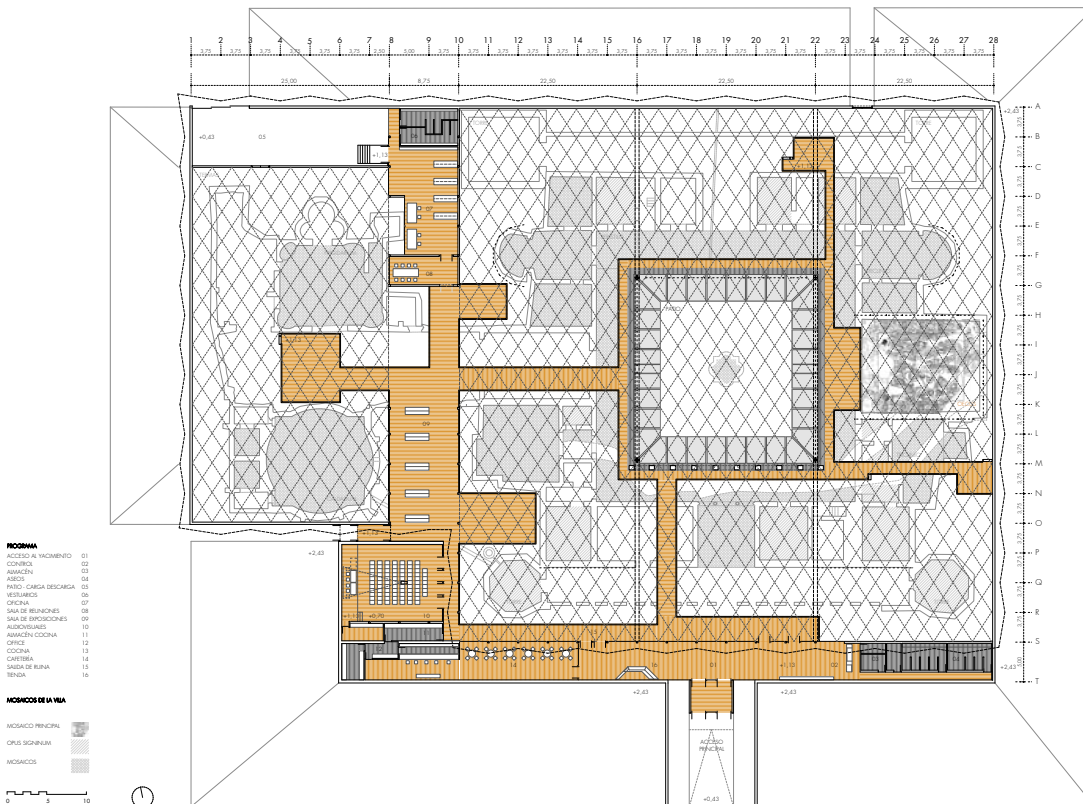
Las bóvedas se apoyan longitudinalmente en vigas también metálicas que a su vez descansan sobre ligeros pilares de acero en todo el perímetro y en cuatro grandes pilares en cruz dispuestos en el patio central, que recupera el carácter de jardín central que tuvo, alrededor del que están dispuestas las salas tapizadas de mosaicos de la gran villa rural. Los cuatro apoyos centrales marcan las esquinas de este antiguo patio y dos potentes vigas compuestas reciben la estructura de piezas romboidales atornilladas. Los pilares dejan completamente libres los mosaicos geométricos del peristilo. Exteriormente, las estructuras abovedadas configuran la cubierta que, aislada y ventilada, se reviste de chapa de aluminio e interiormente quedan vistas como un ligero entramado reticular.



Fotos: Roland Halbe

Para cubrir todo el recinto, se proyectaron cuatro membranas abovedadas metálicas con retícula romboidal formada por tubos rectangulares unidos entre sí por los vértices con piezas especiales de unión y tornillos de alta resistencia, que permitían un ensamblaje cómodo in situ. Cada rombo se considera empotrado en sus vértices y articulado con los contiguos. La pieza de unión de los rombos tubulares de acero es igual para los rombos interiores y distinta para los que apoyan sobre las vigas, de tal forma que como un gran mecano de piezas modulares se construye una estructura tan amplia como se necesite.

Se debía tanto evitar la imagen de una estructura de nave industrial como ocultar la estructura con innecesarios recubrimientos. La estructura se proyecta integrando la necesaria estabilidad del edificio y la forma tectónica. Las soluciones estructurales se integran en la arquitectura del proyecto y las luces necesarias entre apoyos para sortear los muros y pavimentos de mosaicos, que requieren unas dimensiones



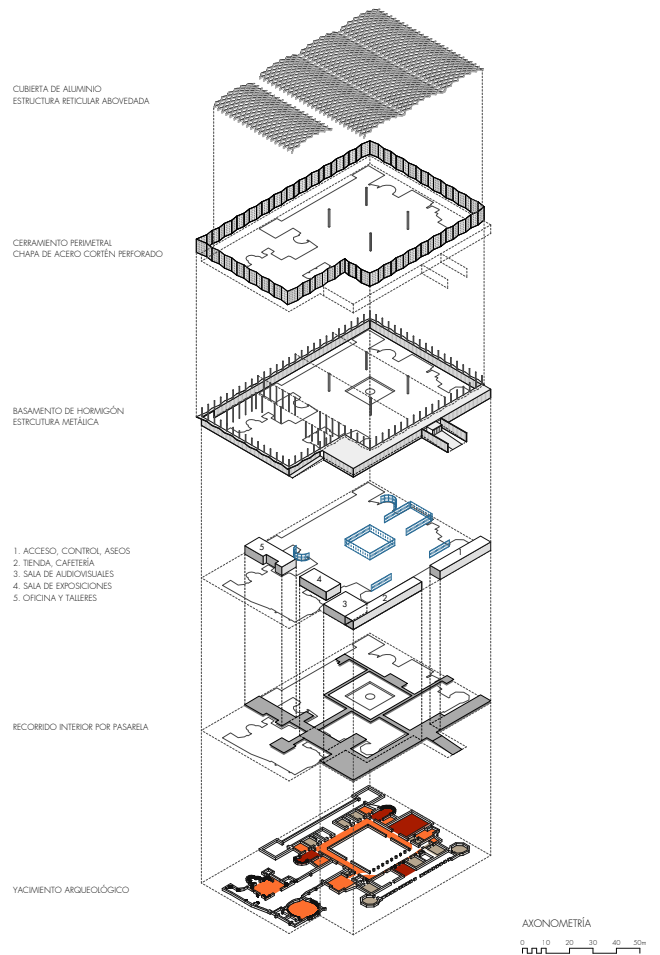
que otorgan a la estructura de cubierta una escala poco doméstica, se han proyectado como una estructura modular y repetitiva que favorece una lectura unitaria tanto del conjunto como de detalle simultáneamente. De esta manera, la presencia dominante de la estructura de cubierta, consigue una sensación de ligereza subrayada por la luminosidad perimetral que produce el cerramiento traslúcido.

Se trata de una cubierta formada por una bóveda aislada de 25 m de luz, mas otras tres bóvedas contiguas de 22,5 m de luz, todas ellas proyectadas en estructura metálica. La bóveda aislada de 25 m de luz está formada por rombos de 375 x 250 cm, contruidos con tubos rectangulares de 200 x 80 x 8 mm, existiendo 10 rombos en la dirección de la luz. Esta bóveda apoya puntualmente sobre pilares metálicos HEB-200, cada 3,75 m, existiendo unos apoyos también sobre pilares HEB-200, cada 2,5 m en los laterales de la bóveda. Perimetralmente a la altura de la coronación de pilares se ha dispuesto un HEB-200 que une todos ellos.

Las tres bóvedas contiguas de 22,5 m de luz se han concebido con una estructura similar de rombos de 375 x 250 cm, con tubos de 200 x 80 x 8 mm, existiendo en este caso nueve rombos por bóveda. Los apoyos de las bóvedas también son sobre pilares HEB-200, cada 3,75 m en los lados exteriores, siendo en los interiores sobre una viga metálica compuesta y continua, que solamente apoya sobre cuatro pilares, con luces de 22,5 m. Existen igualmente apoyos en los laterales de cada bóveda, con pilares HEB-200 separados 2,5 m, así como los perfiles HEB-200 en su coronación.

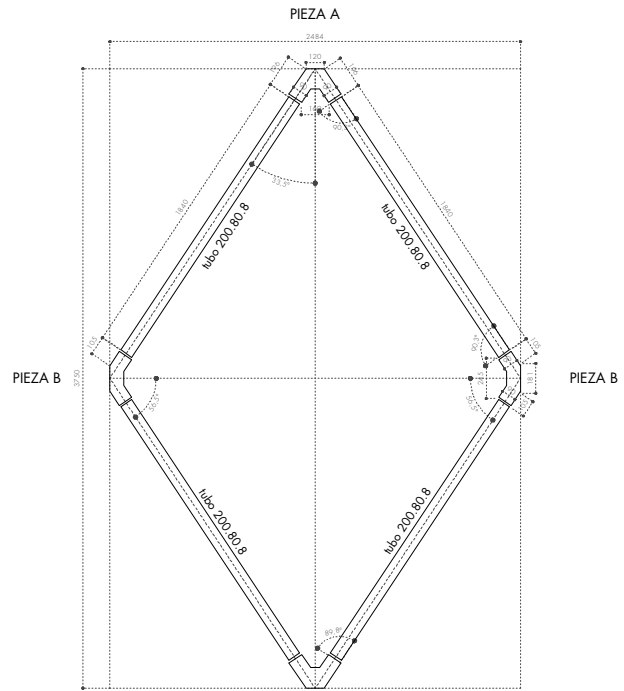


SUPERPOSICIÓN AXONOMÉTRICA DE LA INTERVENCIÓN

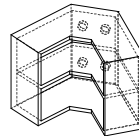


En cada uno de los apoyos de las bóvedas se han dispuesto tensores macizos que unen dos apoyos opuestos, limitando los desplazamientos horizontales de las cabezas de los pilares y las posibles deformaciones. Estos tensores son de cable de diámetro de 24 mm y tienen una tensión inicial equivalente a la tensión de alargamiento con cargas permanentes. Con esta tensión inicial se consigue que durante el servicio normal de la estructura las deformaciones sean mínimas y solamente aparezcan deformaciones al actuar las sobrecargas como nieve o mantenimiento.

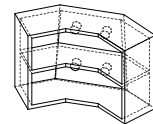
Los pilares son continuos desde cimentación o coronación de muro a cubierta, teniendo los que nacen en cimentación una coacción intermedia a nivel de cubierta plana. La estructura contempla una disposición de pilares perimetrales con separaciones de 3,75 m, cuya cimentación no interfiere con



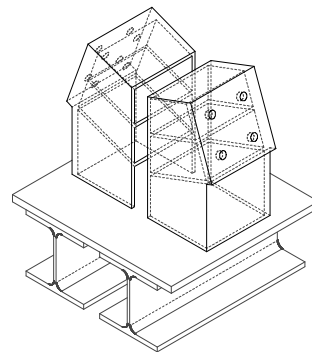
MÓDULO ROMBO



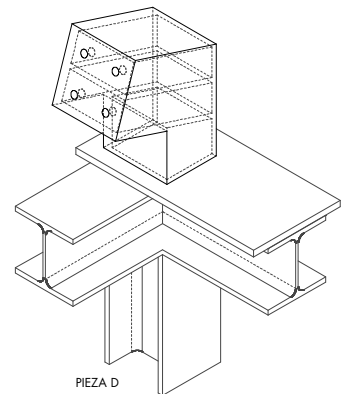
PIEZA A



PIEZA B



PIEZA C



PIEZA D

AXONOMÉTRICA PIEZAS ESTRUCTURALES
0 10 20 30 40 50cm

las ruinas documentadas hasta el momento de redacción del proyecto. Al aparecer nuevos restos arqueológicos durante las obras, fue necesario suprimir algunos de estos pilares, ya que su cimentación interfería con los nuevos restos y se plantearon en determinados puntos vigas de mayores luces de hasta 15 m.

La pasarela por la que el visitante recorre la villa, un plano horizontal levantado 1,15 m respecto de la cota de los mosaicos, se apoya en esta red de pilares que sortean los pavimentos protegidos y hacen compatible las geometrías de las estancias y del recorrido. Donde no se encuentra apoyo, como en el deambulatorio del patio, íntegramente pavimentado de mosaicos, se ha recurrido a una estructura que se apoya en el interior del patio y que vuela sobre los mosaicos utilizando bandejas ajardinadas de acero corten,

que evocan el verdor del antiguo patio, como contrapeso a la pasarela en voladizo. Entre las bandejas y la pasarela de madera, una banda de tramex sobre el muro romano establece la separación y permite la transparencia de la estructura. El programa funcional de infiltra a lo largo del recorrido entre los muros romanos, sin tocarlos, pero enlazados mediante la pasarela.

Conceptualmente en la intervención en la villa de La Olmeda, necesariamente la antigüedad se confronta con la modernidad y la arqueología con los nuevos criterios museísticos al proponer la musealización integral de un yacimiento del siglo IV en el siglo XXI. No sólo se deben proteger y contemplar correctamente los mosaicos sino transmitir la sensación de visitar una gran villa romana. En La Olmeda, la estructura no sólo responde a criterios de estabilidad, sino a una construcción en la que arquitectura e ingeniería resuelven con actitud integradora la conservación de una arquitectura del pasado en un espacio contemporáneo. **ROP**



Fotos: Roland Halbe

La interacción arquitectura-estructura en dos importantes edificios de altura y un excursio acerca de la generalidad de dicha interacción en el momento actual



Julio Martínez Calzón

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Presidente de MC2 Estudio de Ingeniería

Resumen

Julio Martínez Calzón relata en este artículo el proceso de colaboración arquitectura-ingeniería estructural en la realización de la Torre Sacyr y la Torre de Riad, dos trabajos que ha realizado conjuntamente con Carlos Rubio.

Palabras clave

Arquitectura, estructura, Torre Sacyr, Torre de Riad

Abstract

In this article Julio Martínez Calzón describes the collaboration between structural engineering and architecture in the construction of the Sacyr Tower and Riyadh Tower, two works conducted in conjunction with Carlos Rubio.

Keywords

Architecture, structure, Sacyr Tower, Riyadh Tower

Cuando, hace algún tiempo, Carlos Nárdiz me propuso escribir para la Revista de Obras Públicas un artículo, en conjunto con Carlos Rubio, en el cual relatáramos de manera sugerente el proceso de colaboración arquitectura-ingeniería estructural (A-I), en la realización de dos importantes edificios de altura en los que habíamos trabajado de esa manera, le respondí que sí de inmediato. Primero, porque en dichos proyectos creo que ambos alcanzamos a encontrar una coordinación interesante y fructífera; nada teórica y sí muy pragmática y positiva, en el sentido de llegar a definir muy claramente los aspectos que facilitarían en todo momento el mejor desenlace de una solución que, manteniendo plenamente la caracterización original arquitectónica-funcional, ayudó a simplificar el diseño estructural y su constructibilidad.

Y segundo, porque el tema general en sí ha venido siendo, durante algún tiempo reciente, campo de reflexiones y artículos que puedan seguirse en la bibliografía que se cita¹.

No tuve en cuenta en aquel momento que estaba iniciando la apertura de una novedosa etapa que, a modo de epílogo, clausuraría la actividad primordial que hasta el

pasado 31 de diciembre ha constituido el marco ingenieril de mi trabajo.

Esas y otras circunstancias derivadas de ello, menos problemáticas pero sí exigentes de mi tiempo, fueron demorando una y otra vez, sine die, la redacción del tema que tenía pensado llevar a cabo a partir de dos páginas esquemáticas, que había pergeñado nada más terminar la charla con Nárdiz y la inmediata conversación con Carlos Rubio concretando el proceso a seguir, para no olvidar los puntos precisos de lo que pactamos preparar.

Pero la realidad es que, en el nuevo contexto en el que actualmente estoy, escribir algo concreto acerca de aquellas dos colaboraciones me resultaba algo inviable porque, precisamente, todo eso que he llamado coda o remate profesional me estaba presionando a reflexionar, justamente, aunque de manera totalmente diferente sobre dicha relación A-I, si bien en un nivel más complejo y extenso que el requerido para el artículo. Consideraré, por ello, que podría resultar apropiado dar a mi contribución un carácter un tanto diferente a lo pactado y mucho más ceñido a lo que aquí estoy abordando; es decir, una línea mucho más amplia y expresiva que la

del escueto margen que el tema original ofrecía, poniendo en juego recursos más abiertos y globales, relacionados en parte con la idea original, pero mucho más motivados por lo que mi actividad presente demanda.

En estos momentos me encuentro en Taliesin West, en Arizona, en el complejo de la Universidad Frank Lloyd Wright, creado por ese insigne arquitecto en la última fase de su vida, como contrapunto alternativo al famoso Taliesin original situado en Wisconsin que, con su impresionante y tremenda historia, plena de avatares, marcaría de manera trascendental el quehacer y la vida de este formidable arquitecto, sin duda el más creativo y arrollador –si se me permite decirlo– que haya dado este arte en el pasado siglo.

Aunque su obra no haya tenido luego, aparentemente, la misma o parecida influencia estilística que otros grandes arquitectos como, por ejemplo, Mies van de Rohe, ejercieron sobre la arquitectura de su tiempo. Incluso este autor, Mies, en sus primeras fases refleja, precisamente, una clara influencia de Wright, aunque posteriormente, sin duda, su obra volaría con total creatividad propia. Porque la influencia de Wright se produce mucho más en el plano emocional personal de las ideas de cada uno, que en un proceso de formación de un estilo.

Estoy aquí como *fellow scholar teacher in residence*, para dar un curso de cuatro meses a arquitectos más o menos recientes y de muy diversas partes del mundo, sobre un tema cuyo programa se expresa claramente en su título genérico: ‘Análisis e interpretación de los conceptos estructurales fundamentales en el ámbito de la arquitectura actual’. Pretende, no sólo reflexionar sobre el asunto del cálculo y análisis resistente de los grandes edificios, sino lograr un necesario diálogo entre arquitectura e ingeniería estructural, a través de un apropiado lenguaje de entendimiento entre las partes; de manera de profundizar al máximo en la percepción de los aspectos esenciales que la estructura puede aportar –en su necesidad ineludible de ser resuelta apropiadamente– al objetivo originario del logro funcional y estético perseguido para la obra².

La cuestión es, por tanto, conseguir profundizar al máximo y exponer la intensa afinidad que he llegado a percibir, de lo que puede ser la interpercepción de la estructura en el diseño que un arquitecto ha de realizar en un edificio de importancia; de manera que la línea conductora del mismo conlleve, en lo posible y desde el origen, no la idea

estructural del ingeniero, sino la conciencia de percepción de la misma intuita por el arquitecto a través de la antedicha formación, en la idea de conseguir ese plus de potencialidad creativa que se produce en un gran edificio, cuando su estructura se acopla afinadamente al hecho formal; dando lugar, todo ello, a una especie de nimbo o atmósfera sobreesencial que vibra en todo el conjunto. De manera parecida a como se aprecia la existencia esencial de un esqueleto afinado en la percepción profunda de una figura humana de gran belleza.

Pero, además del reto que ese plan antedicho contiene, la intensidad de este lugar y el modo de vida que sigue toda la comunidad residente en Taliesin: profesores, alumnos, antiguos colaboradores de la última época de Wright, artistas, gestores de la Universidad y la Fundación, laborantes, etc., reflejan vivamente la manera de pensar y entender que tenía su creador, y todo ello influye intensamente. Y más aún en mi caso, porque todo esto me recuerda, curiosamente, al ámbito de mi primer trabajo ingenieril como investigador en el Instituto Torroja entre 1962 y 1971. Allí se daba muy parecidamente ese mismo espíritu de comunidad interprofesional y de convivencia vital, entre muy diferentes personas y profesiones: ingenieros, arquitectos, químicos, físicos, etc.; pero también administrativos, laborantes y operarios, en un modo de convivir también ideado por esa otra asombrosa personalidad del siglo pasado que, aunque con menor número de realizaciones que Wright, y menos conocida, es sin duda –y motivo de orgullo– el más preclaro signo y figura de la ingeniería civil del siglo XX en lo que a la colaboración A-I se refiere, en su camino a conseguir, a través del empleo trascendente de la estructura, como codificadora de nuevas y, sobre todo, ‘verdaderas’ formas.

Porque ¿cómo si no, pueden considerarse obras como la cubierta del hipódromo de la Zarzuela, o la del frontón Recoletos, o el mercado de Algeciras, y en menor medida Alloz o Fedala, si no es como ejemplos inefables de lo que puede representar la aportación estructural a la percepción arquitectónica de fondo?

Ideas de diseño y de constructibilidad que, además, supo reflejar de manera evidente en su penetrante texto: ‘Razón y ser de los tipos estructurales’.

Y todo este cúmulo de referencias se ha visto aún más intensificado en mi percepción, si cabe, por la lectura, completada

ayer, del libro que empecé a leer en el avión de venida; un libro alucinante sobre las relaciones que Wright mantuvo con las mujeres que constituyeron parte trascendental de su existencia. Libro que constituye una interpretación poderosa³ acerca de cómo la gran creatividad se engarza difícilmente con la existencia vital ordinaria; aspecto que lleva a poner en tela de juicio muchas de las fáciles consideraciones con que se describe la actividad de los grandes creadores, como si su logro fuera angélicamente fácil y no una lucha a brazo partido con todo tipo de circunstancias.

Todo este conglomerado de ideas turbadoras, y no por ello exentas de gran fuerza, me han llevado ahora a plantear de manera directa, en qué forma debería ser replanteado en el momento actual, un significado válido de la relación A-I en las grandes realizaciones.

Cuando los ingenieros autores de las grandiosas estructuras de gran parte del siglo XIX nos muestran la épica de su gran canto, sólo superado en proporción más tarde en contadas ocasiones al amparo de la gran técnica naciente: Plougastel, Golden Gate, Buckminster Fuller, el edificio John Hancock, el estadio olímpico de Múnich, el Banco de China en Hong Kong y algunos otros, en los que el esquema A-I es evidente y trascendente, es cuando puede percibirse lo que ese estado de gracia combinada puede suponer y aportar.

Se trataría ahora, por tanto, de plantear cómo, al amparo de las potentes posibilidades actuales, pueden alcanzarse metas semejantes, en las cuales la cualidad estructural que hoy nos es permitida pueda resplandecer combinadamente con el diseño arquitectónico, en un verdadero y esencial trabajo que reúna el nuevo y enorme potencial técnico que se nos ofrece.

Sin embargo, en los momentos actuales se ha venido dando, salvo honrosas excepciones, una situación en la que el ingeniero estructural se ha sometido a una tarea ancilar, prácticamente servil, para hacer posibles los evidentes desvaríos que justamente la capacidad resolutoria de su técnica ha propiciado y posibilitado, convirtiéndose el panorama arquitectónico en una especie de parque temático de formas en su mayor parte de dudoso gusto o inapropiadas.

No puede negarse que esta provocación acelerada: reto-resolución ha dado lugar a un apreciable progreso de

la técnica estructural en sí, tal vez de análoga manera a como el proceso tecnológico de ciertas ramas progresó enormemente durante la segunda gran guerra.

Posiblemente la crisis que se viene produciendo determine una corrección de esta tendencia aparatosa, aunque cabe dudar, dada la deriva general de las sociedades de los países avanzados hacia una actividad generalizada hacia el despilfarro sin sentido alguno, que parece tender al largo plazo, mientras el planeta lo permita.

Mi particular desiderata en esa vinculación A-I consistiría en tratar de impulsar el logro de una línea de análisis que tendería a centrarse en una visión neocanónica, capaz de recoger todo lo que ese desbordamiento de nueva riqueza generalizada puso en marcha en relación con la técnica estructural. El dominio tridimensional de las condiciones intrínsecas de compatibilidad del comportamiento de los sistemas ha determinado fructíferas soluciones, especialmente en el ámbito de los estadios y grandes cubiertas, así como en el campo de las pasarelas peatonales, al conseguir vincular muy positivamente los aspectos torsionales y flexionales. Pero, sin duda, una investigación más profunda de este cambio genérico puede dar lugar a nuevas líneas de rigor.

Personalmente, he intentado configurar abstractamente este proceso a través de lo que he denominado tensibilidad, estimando que el acoplamiento óptimo de una estructura a una forma puede ser medido por el valor del mínimo relativo de la función que expresa la energía interna de deformación de esa estructura frente a las acciones exteriores, respecto a otras disposiciones estructurales en el mismo sistema; todo ello conduciría a poder ir analizando líneas conceptuales capaces de llegar a expresar aspectos constitutivos profundos de ese mundo incógnito buscado, mundo de perfección, podríamos decir.

De igual manera me ha interesado el concepto paralelo de constructibilidad, en el sentido de intentar la búsqueda de sistemas constructivos de caracteres autogenerativos, que procuren un mínimo de materiales adicionales auxiliares a los que la estructura de por sí requiere; aprovechando al máximo tanto las cualidades de precisión de la maquinaria actual, como la gran capacidad lograda por los talleres para generar elementos muy afinados, capaces de ser ensamblados y permitir movimientos intersubconjuntos de gran precisión.

Esta entelequia la he puesto en juego, en lo posible, en diversos edificios que he tenido la oportunidad de realizar: Collserola, Palacio de Congresos de Salamanca y en menor medida y diferentemente en el edificio de Gas Natural, Telefónica ZeroZero en Barcelona y Campus Orona; y con mayor entidad en algún otro proyecto que no llegó a culminar (Torre de Valencia de Calatrava, sustituida al comienzo de su ejecución por lo que sería la ópera de esta ciudad); pero considero que hay en esta línea un interesantísimo campo de experiencias superfavorables.

Todos estos planteamientos del ámbito estructural pueden ser transferidos al campo de la arquitectura de manera que –en el momento oportuno– el factor creativo del arquitecto capte e integre en su diseño una línea de avance que favorezca la perfección de lo buscado.

En cualquier caso y aún considerando, como he tratado de decir, que el ingeniero tiene mucho que decir y cada vez más en lo que respecta a los grandes edificios por venir, e incluso en otros muchos más modestos, considero y sostengo que el arquitecto, en semejanza con el director de una orquesta⁴, debe llevar el dominio de la interpretación (proyecto global), pero considerando también que debe respetar e integrar lo que a la perfecta interpretación de una partitura (obra), significan y aportan sus solistas (ingeniería estructural; ing. de sistemas e instalaciones; ing. de fachadas; acústica...).

Pero todo este largo excursus que me he concedido como despedida, no elimina, aunque sí reduce, la presentación de la parte que debía realizar para el artículo, confiando en que Carlos Rubio en su parte cubra apropiadamente lo no expresado en mi contribución.

El trabajo combinado con el arquitecto Carlos Rubio en las dos obras que seguidamente glosaré, apoyan de manera magnífica ese correlativo A-I genérico expuesto previamente.

1. En la Torre Sacyr, conté de manera muy especial y sensible con Miguel Gómez Navarro, entonces director de MC2, para proponer y desarrollar una serie de diversos diseños y aspectos estructurales y constructivos que, en coherencia con el proyecto arquitectónico previo de los arquitectos Carlos Rubio y Enrique Álvarez Sala, conducirían a una solución global extremadamente optimizada, que tuvo una rápida y eficaz ejecución de su construcción.

Los aspectos fundamentales aportados por la ingeniería en este edificio se centraron, fundamentalmente en los 8 siguientes puntos, aunque adicionalmente, con menor importancia, hubo otro gran número de soluciones de interés.

1) Elección de un tipo de soportes mixtos estrictos (figs. 1, 2 y 3).

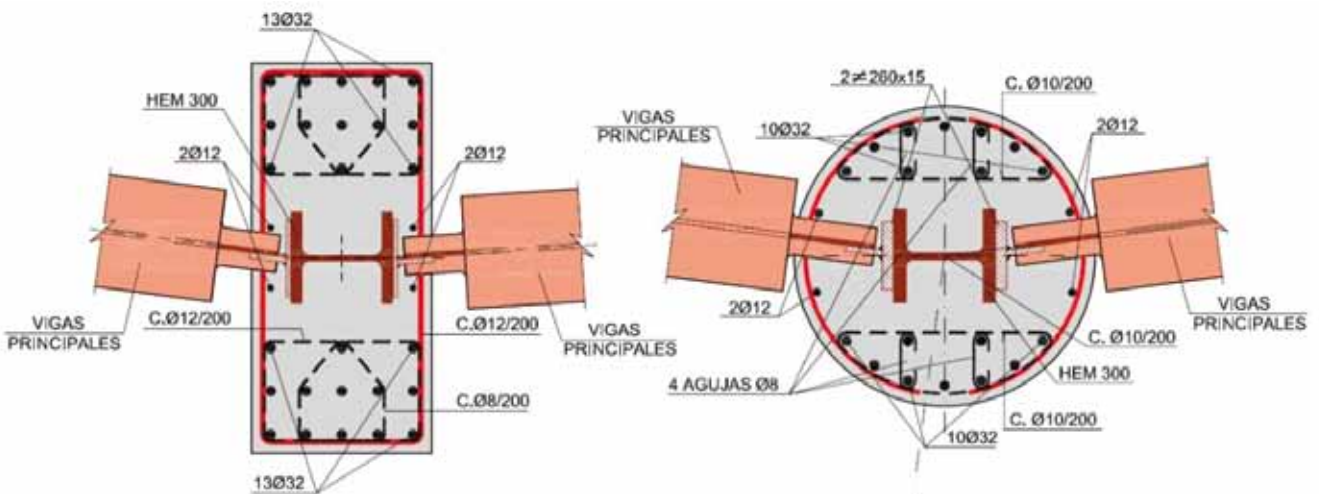


Fig. 1. Secciones tipo de los soportes con sus especiales disposiciones de elementos



Fig. 2. Uniones atornilladas y disposición de extremo de las vigas metálicas para facilitar la ejecución de los nudos



Fig. 3. Preparación posterior de la zona de hormigón con la estructura metálica ya montada

Se estimó fundamental que los soportes del edificio, manteniendo unas secciones básicamente constituidas por hormigón armado, con resistencias altas de hormigón, incluyeran centradamente en su interior perfiles metálicos estrictos, capaces de resistir por si mismos la serie de cargas que el proceso constructivo les incorpora hasta la fase en la que queda activamente realizada la constitución activa del soporte mixto con la potente aportación del hormigón y sus armaduras.

De esta manera el proceso de montaje de los elementos metálicos de las vigas de planta era muy rápido y se acortaban tremendamente los plazos de ejecución; dando lugar y no, con menor importancia, a una muy favorable introducción de las cargas de las piezas mixtas de planta en los soportes.

Un aspecto crucial de este diseño radicó en la disposición adoptada para los nudos, que facilitó la colocación de las potentes armaduras y el favorable encofrado y ejecución del hormigón del soporte en conjunto con el de las plantas de piso.

Empleando acero S355, los perfiles de los soportes variaron tan solo entre HEM300 y HEM160.

2) Cuidadosa y ajustada selección de la disposición en planta de los soportes del edificio, teniendo en consideración el doble tipo de función que, dependiendo de las zonas la planta podía tener: vivienda u hotel, con distribuciones muy diferentes del tipo y trazado de instalaciones requeridas en cada caso. Tres fueron los grupos de soportes definidos (fig. 4):

- Soportes exteriores, al interior de la doble fachada.
- Soportes intermedios centrales en las zonas entre pasillo y habitaciones del Hotel
- Soportes interiores auxiliares, próximos al núcleo de hormigón, para favorecer la configuración y pasos desde los patios y patinillos de instalaciones hacia las zonas de planta.

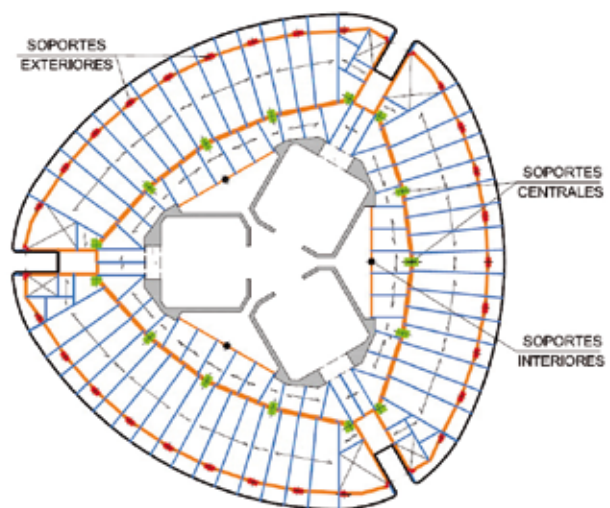


Fig. 4. Disposición de soportes, vigas y viguetas en la planta

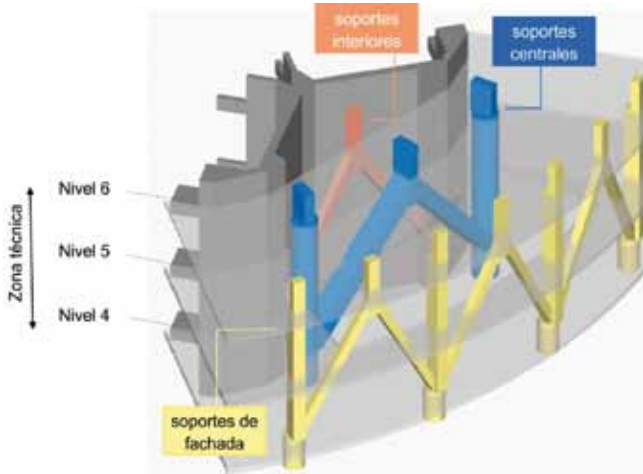


Fig. 5. Disposición esquemática del apeo de soportes eliminados en planta 6ª



Fig. 6. Bielas de descarga de los soportes interrumpidos en planta 6ª

3) Reducción a la mitad del número de soportes en las zonas inferiores del edificio (figs. 5 y 6)

Por debajo de la planta sexta, con el fin de mejorar la funcionalidad arquitectónica incrementando la diafanidad de estas plantas, de lobby y acceso público del hotel, se eliminó uno de cada dos soportes de todos los tipos antedichos, mediante la disposición de bielas inclinadas situadas entre las plantas cuarta y sexta del edificio y realizadas mediante potentes piezas mixtas con perfiles metálicos reforzados y hormigón de alta resistencia H70. Las fuerzas de desvío inferiores en el nivel horizontal de la planta 4ª se recogen mediante

tirantes de tipo anular albergados en el forjado y con perfiles inferiores al mismo.

4) Estudio afinado de las disposición de zonas regreasadas y machones del núcleo central trilobulado (fig. 7)

El trabajo fundamental de esta pieza en flexotorsión comprimida, requiere para su correcta respuesta, un estudio ajustado de sobreespesores y machones que deben ser muy afinados para no interferir los aspectos arquitectónico-funcionales necesarios: ascensores, continuidad de pasillos, trazado de instalaciones; huecos, etc.; pero poder garantizar un funcionamiento global activo de todo

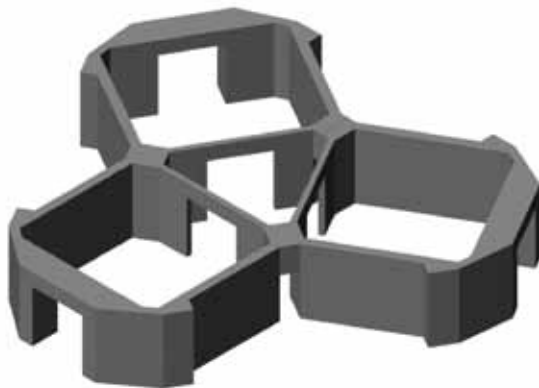


Fig. 7. Machones y zonas regreasadas del núcleo trilobular para optimizar su resistencia y deformabilidad

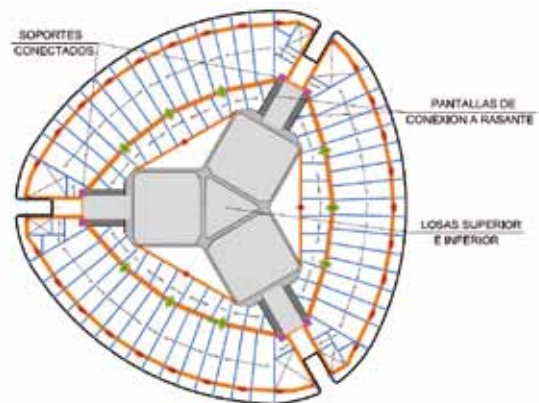


Fig. 8. Situación en coronación de las pantallas del sistema "sombrero" de colaboración de 6 soportes con el núcleo

el conjunto, sin pérdidas por desvíos en los fuerte ángulos existentes en planta.

La dimensión de estos elementos se mantuvo en toda la altura, variando las resistencias del hormigón empleado, para facilitar el uso de un único encofrado trepador y la reducción de tiempos y costes que ello produce.

5) Disposición de un sistema 'sombrero' de rigidez (fig. 8)

Para incrementar la rigidez horizontal de la Torre y conseguir que la deformabilidad de la misma se mantenga en los valores admisibles, se dispuso en la coronación del edificio un sistema de 6 pantallas radiales vinculadas a las tres entradas de los cuerpos del núcleo, de manera que los seis soportes situados en los extremos externos de tales pantallas sean puestos en carga por la deformación

del núcleo, limitando activamente los desplazamientos horizontales del conjunto.

6) Sistema mixto de vigas y viguetas combinado con el empleo de chapa plegada para la realización de las losas de piso (figs. 9, 10, 11 y 12).

Esta solución determina un sistema de peso propio muy ligero, pero sobre todo, muy favorable para integrar las importantes variaciones funcionales entre plantas (hasta 11 casos de distribuciones y cargas variadas) sin reducir prácticamente la operatividad del edificio ni la ejecución de la obra.

7) Viga exterior de borde (sigs. 9 y 13)

Para garantizar el adecuado comportamiento y rigidez del sistema de viguetas en voladizo que rematan el perímetro

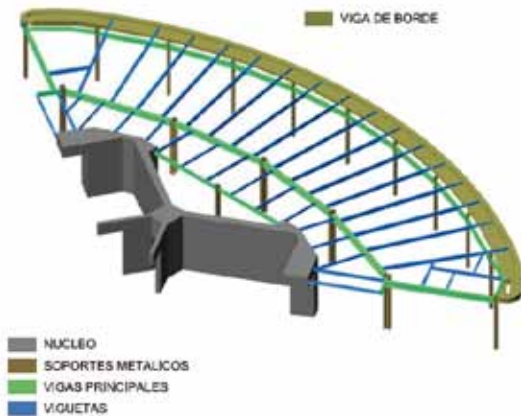


Fig. 9. Disposición de vigas y viguetas en la planta

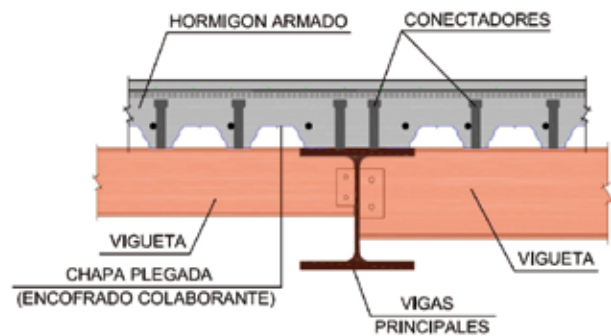


Fig. 10. Sección transversal tipo del forjado mixto



Fig. 11. Disposición de vigas y viguetas

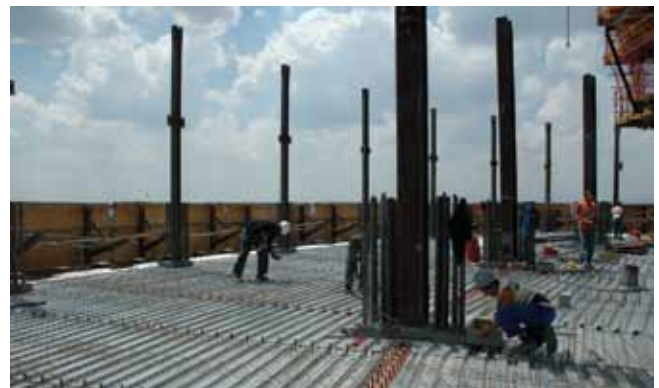


Fig. 12. Vista general del forjado en construcción

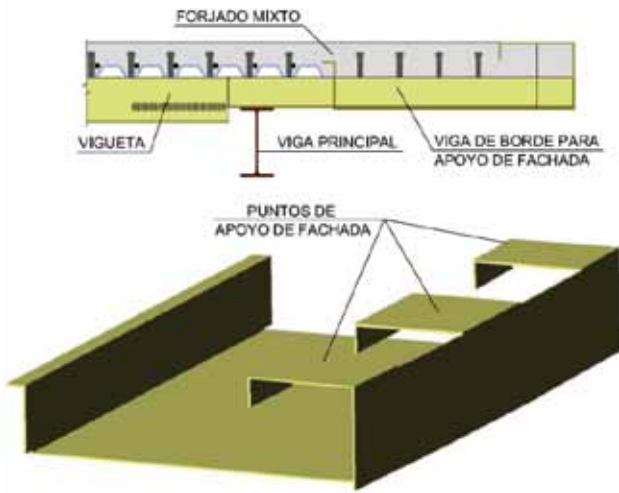


Fig. 13. Esquema y vista de la pieza metálica de la viga de borde

exterior del edificio, recogiendo además la doble fachada y permitiendo una colocación extremadamente ajustada de la misma, así como rematar el borde de la losa de chapa plegada, se diseñó una pieza mixta especial, con su sección de acero realizada mediante chapa rigidizada.

Pieza que cubre tanto el conjunto de funciones estructurales y constructivas requeridas, como las arquitectónicas y de remates, con huecos y fijaciones muy activas, obteniéndose una solución muy coordinada que tuvo un notable éxito.

8) Proceso constructivo máximamente coordinado con el esquema estructural (Figs. 14 y 15).

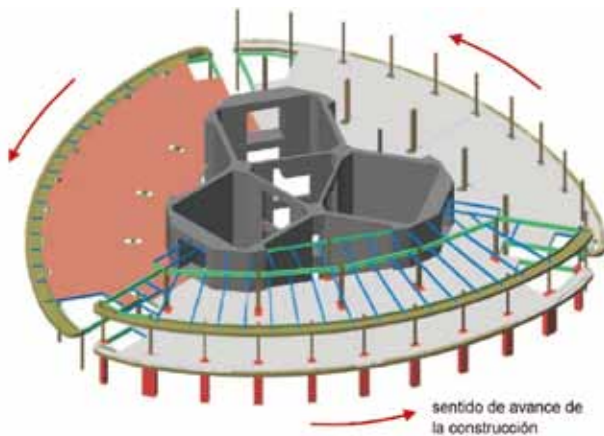


Fig. 14. Secuencia de ejecución de una planta de la Torre



Fig. 15. Vista general del proceso constructivo y del concepto estructural global

El proceso de ejecución fue muy tenido en cuenta en el diseño estructural, de manera de lograr una realización de tipo sucesivo en tres fases cada planta, con una secuencia helicoidal que facilitara y agilizara, por una parte, el montaje de los subsistemas metálicos de soportes y vigas y, sobre todo independizando de estos, el trabajo de la fase final del hormigonado global planta-soportes, de carácter mucho más aleatorio y sujeto a alteraciones de ritmo.

El conjunto de las aportaciones antedichas fue plenamente activo y el conjunto fue realizado con verdadera rapidez y eficacia, así como su coste ajustado.

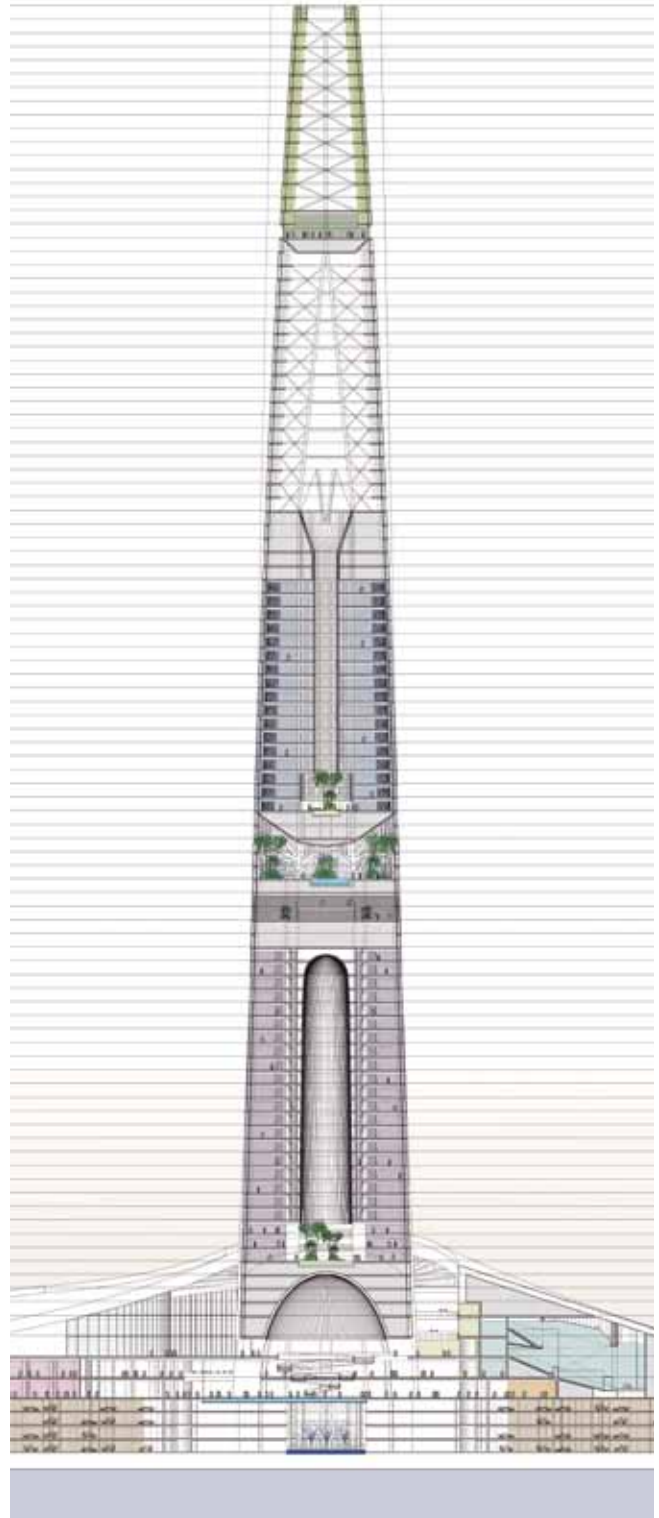
2. La Torre de Riad consiste, por el contrario, en un proyecto de carácter extremadamente abierto, planteado a modo de un gran icono que exprese la importancia de una Universidad Islámica muy reconocida; por el cual el aspecto simbólico cobra una importancia esencial. Esta condición se unía a un programa de grandes conceptos relacionados con la religión, la cultura y el avance de la civilización, y a una extensa variedad de usos que debían integrarse en la propuesta: centro de Congresos y Seminarios, incluida la posibilidad de catering; traducción y publicación de ediciones de libros y estudios especializados; centro de datos y biblioteca; grandes salones multifuncionales; restaurante y áreas de recepción; hotel con todos sus servicios; auditorium; talleres para trabajo y tiendas.

Así como la disposición específica de un área superior de carácter exclusivamente destinado a desplegar una zona de remate del edificio que reflejara la bandera del profeta y la vinculación de la Universidad con este proyecto.

Las zonas principales en las que se dividió el edificio pueden exponerse mediante cuatro áreas diferenciadas:

- Zona inferior. A modo de solemne e inmenso atrio, debía ofrecer una visión muy abierta y transparente con una fuerte interacción con los accesos desde diferentes direcciones a través de grandes rampas que llegan a penetrar en el edificio y conectan visual y expresamente con el campo universitario.

- Zona intermedia. Asimismo de gran amplitud y diafanidad, creándose en su interior un gran espacio en el cual se integran gran parte de los programas esenciales públicos: grandes celebraciones, congresos, seminarios, etc.,





lo que determina unas exigencias muy importantes en la disposición de soportes.

- Zona superior. Zona internamente vacía en su casi totalidad, que se destina con sus fachadas elaboradas a representar una especie de gran bandera al viento, con una disposición que permita la conservación y control del sistema, tanto para su visión diurna, como para su iluminación nocturna; todo ello con una gran cualidad expresiva y funcional.

- Gran patio central. Recogiendo la parte superior de las zonas inferiores de la Torre, recorre en parte la zona intermedia dando lugar a una especie de doble fachada exterior e interior en las plantas situadas entre los dos grandes espacios señalados como inferior e intermedio.

En el diseño básico esencial se produjeron diferentes interacciones con los planteamientos arquitectónicos, llevándose a cabo modelos y sistemas que fueron canalizando las ideas arquitectónicas hacia disposiciones estructurales, que finalmente permitieron establecer una estructura global que se adaptara con gran precisión a las demandas espaciales y formales, así como a garantizar la capacidad, estabilidad y confort del edificio soportado en conjunto.

En todo este proceso tuvo un marcado papel Carlos Castañón, director de Proyectos de MC2, ofreciendo soluciones estructurales de gran interés a la problemática arquitectónica planteada. **ROP**

Notas

(1) 'Visión crítica y reflexiones acerca del estado actual de los edificios altos', Julio Martínez Calzón y Carlos Castañón. Revista de Obras Públicas, nº 3552, Marzo 2014

(2) Sin olvidar, por supuesto, que otras importantes líneas de actuación: instalaciones, fachada, iluminación, acústica, seguridad, domótica, etc., han de enhebrarse también adecuadamente al diseño, para no perder la cualidad buscada.

(3) Las mujeres. T.C. Boyle [Traducción: Julia Osuna Aguilar]. Editorial Impedimenta (2013) Recomendado —una casualidad más— por otro memorable arquitecto, y sobre todo gran amigo, Juan Navarro Baldeweg y su esposa J. Ríos. Arquitecto con quien he tenido la fortuna de colaborar intensamente en ese tipo de relaciones complejas A-I; y que vendría a ser como otra vuelta de tornillo a todo cuanto estoy tratando de expresar.

(4) 'La estructura resistente y la arquitectura' (pág. 354). Puentes, Estructuras, Actitudes. Julio Martínez Calzón (2006). Editorial Turner.

Ingeniería-Arquitectura



Carlos Rubio

Arquitecto.

Fundador de Rubio Arquitectura

Resumen

El binomio arquitecto e ingeniero surgió provocado por la aparición de una nueva sociedad industrial como consecuencia de la división del trabajo, la especialización, la organización académica y el distinto interés por las nuevas tecnologías, tras Napoleón, en la posguerra de Waterloo.

Siempre he querido distanciarme de la actitud de aquellos arquitectos decimonónicos que ensimismados en sus debates endogámicos no atendieron las demandas de la sociedad de su tiempo.

Palabras clave

Sociedad, nuevas tecnologías, arte con razón de necesidad, necesidad ligada a la belleza, la belleza de la eficacia

Abstract

The architect-engineer binomial arose on the appearance of a new industrial society, as a result of the division of labour, specialization, academic organization and the distinct interest for new technologies, at the end of the Napoleonic era and in the aftermath of Waterloo.

I have always wished to keep some considerable distance from the stance of those nineteenth-century architects who were so engrossed in their endogamic debates that their failed to attend the needs of society of their day.

Keywords

Society, new technologies, art born of necessity, necessity and beauty, the beauty of efficiency

Al pensar cómo abordar la petición de la Revista de Obras Públicas de escribir un artículo a medias con Julio Martínez Calzón sobre nuestra relación profesional, o sobre la colaboración ingeniero arquitecto a través de nuestra experiencia personal, me interesó conocer el origen de las dos profesiones tal como hoy las conocemos, pues siempre me ha intrigado el recelo que supuestamente existe entre ingenieros y arquitectos. Recelo sin importancia que nunca va más allá de pequeñas bromas, pero que una y otra vez sale a la luz cuando un arquitecto y un ingeniero se encuentran.

El oficio de construir es tan antiguo como la humanidad. La arquitectura acompaña al hombre desde antes del nacimiento de la historia. Los primeros ingenieros fueron arquitectos del mismo modo que los primeros arquitectos, eran ingenieros. Toda una larguísima historia de siglos en común que se bifurca recientemente, casi hace unos días, con la llegada de la llamada arquitectura moderna.

La arquitectura moderna, que no la propuesta por el Movimiento Moderno, nace motivada por los cambios técnicos,

sociales y culturales ligados a la revolución industrial. Nace, como señala Benevolo en su 'Historia de la Arquitectura Moderna', al definirse las consecuencias constructivas y urbanísticas de la revolución industrial a final del siglo XVIII y principios del XIX.

Es justo en ese momento cuando se produjo la ruptura o el desdoblamiento, de la figura del que, había sido el 'constructor'. Ese constructor que, desde entonces, será arquitecto o ingeniero, consumando una ruptura que no volverá a recomponerse.

El binomio arquitecto e ingeniero surgió provocado por la aparición de una nueva sociedad industrial como consecuencia de la división del trabajo, la especialización, la organización académica y el distinto interés por las nuevas tecnologías, tras Napoleón, en la posguerra de Waterloo.

En España, Agustín de Betancourt (1758-1824) funda el Cuerpo de Ingenieros de Caminos y Canales con el fin de evitar errores técnicos y económicos en la ejecución de

las obras públicas de reconstrucción tras la Guerra de Independencia.

Betancourt crea la Escuela porque, según él, "...en la Academia de San Fernando de Madrid y en las demás que se intitulan de Bellas Artes no se enseña más que el ornato de la Arquitectura...".

Con la Revolución Industrial, la llamada tecnología doméstica avanzó muy rápidamente invadiendo los hogares con nuevos artefactos. Una invasión provocada por una industria emergente surgida de la colaboración de empresarios e ingenieros y en la que los arquitectos prefirieron no participar.

Entre los inventos domésticos de aquellos años destaca el retrete y su cierre hidráulico que impedía e impide la salida de los olores del pozo negro, pero fue la llegada de la luz de gas la que produjo una auténtica revolución, tanto en las ciudades como en la vida doméstica, pues al contrario de lo que ocurrió con el retrete, la implantación del alumbrado doméstico fue muy rápida.

Con anterioridad, las velas habían producido una luz demasiado débil para realizar la mayor parte de las tareas domésticas y las lámparas de aceite tampoco mejoraron notablemente esa situación; sin embargo, la luz de gas sí fue lo bastante intensa como para iluminar toda una habitación y modificar los hábitos de los ciudadanos .

La consecuencia de que los interiores estuvieran mejor iluminados, además de aumentar el confort –pues ya se podía, entre otras cosas, leer por la noche–, provocó un notable incremento de la alfabetización y una mayor seguridad nocturna en las ciudades.

Pero la luz de gas exigía una mayor ventilación y, al instalarse en el interior de las viviendas, era necesario atender el nuevo y ‘engorroso’ requerimiento de la aireación. Requerimiento al que la mayoría de los arquitectos no prestaron la debida atención siempre más preocupados en prolongar sus discusiones bizantinas sobre los estilos históricos.

Henry Rutton, un ingeniero que había diseñado sistemas de ventilación para vagones de ferrocarril en Canadá y los Estados Unidos publicó en 1860 un libro en el que explicaba cómo podían aplicarse sus ideas en el campo de la arquitectura y en él criticaba a los arquitectos: “En medio de la llamarada de luz que en este siglo XIX ha iluminado al

mundo, sólo la arquitectura se ha quedado inmóvil, tapada por el polvo de los siglos. De esa profesión no ha surgido ni una sola idea”. Esta falta de interés de la mayoría de los arquitectos por las nuevas tecnologías señala la línea divisoria entre arquitectos e ingenieros.

A los arquitectos de la época les seguía interesando más la estética, quedando los conceptos del confort y la comodidad en segundo término. Los arquitectos se sentían incómodos con la aparición de los nuevos artefactos y muy preocupados por la mecanización cada vez mayor de su ‘arte’. Las nuevas ‘instalaciones’ representaron una injerencia, a veces insoportable para una profesión que se creía destinada a las más altas metas. La arquitectura y las nuevas tecnologías se fueron distanciando sin darse cuenta que, al mismo tiempo, lo estaban haciendo de una sociedad cada vez más interesada en las nuevas tecnologías.

Se produjo, como dice Giedion, “la ruptura entre arte, por un lado, y ciencia y técnica por otro, es decir, entre arquitectura y construcción”, quedando la construcción y las grandes obras del momento en el lado de los ingenieros.

Así, el ingeniero emergió sobre los demás como el conocedor de las nuevas técnicas, al tiempo que la arquitectura perdía el ritmo de las transformaciones históricas en curso.

Con la llegada del siglo XX y la irrupción del Movimiento Moderno los objetivos de la arquitectura y el de los arquitectos cambiaron evolucionando hacia una mayor conciencia social. Los ‘nuevos’ arquitectos asumieron su papel de transforma-



dores de la sociedad desarrollando su, cada vez más complejo trabajo al servicio de la colectividad, ahora, en estrecha colaboración con los ingenieros

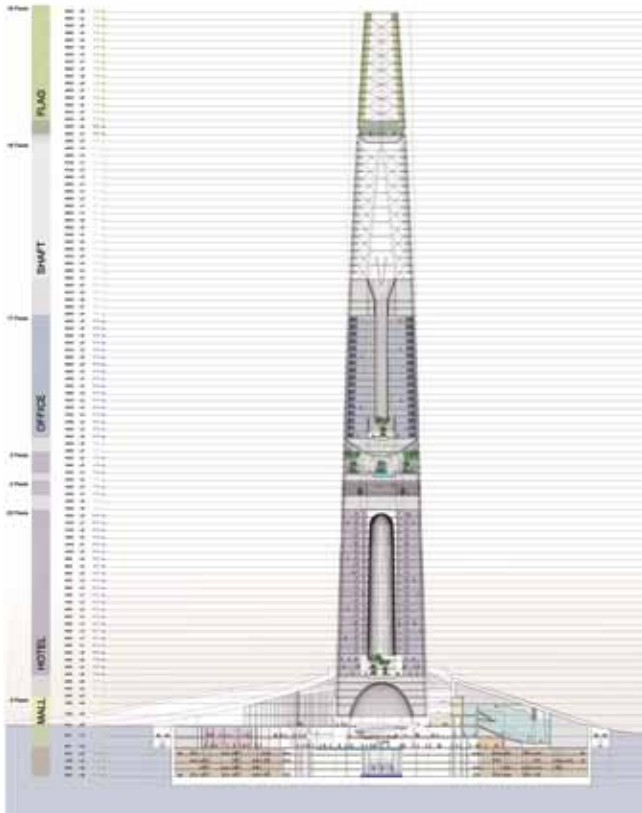
Siempre he querido distanciarme de la actitud de aquellos arquitectos decimonónicos que ensimismados en sus debates endogámicos no atendieron las demandas de la sociedad de su tiempo. Aprendí de Javier Carvajal, mi tío y maestro, a entender la arquitectura como una actitud al servicio de una necesidad o demanda y siempre para resolver un problema y nunca para crearlo. Entendí, como él repetía en sus clases, que la arquitectura es un arte con razón de necesidad. Un arte que se diferencia de las otras artes precisamente por su razón de necesidad, necesidad que siempre es ajena al arquitecto. Seguramente es en esa condición donde reside la vocación de servicio que tiene la arquitectura con la sociedad, ya que la arquitectura sólo existe en tanto que, es necesaria. En todas las definiciones que de la arquitectura se han hecho, que son tantas como arquitectos y teóricos lo han intentado, aparece, junto a otros conceptos, de una u otra manera, la construcción y la necesidad ligada a la belleza. La tríada vitrubiana sigue vigente.

Cuando Testa nos ofreció a Enrique Álvarez-Sala y a mí la posibilidad de proyectar la Torre Sacyr, una de las cuatro torres que se han levantado en la antigua Ciudad Deportiva del Real Madrid en Castellana, hoy torre PwC y Hotel Eurostars Madrid Tower, nos abrió la posibilidad de trabajar mano a mano con uno de los grandes; Julio Martínez Calzón y su equipo de MC2 con Miguel Gómez Navarro a la cabeza.



En el proyecto de la torre necesitábamos suplir nuestra escasísima experiencia en proyectos de esas características con planteamientos serios y rigurosos basados en la eficacia. Empezamos planteando la eficacia formal, adoptando una planta casi circular, ya que el círculo es la figura geométrica que a igual superficie desarrolla menos perímetro, lo que podría reducir los costes de fachada. Además, la extrusión de una planta circular conforma un cilindro que es, a su vez, la figura que menos resistencia ofrece a los empujes horizontales del viento, lo que sin duda abarataría la estructura y nuevamente la fachada.

La geometría y la eficacia se habían convertido en los motores del proyecto, convencidos de que la belleza se encuentra en los objetos diseñados bajo la óptica de la eficacia.



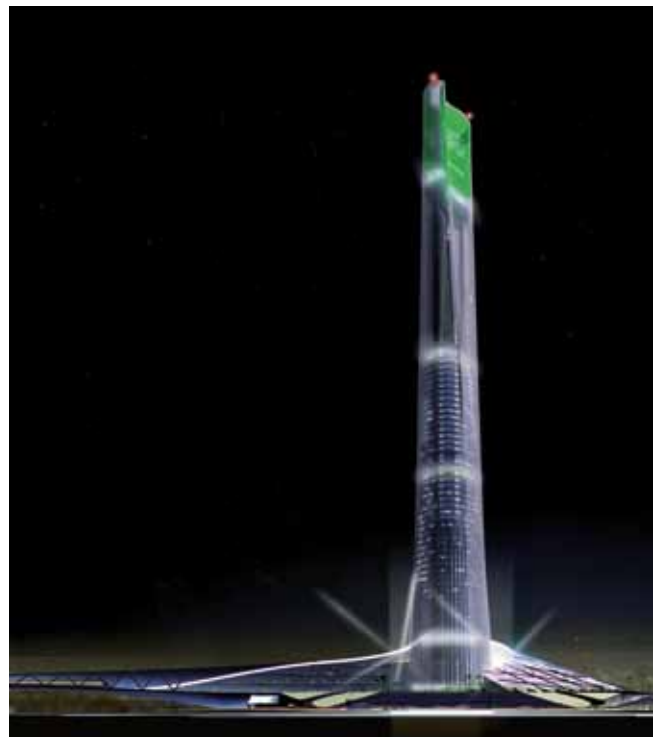
También los conceptos de sostenibilidad y eficiencia energética estuvieron presentes en las primeras decisiones de diseño. El Código Técnico, que apareció por aquellas fechas, recomienda para Madrid prestar más atención a las ganancias térmicas en verano que a las pérdidas en invierno. Una torre de 250 metros de altura está gravemente expuesta al sol en todas sus orientaciones, y al igual que a las personas los médicos nos aconsejan no exponernos a las radiaciones solares porque son perjudiciales para nuestra piel, también el exceso de soleamiento es perjudicial para la piel del edificio y para el edificio mismo.

Si la mejor manera de protegernos de los efectos nocivos del sol es ponernos a la sombra, ¿por qué no poner el edificio a la sombra? Para ello diseñamos una segunda piel exterior, suficientemente ventilada, de vidrio oscuro que actúa como unas gafas de sol que disminuye la luminosidad en el interior, al tiempo que proporciona una sombra constante al edificio que evita su recalentamiento y reduce su consumo energético.

Julio se interesó siempre por estos planteamientos y junto a Miguel Gómez Navarro nos ayudó a defenderlos planteando una estructura perfectamente integrada en la geometría de la torre. Una estructura extremadamente optimizada que facilitó una eficaz ejecución de la obra, que se tradujo en un recorte notable de los plazos de la misma.

Con posterioridad Julio Martínez Calzón nos sorprendió aportando una, a mi entender, brillante solución estructural a una torre de cuatrocientos metros de altura que debería levantarse en la capital de Arabia Saudí. Una torre que arranca en su base con una planta elíptica que según va tomando altura se retuerce y estrecha hasta terminar como una enorme bandera de Arabia Saudí, que ondea mecánicamente en el que entonces hubiera sido el rascacielos más alto de la ciudad y del país.

La Torre, que al día de hoy no ha pasado de ser una propuesta a nivel de anteproyecto, necesitó de un pre cálculo estructural que garantizara su viabilidad, y que Julio volvió a resolver con maestría. Es posible que esta torre nunca se construya y lamentablemente pase a engrosar la larga lista de proyectos que nunca saldrán del papel y que tanto han proliferado en los últimos años. **ROP**



Determinantes funcionales en la concepción y construcción de grandes estaciones de transporte



Jorge Bernabeu Larena

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Escuela de Ingenieros de Caminos, Universidad Politécnica de Madrid.

Director de Proyectos, IDOM

Resumen

En los proyectos de grandes intercambiadores de transporte, la definición del esquema funcional condiciona de forma decisiva la propuesta arquitectónica. Flujos de viajeros, cotas, niveles, vestíbulos, demandas, accesos, intercambios modales, situaciones provisionales y fases para permitir la continuidad de los servicios de transporte, constituyen las bases proyectuales de la solución compositiva y constructiva del conjunto. A partir de la experiencia del autor, en un buen número de estaciones de transporte, se presentan las claves de concepción, analizando las relaciones que entre ingeniería y arquitectura se plantean.

Palabras clave

Estaciones, ingeniería civil, arquitectura, proyecto, concepción, esquema funcional

Abstract

In large transport hub projects the definition of the functional layout has a significant influence on the architectural proposal. Passenger flows, levels, halls, demand, access, modal interchange, provisional situations and stages to allow the continuity of transport services, all form part of the design basis for the composition and construction of the hub. Based on his experience on a large number of transport hubs, the author presents the key aspects to their design and examines the relationships created between engineering and architecture.

Keywords

Stations, civil engineering, architecture, project, design, functional layout

Las estaciones son siempre lugares de intercambio. No parece acertado denominarlas terminales porque el viaje nunca acaba en la estación. Son espacios donde se cambia de modo de transporte para proseguir el recorrido: del avión, el tren o el barco, se pasa al metro, al taxi, al coche, al autobús, se sigue a pie o en bicicleta. Son lugares de tránsito, de movimiento, de actividad, pero también de estancia, de parada y de espera. Son puntos de referencia. Son espacios de encuentro, de salidas y de llegadas, de despedidas y de bienvenidas. Son imagen representativa de los lugares donde se ubican y forman parte de la identidad colectiva de sus usuarios. No son sólo edificios, reúnen usos y significados que van más allá de su función o de su forma construida. Su ámbito territorial y urbano supera el área estricta de actuación para activar en el paisaje y en la ciudad un entorno mucho mayor. Son obras que involucran administraciones varias y ponen en juego aspectos técnicos, operativos y sociales diversos. En ellas, intervienen siempre ingenieros y arquitectos y la autoría se comparte entre ambas disciplinas.

Las estaciones son realizaciones singulares en las que la colaboración entre ingenieros y arquitectos ofrece un carácter distintivo. A diferencia de otros proyectos, en las estaciones la titularidad del contrato recae habitualmente en el ingeniero; toda colaboración viene inevitablemente condicionada por quien ostenta la responsabilidad contractual. Es quizás éste un hecho evidente, aunque poco mencionado en el discurso sobre el trabajo conjunto entre disciplinas. La buena disposición entre ambos desdibuja realidades más prosaicas. Nos deleitamos en rastrear la capacidad de influencia del genio creativo de uno sobre otro, pero nos olvidamos de algo esencial: quien contrata manda. En las estaciones, también la dirección del proyecto suele tener como responsable del contrato a un ingeniero civil y la administración titular promueve obras públicas, con un sentido social, territorial y político distinto a otros clientes, privados y públicos, de la arquitectura.

En las estaciones, a diferencia de otras realizaciones, el trabajo del ingeniero no se limita a la estructura resistente,

el ingeniero es responsable principal del esquema funcional. En realidad, una gran parte de la reflexión sobre la colaboración entre ingenieros y arquitectos se limita a la relación entre estructura y arquitectura y en la relevancia creativa y proyectual que una tiene sobre otra. En las estaciones se amplía el campo de batalla.

En los proyectos de grandes intercambiadores de transporte, la definición del esquema funcional condiciona de forma decisiva la propuesta arquitectónica. Flujos de viajeros, cotas, niveles, vestíbulos, demandas, accesos, intercambios modales, situaciones provisionales y fases para permitir la continuidad de los servicios de transporte constituyen las bases proyectuales de la solución compositiva y constructiva del conjunto.

A partir de la experiencia del autor en un buen número de estaciones de transporte, se presentan las claves de concepción, analizando las relaciones que entre ingeniería y arquitectura se plantean. Cada proyecto se ilustra con una pareja de imágenes: el esquema funcional o la idea seminal del proyecto junto con una imagen representativa del conjunto.

Nuevo complejo ferroviario de la estación de Atocha, separación de flujos

Por destinos, circulaciones y número de viajeros, Atocha es el mayor complejo ferroviario nacional. La concepción que adoptará Atocha en el futuro, de la que una primera fase son las obras puestas en servicio en 2010, responde a un esquema funcional definido a partir del año 2002, mediante un proyecto básico, un estudio informativo y un proceso de información pública. Estos estudios y proyectos definen la estrategia funcional y operativa del complejo, así como los elementos básicos de su ampliación. En particular, plantean dos aspectos determinantes en su funcionamiento: la diferenciación espacial de terminales de salidas y llegadas; la construcción de una nueva estación pasante de alta velocidad.

Para una diferenciación eficaz entre flujos de salidas y llegadas, se define una separación física, con vestíbulos y edificios independientes aunque conectados. Este esquema es posible gracias a una explotación ferroviaria con dos posiciones de estacionamiento de las composiciones en andenes (fig. 1). Las composiciones simples se estacionan al sur en las posiciones de llegadas, para avanzar a tope-



Fig. 1. Nuevo Complejo Ferroviario de la Estación de Atocha. El esquema funcional de doble terminal: salidas y llegadas, permite duplicar la capacidad de los andenes término de Puerta de Atocha

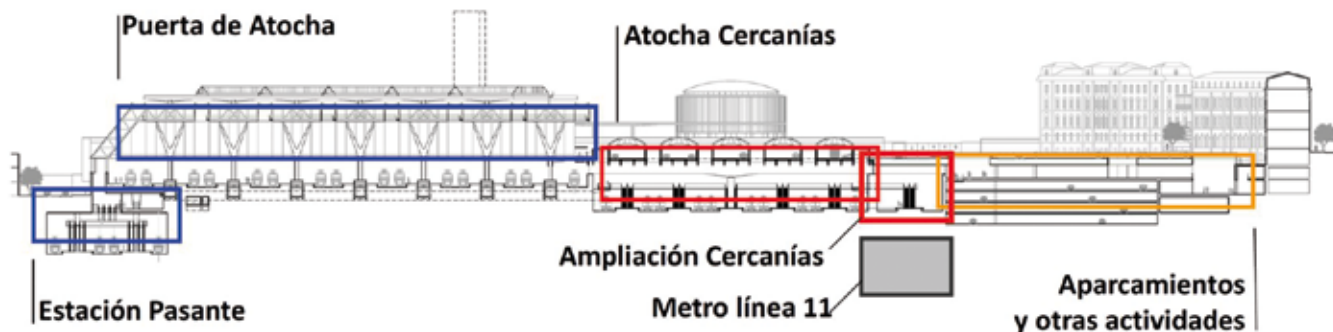


Fig. 2. Sección transversal del futuro complejo. Una estación pasante subterránea completa los servicios de alta velocidad; se reserva un espacio para una posible ampliación de Cercanías y una nueva estación para la extensión del metro

ras al norte en posición de salidas. El estacionamiento de llegadas es más breve y libera rápidamente su posición, mientras que en toperas, las composiciones de salidas disponen de más tiempo para las actividades de catering, limpieza y acceso de viajeros.

El túnel de alta velocidad entre Atocha y Chamartín dota de flexibilidad a la explotación permitiendo tráficos pasantes entre líneas y reduciendo la presión de Atocha. En el proyecto planteamos la ubicación de una estación pasante bajo la calle de Méndez Álvaro, al oeste del complejo actual, con una disposición de cuatro vías y dos andenes (fig. 2). Esta ubicación permite la integración de los vestíbulos e instalaciones en servicios comunes para todas las líneas de alta velocidad, de forma que las terminales y los accesos de salidas y llegadas de la estación pasante son los mismos y en los mismos puntos que para el resto de vías de Puerta de Atocha. La estación pasante, aunque subterránea, será un volumen amplio, con entrada de luz natural, y una mezzanina intermedia de comunicación.

Estación Valencia Joaquín Sorolla, lógica constructiva

La concepción de la estación responde a una idea sencilla: un montaje modular concebido como un juego de construcción. En su origen se proyectó como una estación provisional, mientras se terminaban el conjunto de obras de soterramiento ferroviario: nudo sur, canal de acceso, estación norte y túnel pasante, que no se han llegado a completar.

La estructura supera su función resistente y constructiva para convertirse en elemento generador de arquitectura y en imagen representativa de la estación. El edificio res-

ponde a una idea sencilla: la cubierta de los andenes se prolonga y se eleva para definir el espacio de los vestíbulos. La estructura principal se define mediante repetición de módulos alternos, con y sin pilar (fig. 3). La estructura reinterpreta un tipo estructural clásico, el esquema resistente conocido como 'seta' o 'paraguas', para alterarlo en dos aspectos. En primer lugar en la disposición sucesiva de módulos con y sin pilar, es decir en la supresión de la mitad de columnas de una alineación hipóstila clásica. En segundo lugar, en la formación de una cubierta inclinada, que permite la transición de altura de andén a vestíbulo, empleando la misma pauta tipológica pero en un plano inclinado.



Fig. 3a. Estación Valencia Joaquín Sorolla: estructura modular concebida como un juego de construcción



Fig. 3b. Estación Valencia Joaquín Sorolla: estructura modular concebida como un juego de construcción

Estación Central Tarragona-Reus, organización espacial

El proyecto, ubicado en la conexión del corredor del Mediterráneo con la línea de alta velocidad Madrid-Barcelona, es una estación pasante entre las localidades de Tarragona y Reus. Se plantea como un elemento destacado sobre la marcada linealidad de la plataforma ferroviaria, situada sobre un terraplén en un ámbito rural abierto de topografía muy horizontal.

Funcionalmente se organiza en tres ámbitos espaciales: trenes, viajeros y vehículos (fig. 4). Se plantea un único volumen para albergar al vestíbulo, recibir el viario y morder la plataforma; una única cubierta como pieza de carácter y

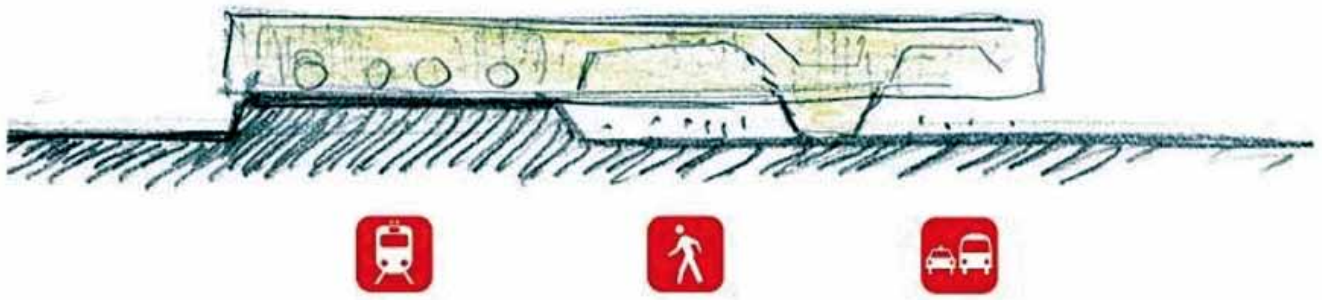
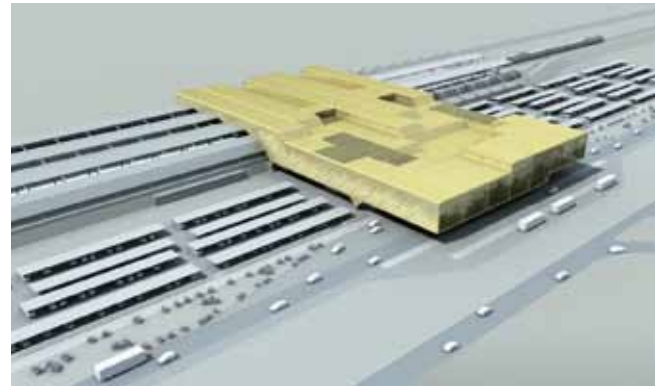


Fig. 4. Estación Central Tarragona-Reus: la organización espacial (tren, viajero, vehículo) se unifica bajo una gran cubierta planteada como un volumen de presencia territorial

propuesta de paisaje. La cubierta es el elemento de referencia que identifica a la estación en el territorio y también es la pieza de conexión entre los distintos modos. Se sitúa sobre la plataforma ferroviaria y los andenes, liberando sin necesidad de apoyo los núcleos de comunicaciones entre los andenes y el cajón inferior transversal que les da acceso, da cubierta a los vestíbulos y espacios peatonales y vuela sobre los viarios y playas de salidas y llegadas de vehículos (fig. 4).

Remodelación de la Estación del Norte en San Sebastián, encaje geométrico

En el escaso espacio disponible en el haz de vías de la Estación del Norte, entre la trama urbana y el paseo del Urumea, se precisaban disponer vías y andenes para el estacionamiento de hasta ocho composiciones de alta velocidad, a la vez que se mantenían dos vías de ancho convencional. Nuestra propuesta buscó preservar la mar-

quesina de hierro y el antiguo edificio de la estación. Para ello, se realizó un minucioso encaje geométrico en el que se resolvía el ferrocarril convencional en un andén central bajo la marquesina histórica y la alta velocidad en dos andenes decalados, ambos con longitud suficiente para dar servicio a las dobles composiciones (fig. 5). En construcción, varios desvíos y fases provisionales permiten mantener el servicio ferroviario. Sobre esta ajustada geometría de vías y andenes se sitúa la plataforma del nuevo vestíbulo, como un balcón asomado al río Urumea y a la ciudad antigua.

Estación Marítima de Cos Nou en el puerto de Mahón, disposición topográfica

La propuesta, fruto de un concurso internacional, plantea una solución funcional en dos cotas, de forma similar a un aeropuerto: nivel superior de salidas, en conexión con las pasarelas de embarque; nivel inferior de desembarque o lle-



Fig. 5. Remodelación de la Estación del Norte en San Sebastián: un complejo encaje geométrico de fases, vías y andenes queda servido por una nueva estación y vestíbulos sobre vías, entre el puente de María Cristina y el edificio histórico de Tabakalera





gadas (fig. 6). Se aprovecha la ladera para su disposición de acuerdo con la topografía del lugar, planteando su presencia territorial como una propuesta de paisaje.

Estación Intermodal de San Cristóbal en A Coruña, orden modal

Premiada también en un concurso internacional, nuestra solución se distinguía del resto en su organización funcional. La estación de autobuses, en lugar de disponerse sobre la estación ferroviaria como en los esquemas iniciales, se sitúa en paralelo. Ello permite independizar la construcción y la explotación de ambas estaciones y ofrece un mismo vestíbulo transversal para todos los modos de transporte: tranvía, cercanías, alta velocidad, autobuses, aparcamiento (fig. 7). La propuesta formal es contenida, coherente con la solución funcional y acorde con el entorno urbano (fig. 8). **ROP**

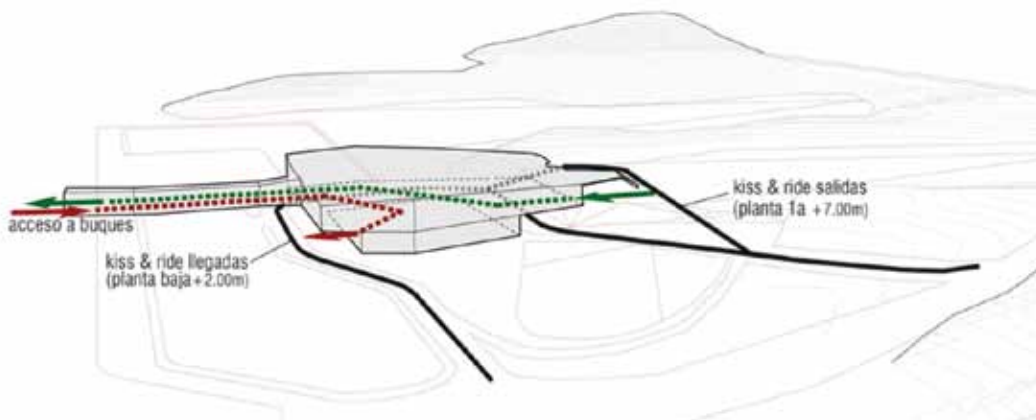


Fig. 6. Terminal Marítima de Cos Nou en el puerto de Mahón. La disposición separada de salidas en el nivel superior y llegadas en el inferior aprovecha la topografía del lugar



Fig. 7. Estación Intermodal de San Cristóbal en A Coruña. La solución de concurso ordena los modos en una secuencia clara e intuitiva con acceso desde un mismo vestíbulo transversal



Fig. 8. El vestíbulo transversal es también una nueva comunicación urbana entra ambas calles que se evidencia por un gran pieza superior, a modo de grapa o transición, entre la marquesina histórica y la nueva cubierta

Arquitectura e ingeniería



César Portela

Doctor arquitecto

Resumen

Después de toda una vida, observando, estudiando a fondo y admirando las grandes obras de Arquitectura e Ingeniería, sigo siendo incapaz de trazar esa imaginaria línea roja, de establecer esa frontera, que separa las unas de las otras.

Todas ellas tienen en común una gran racionalidad, una extraordinaria belleza, una enorme utilidad y, a pesar del tiempo transcurrido desde que se construyeron, una enorme calidad constructiva, que les ha permitido seguir en pie, superar las modas y seguir siendo, hoy, vanguardistas. También poseen, todas ellas, ese halo poético que nos emociona cuando las contemplamos, hasta el punto de poder afirmar que, como ocurre con la buena poesía, ni sobra ni falta nada, ni una palabra.

Creo que, aunque son disciplinas diferentes, no nos vendría mal que, en nuestro ejercicio profesional, los arquitectos tratemos de ser un poco ingenieros y viceversa. Todos saldríamos ganando: arquitectos, ingenieros y usuarios.

Palabras clave

Racionalidad, belleza, utilidad, calidad constructiva, vanguardista y poética

Abstract

After many years observing, studying and admiring the great works of architecture and engineering, I am still incapable of tracing this imaginary red line, of establishing the borders separating one from the other.

All of these works share great rationality, an extraordinary beauty and purpose and, in spite of the time that has passed since their construction, an incredible building quality that has allowed them to remain standing, overcome passing trends and remain forward looking. They all possess a poetic essence capable of moving the onlooker to the extent and, in parallel with all good poetry, that not one word or feature is redundant or lacking.

I feel that, while these are different disciplines, it would do us no harm in our professional lives if architects attempted to be a little more like engineers and viceversa. We would all end up winning: architect, engineers and users alike.

Keywords

Rationality, beauty, functionality, building quality, forward looking and poetic

Después de toda una vida observando, estudiando a fondo y admirando las grandes obras de arquitectura e ingeniería, sigo siendo incapaz de trazar esa imaginaria línea roja, de establecer esa frontera, que separa las unas de las otras.

Si observamos el Panteón, la Mezquita de Córdoba, el Empire State, el Chrysler, la Casa de la Cascada, el puente de Alcántara, el Acueducto de Segovia, el puente Golden Gate, el de Brooklyn, la Torre Eiffel..., todos ellos tienen en común una gran racionalidad, una extraordinaria belleza, una enorme utilidad y, a pesar del tiempo transcurrido desde que se construyeron, una enorme calidad constructiva, que les ha permitido seguir en pie, superar las modas y seguir siendo, hoy, vanguardistas. También poseen, todas ellas, ese halo

poético que nos asombra y nos emociona cuando las contemplamos, hasta el punto de poder afirmar que, como ocurre con la buena poesía, ni sobra ni falta nada, ni tan siquiera una palabra.

Y si bien la arquitectura se relaciona más con el hábitat y la ingeniería con la obra pública, ambas se complementan, confluyen y conviven inexorablemente.

En Galicia –el “País de los mil Ríos” que decía Ramón Otero Pedrayo–, en cualquier trozo de su territorio, esté situado en el interior o en la costa, nos encontraremos, junto con una gran diversidad de elementos naturales, un sinfín de fuentes, pozos, minas, regos, presas, canales, acueductos, que el

hombre ha construido para captar, conducir, almacenar y regar; también numerosísimos molinos, fábricas de cuero, fábricas de papel, presas de producción hidráulica para facilitar la producción industrial o hidroeléctrica; toda la serie de pasos, pontellas, pontillons, pontes..., caminos, carreiros, pistas, viales, carreteras, autovías, autopistas, construidos por el hombre para poder desplazarse por el territorio, que han sido determinantes en el largo e inacabado proceso de humanización del territorio gallego. Y, todo ello, mezclado, dada la tradicional dispersión de la población, con casas, casales, pazos, aldeas, villas, ciudades... Todo mezclado e integrado de tal forma que sería muy difícil afirmar lo que corresponde al campo específico de la arquitectura y que al de la ingeniería.

Pero, ¿qué es la arquitectura? La arquitectura se refiere básicamente a la construcción del espacio. De igual manera que la pintura especula con el color, la escultura con la forma, la literatura con la palabra, la fotografía con la imagen, la música con el sonido, el cine con la imagen y con el tiempo, la arquitectura lo hace con el espacio. Lo anticipaba lúcidamente Lao Tsé cuando afirmaba que “la arquitectura no es sólo cuatro paredes y un techo, sino, y sobre todo, el aire que estos encierran”. La arquitectura especula con el espacio, empleando para ello materiales y valiéndose de formas, texturas y colores.

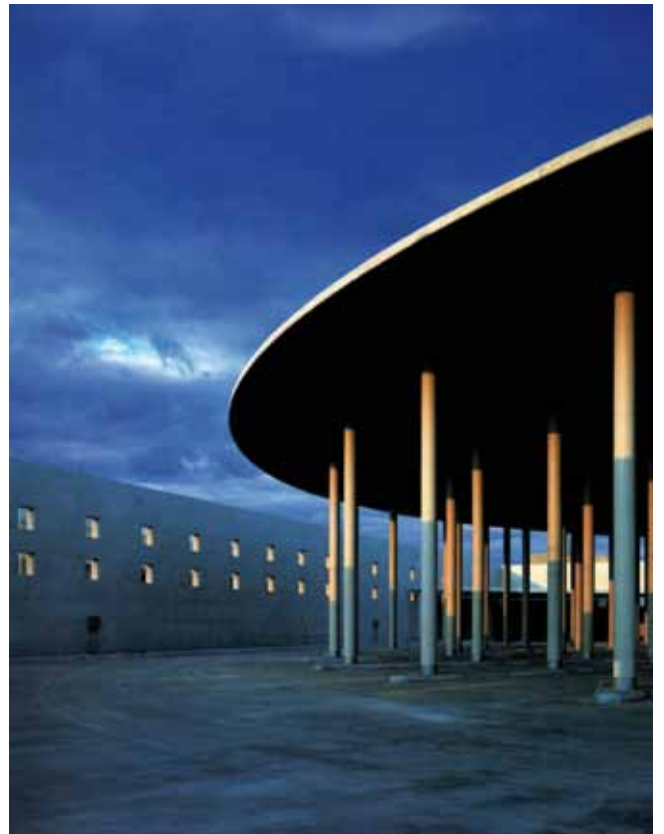
La concepción de ese espacio, el sueño inicial que se anticipa y desencadena el hecho arquitectónico: imaginar, soñar una estancia, una casa, un barrio, una villa..., una ciudad es parte imprescindible dentro de un proceso creativo mucho más amplio. Pero, sin ese sueño, sin esa faceta creativa, no es posible la arquitectura. Soñar es, pues, necesario, imprescindible, pero no suficiente. Los arquitectos no podemos, o no debemos, limitarnos simplemente a soñar, tenemos también que construir, materializando esos sueños y utilizando, para ello, materiales. Y esos materiales hay que conocerlos, escogerlos, trabajarlos, sacarles el máximo partido, de acuerdo con sus cualidades específicas. Y, todo ello, nos traslada inevitablemente al terreno de la técnica.

La arquitectura es, por consiguiente, arte y técnica a un tiempo, pero arte y técnica al servicio de la sociedad, a la vez que expresión de quien o quienes la realizan.

Y ¿cual es la verdadera esencia de la arquitectura? Lo decía muy bien el famoso músico rumano Celibidache a propósito de la música: “Los que creen que la música es bella solamente, no saben aún lo que es la música. Claro que la buena

música es bella, pero sobre todo es verdad”. Y esto podemos hacerlo extensivo a la arquitectura.

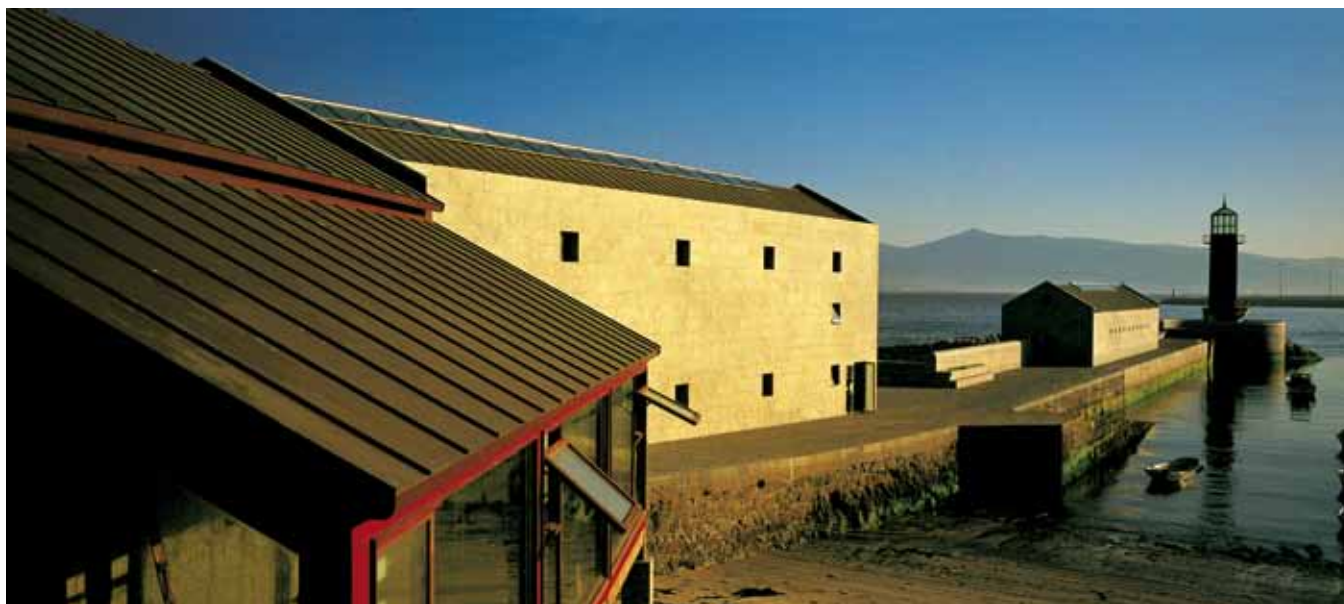
La buena arquitectura es aquella capaz de lograr a un tiempo solidez, confort, riqueza espacial y economía de medios. Hacer más y mejor con menos medios. Porque los medios económicos que manejamos, aunque procedan de los presupuestos de la administración correspondiente, se nutren de los impuestos, del esfuerzo de todos los ciudadanos, por eso debemos de administrarlos con racionalidad. Pero ello no puede ni debe hacernos renunciar a la calidad. Hay que ahorrar eliminando lo superfluo, evitando lo innecesario, nunca lo necesario, aquello que es esencial. La buena arquitectura es aquélla que ofrece seguridad a los cuerpos y libertad a los espíritus. Y no tiene por qué, ni debe, renunciar a la singularidad, al espectáculo, pero hemos de conseguirlo a base de calidad espacial, formal y constructiva, sabiendo dar respuesta a cuestiones fundamentales con soluciones arquitectónicas brillantes, pero esenciales.



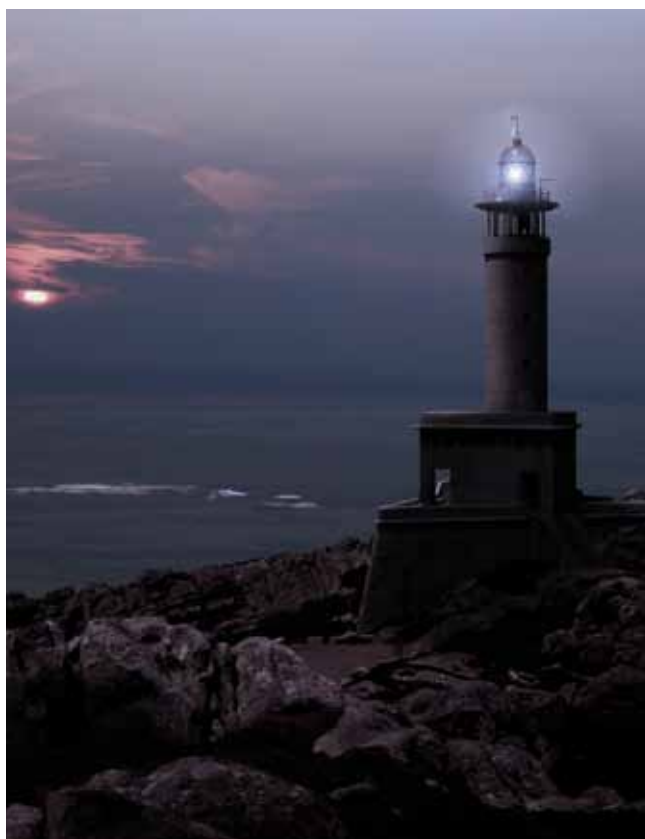
Estación de Autobuses de Córdoba



El faro de Punta Nariga



El Museo del Mar de Galicia



El faro de Punta Nariga

La buena arquitectura también debe dar respuesta, a la vez, a la escala humana y a la escala territorial.

Todas estas consideraciones valdrían, también, para la ingeniería. Por eso, en todas mis obras, sobre todo en aquellas de carácter público, me obsesionaba el conseguir caminar por esa raya roja que separa, pero a la vez une, el campo de la ingeniería y el de la arquitectura, tratando de coger lo mejor del uno y del otro.

En la Estación de Autobuses de Córdoba, lo esencial es un muro perimetral de piedra y una esbelta marquesina de hormigón que se apoya en finos pilares para cubrir las dársenas y semeja el ala de un sombrero cordobés.

El Museo del Mar de Galicia es una construcción anfibia, una parte se asienta en tierra firme y otra en el Mar. El espigón que une las naves del museo con el faro es una obra eminentemente portuaria.

El Faro de Punta Nariga, en la Costa da Morte, es una señal marítima en la costa.

La Estación Intermodal del Prat de Llobregat, semeja un platillo volante, una construcción aeronáutica.

Cuando redactamos el proyecto de la Estación Central de Valencia, remodelando y ampliando la existente Estación del



Estación Intermodal del Prat de Llobregat

Norte, del ingeniero Demetrio Ribes, paradigma de convivencia entre la más racional técnica constructiva y la más rica expresión artística, procuramos avanzar por ese camino certeramente trazado por Ribes.

El resultado es una arquitectura potente, alejada de modas pasajeras, pensada para la permanencia, para un uso racional del espacio y para reflejar noblemente el paso del tiempo. arquitectura que no renuncia al espectáculo, que lo busca, pero no un espectáculo fácil, gratuito, sino aquel que ofrece

la proporción de los espacios, el acierto combinatorio y el entendimiento mutuo entre lenguaje formal y constructivo, y de ambos con la función que satisfacen.

Un adecuado color claro y luminoso conseguirá el aumento de la luz en el gran espacio central, acrecentando su riqueza espacial y convirtiéndolo en el gran foyer del nuevo conjunto ferroviario y al tiempo en la plaza cubierta más emblemática de la ciudad de Valencia; un lugar de encuentro y de relación para todos los valencianos, vayan o no a coger el metro o el



Estación Central de Valencia

tren, de compras o simplemente a disfrutar de su estancia. Y que, junto con la plaza abierta anterior al nuevo parque central y la plaza elevada sobre la nueva estación, crean un conjunto de espacios públicos exclusivos y complementarios que acrecientan y enriquecen los que la ciudad tiene.

El resultado que se busca es, como decía Lorca acerca de las palabras y la poesía, que ambas estaciones se conozcan, se aproximen y sientan que la una sin la otra no tienen sentido y que juntas son poesía y, por ello, el conjunto acabe siendo, además de arquitectura o ingeniería o ambas a la vez, poesía espacial y ambiental que nos reconforta y nos produce, a los que las usamos o visitamos, esa sensación de embriaguez que le producían a Rafael, el protagonista de 'Entre naranjos', de Blasco Ibáñez, los perfumes, el color y la luz meridional de las huertas cuando, desde Madrid, regresaba a Valencia; o la sensación que nos producen los cuadros de Sorolla, de sumergirnos en la luz, en el color, en la alegre y vital atmósfera del Levante mediterráneo.

Y cuando abordamos el proyecto de la Estación Intermodal de La Coruña, decíamos: "En el desarrollo de este proyecto hemos ido dejando de lado cuestiones banales, formas gratuitas, gestos innecesarios. Hemos tratado de resistir múltiples tentaciones, apartar todo aquello que pudiera ser gestual o accesorio, quedarnos con lo esencial, ahondar y aproximarnos a la condición humana y a la constante idea de progreso

que debe regir cualquier proyecto, tratando de alcanzar un sueño, pero sin abandonar ese principio de realidad que toda construcción requiere. Hemos tratado de proponer una arquitectura sobria pero trascendente, basada en formas útiles y bellas, en materiales nobles, en técnicas constructivas adecuadas, prestando atención a cualquier tipo de detalle, pero sobre todo a lo que es esencial en arquitectura: el espacio. Y a lo que es aun más importante, si cabe: la funcionalidad para lo cual es imprescindible una racional y perfecta organización y localización de todas y cada una de las necesidades contempladas en el programa, aprovechando la oportunidad para hacer ciudad.

Si somos capaces de resolver con ingenio, sensibilidad y racionalidad los problemas planteados, empleando para ello menos, habremos logrado más, como lo han hecho siempre las buenas obras de ingeniería y arquitectura, esas que nos emocionan por la sabia integración de la función y la forma acompañadas por ese mágico halo poético. Por ello, cuando se materialice esta propuesta, todos los que participamos en ella: un amplio equipo pluridisciplinar integrado por ingenieros y arquitectos, podremos sentirnos orgullosos".

Creo que no nos vendría mal que, en nuestro ejercicio profesional, los arquitectos tratemos de ser un poco ingenieros y viceversa. Todos saldríamos ganando: arquitectos, ingenieros y usuarios. **ROP**



**Estación intermodal
de A Coruña**

Sobre el proceso de diseño: estructura de la ampliación del Palacio Euskalduna



Alejandro Bernabeu Larena

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Bernabeu Ingenieros.

Universidad Politécnica de Madrid

Resumen

La estructura de la cubierta de la ampliación del Palacio Euskalduna presenta una aplicación muy singular de los sistemas de estructuras recíprocas, con una configuración de gran irregularidad.

El artículo presenta el proceso de diseño y desarrollo de esta estructura en sus distintas fases, detallando los análisis y enfoques planteados y las soluciones adoptadas.

Plantea asimismo una reflexión general sobre los procesos de diseño de la estructura, reivindicando este proceso no sólo en función del resultado final –el proyecto–, sino en sí mismo, como un recorrido que debe ser igualmente considerado, aprovechado y sobre todo disfrutado.

Palabras clave

Euskalduna, estructura recíproca, proceso de diseño, estructura metálica, irregularidad

Abstract

The roof structure to the extended Euskalduna Conference Centre and Concert Hall incorporates a very original application of reciprocal frame structures with a highly irregular arrangement.

The article presents the design process and development of this structure over its different stages, describing the analysis and approaches adopted.

The article provides a general description of the design processes of the structure and justifies this process both in function of the end result –the design– and as a means in itself, as a pathway that should be equally taken into account, exploited and appreciated.

Keywords

Euskalduna, reciprocal frame, design process, steel structure, irregularity

El alto grado de ocupación del Palacio de Congresos y de la Música Euskalduna en Bilbao, inaugurado en 1999, llevó a plantear su ampliación con un nuevo espacio abierto de unos 3.000 m², directamente conectado con el hall de exposiciones del edificio existente.

La estructura de la cubierta de la ampliación presenta una solución singular basada en los sistemas clásicos de estructuras recíprocas. Más allá de la descripción pormenorizada de esta estructura¹, el artículo se centra en explicar el proceso de diseño y desarrollo de la misma, y propone una reflexión general sobre los procesos de diseño de la estructura, no sólo como medios para alcanzar un producto –el proyecto–, sino en sí mismos.

Proceso de diseño y desarrollo de la estructura de la ampliación del palacio Euskalduna

El elemento más representativo del proyecto de ampliación del palacio Euskalduna es la cubierta que, debido al gran desnivel existente en la parcela, es claramente visible desde la avenida de Abandoibarra y adquiere una importante presencia exterior.

La cubierta ocupa una superficie de unos 50 x 80 metros, y debe adaptarse a una geometría en planta irregular, sin una dirección clara predominante, con una luz máxima aproximada de 45 metros.

El planteamiento arquitectónico inicial de la cubierta proponía una serie de líneas curvas que se cruzaban entre sí en varios puntos, abarcando la totalidad de la superficie. Este sistema,

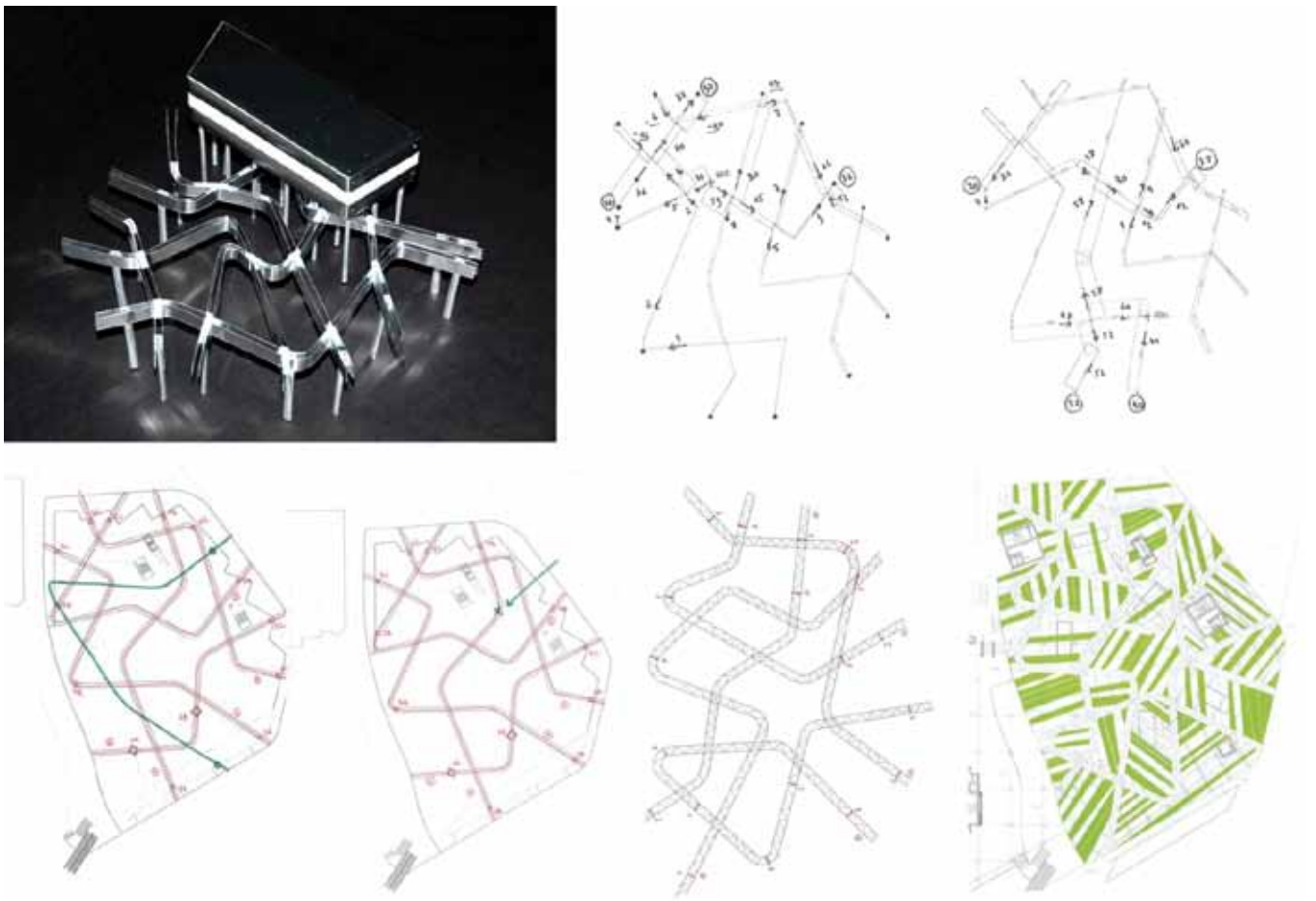


Fig. 1. Proceso de diseño de la estructura de cubierta. Planteamiento inicial y primera fase de desarrollo

de gran libertad en su trazado, se alejaba decididamente de los sistemas tradicionales de vigas principales y estructura secundaria perpendicular, en respuesta a la irregularidad de la planta.

Para valorar el comportamiento estructural de este sistema, se estudiaron los diferentes recorridos de esfuerzos que se producían al variar el punto de aplicación de una determinada carga puntual y los elementos movilizados en dichos recorridos. Este análisis permitía identificar las líneas con mayor concentración de esfuerzos, así como determinar las zonas que requerían aumentar la rigidez. La propia configuración del sistema permitía resolver estos casos fácilmente, disponiendo una nueva línea estructural principal, o modificando el trazado de las existentes para aumentar la densidad de elementos estructurales en las

zonas requeridas. Era, en ese sentido, un sistema flexible y adaptable, y pudo adecuarse sin problema en función de su comportamiento resistente.

No obstante, el trazado de las líneas principales de cubierta, que presentaba vuelos y quiebros importantes, generaba esfuerzos muy significativos, tanto de flexión en las dos direcciones como de torsión, lo que hacía necesario materializar estas líneas estructurales principales como potentes celosías metálicas espaciales (fig. 1).

En este punto de desarrollo del proyecto, diversas coyunturas hicieron que debiera reconsiderarse el proyecto de la ampliación en su conjunto, eliminando alguno de los espacios previstos (sótano y un volumen de oficinas, que se situaba por encima de la cubierta) y ajustando otros.



Fig. 2. Desarrollo arquitectónico de la estructura de cubierta. Maquetas de trabajo

En ese momento, partiendo de la experiencia y los resultados obtenidos con el desarrollo inicial de la estructura de cubierta, se decidió explorar nuevas posibilidades formales y estructurales. Se mantenía la idea base de partida, de definir una geometría irregular de la estructura, sin una dirección predominante, pero se eliminaba la concentración y clara identificación de unas líneas principales de la estructura, proponiendo en su lugar un sistema de ocupación del espacio basado en

la repetición y superposición de elementos de menor tamaño, que permitían cubrir la totalidad de la superficie de forma más natural (fig. 2).

Este planteamiento de acumulación de elementos ofrecía sin embargo a nivel estructural un funcionamiento similar a la solución inicial, requiriendo al igual que ésta la consideración de elementos de gran rigidez a flexión y torsión, consecuencia

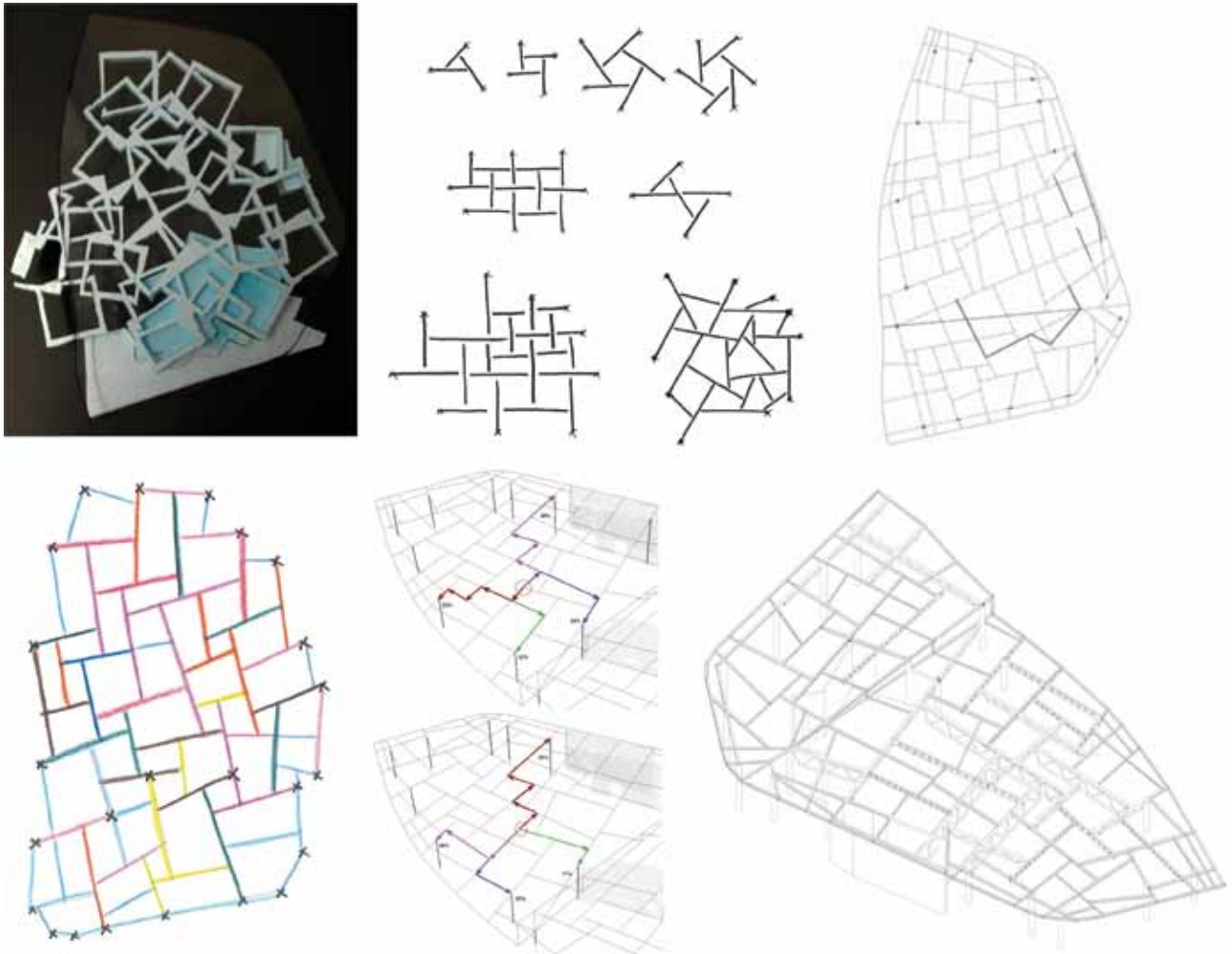


Fig. 3. Proceso de diseño de la estructura de cubierta. Segunda fase de desarrollo

de la discontinuidad de la estructura y de la existencia de numerosos vértices libres y zonas en vuelo.

Sugería sin embargo la posibilidad de plantear un esquema basado en la utilización de los sistemas clásicos de estructuras recíprocas², aunque con un mayor grado de libertad e irregularidad, que le permitiera adaptarse con naturalidad a la geometría en planta de la cubierta y ofreciera la deseada imagen de bidireccionalidad e irregularidad.

El desarrollo se orientó entonces en esa línea, definiendo una estructura recíproca irregular, adaptada en función de los requisitos geométricos de las distintas zonas y de la organización

y delimitación de algunos de los espacios interiores (auditorio, espacios de instalaciones). Había que tener asimismo en cuenta el canto disponible para la estructura, que tenía que ajustarse en algunas zonas para respetar la altura libre requerida, y el trazado de la fachada perimetral, que debía reproducirse a nivel de cubierta para garantizar una adecuada fijación de la misma.

Este proceso resultó de gran complejidad, al tratarse de un sistema poco previsible, de gran irregularidad y sensibilidad, en el que una pequeña variación de alguno de los elementos (en disposición geométrica o en rigidez) podía modificar sustancialmente el comportamiento del conjunto, alterando radicalmente el recorrido de los esfuerzos. Se trabajó nueva-



Fig. 4. Imágenes del proceso de montaje de la estructura recíproca de cubierta

mente estudiando el recorrido de los esfuerzos producido por una carga puntual aplicada en distintas zonas de la cubierta, y modificando dichos recorridos de manera que se lograran satisfacer los distintos requisitos.

Vinculado a este proceso, la enorme disparidad de esfuerzos a los que estaban sometidos los distintos elementos de la estructura, sugería adoptar un dimensionado muy diferente para cada caso, lo que por otra parte encajaban bien con la intención arquitectónica de irregularidad del sistema.

El resultado es una compleja estructura recíproca irregular, que salva una luz máxima de aproximadamente 45 m, con elementos de menos de 20 m de longitud. El dimensionado de los distintos elementos varía en función de la luz que salvan y de los esfuerzos a los que están sometidos, desde perfiles estándar IPE400 a vigas alveoladas de 1,00 m de canto y grandes celosías espaciales de 2,00 m de canto (fig. 3).

La aplicación de los sistemas de estructuras recíprocas irregulares permitió así en este caso dar una respuesta positiva a los distintos requisitos e intereses funcionales y arquitectónicos,

dotando al conjunto de una lógica estructural y constructiva claras.

Constructivamente, la propia configuración y funcionamiento de las estructuras recíprocas, basado en el apoyo de unos elementos en otros, hace que la conexión entre elementos sea sencilla, debiendo transferir exclusivamente esfuerzos de cortante, lo que simplifica enormemente la ejecución de los nudos y su puesta en obra.

Sin embargo, las estructuras recíprocas tienen que estar completamente montadas para ser estables, por lo que deben considerarse las etapas intermedias de montaje, disponiendo apoyos provisionales que garanticen la estabilidad del sistema hasta su completa ejecución y funcionamiento como estructura recíproca (fig. 4).

Sobre el proceso de diseño

El proceso de diseño y desarrollo de la estructura de la ampliación del Palacio Euskalduna pone de manifiesto, más allá de los sistemas aplicados y las soluciones adoptadas, la importancia y el interés del proceso en sí mismo. El proceso en cuanto a

exploración, aplicación, evolución y transformación de ideas y conceptos. El proceso también como mecanismo de integración y compatibilización de los distintos requisitos y complejidades que conlleva la formalización y materialización del proyecto.

El paso del planteamiento o concepto inicial a un proyecto supone tanto el desarrollo y aumento del grado de definición de esa idea inicial como su confrontación con toda una serie de requerimientos a los que debe dar respuesta, y que pueden ajustar, modificar o incluso poner en cuestión las bases de partida.

En el caso de la ampliación del Palacio Euskalduna, este proceso resultó especialmente significativo, y el hecho de que durante el mismo se presentara un punto de inflexión y de que se tuvieran que reconsiderar distintos aspectos permitió volver a enfrentarse al proyecto con el conocimiento, la experiencia y la exploración acumuladas previamente.

Diversos autores han propuesto procesos de diseño de la estructura³, que consideran tanto el desarrollo y aumento del grado de definición progresivo en las distintas fases, siguiendo un proceso continuo e integrador, como la definición de mecanismos de control que permitan tanto revisar el cumplimiento y consideración de los objetivos iniciales del proyecto, como identificar posibles requerimientos o posibilidades de desarrollo futuros. Se busca también con estos procesos establecer un paralelismo o relacionar el proceso de diseño de la estructura con las etapas de resolución creativas de problemas (*creative problem solving*), o incluso con el proceso creativo de los artistas, evitando el establecimiento de soluciones genéricas, de manera que cada proceso se comience de nuevo, con la experiencia acumulada, pero siendo capaz de poner incluso en cuestión las certezas alcanzadas en procesos previos.

Un aspecto especialmente significativo en la relación con los procesos de determinados artistas es otorgar al proceso relevancia en sí mismo⁴.

Sin embargo, el contexto actual, caracterizado por las enormes capacidades de análisis y computación, orienta los procesos hacia la automatización y la inmediatez, con el objetivo claro de alcanzar rápidamente un resultado.

Y es entonces aún más importante reivindicar el proceso, no sólo en función del resultado final, sino en sí mismo, como un recorrido que debe ser igualmente considerado, aprovechado y, sobre todo, disfrutado. **ROP**

Notas

(1) La explicación detallada de la solución estructural adoptada se aborda en el artículo '*Extension of Euskalduna conference centre and concert hall: a contemporary application of irregular frames*' (Bernabeu Larena, Alejandro; García Menéndez, David. *Structural Engineering International* 1/2014, pp. 63-67).

(2) El libro de Olga Popovic, '*Reciprocal frame architecture*' (Architectural Press. Amsterdam, 2008) es un excelente estudio del estado del arte de las estructuras recíprocas.

(3) Son significativos los procesos de diseño de la estructura propuestos por Frank Newby (Addis, Bill. 2001. "Creativity and innovation. The structural engineer's contribution to design". Oxford: Architectural Press), Edmund Happold (Happold, Edmund; Liddell, Ian; Dickson, Michael. 1976. "Design towards convergence". *Architectural design*, vol. 46, n. 7, July, pp 133-138; Happold, Edmund. 1986. "The role of the professional: an engineer's perspective". *Design studies*, vol. 7, n° 3, July 1986, pp. 133-138) y Cecil Balmond (Balmond, Cecil. 2002. "informal". Prestel Verlag).

El paralelismo entre los procesos de diseño arquitectónicos y científicos y las etapas de la resolución creativa de un problema ha sido abordada en Santamarina, JC; Akhouni, K. 1991. '*Findings in creativity and relevance in civil engineering*'. *Professional Issues in Engineering Education and Practice*, vol. 117, pp. 155-167.

La ponencia '*Structural design process versus creative process: an open discussion in terms of learning and teaching*' (Bernabeu, Jorge; Bernabeu, Alejandro. 2015. 9th International Technology, Education and Development Conference, Madrid) considera también la relación entre los procesos de diseño de la estructura y los procesos creativos, así como su aplicación a la enseñanza de las estructuras.

(4) Especialmente atractivo resulta en este sentido el proceso de realización de los cuadros de Luis Gordillo, que desde los años 80 fotografía las distintas etapas del proceso de gestación de los cuadros, siguiendo su ritmo de transformación. Estas fotos, que han sido exhibidas en diversas ocasiones junto con los cuadros, documentan el proceso y se convierten en "archivo de ideas perdidas y desechadas". Se pueden consultar por ejemplo los catálogos de las exposiciones "Luis Gordillo", itinerante en el IVAM Centro Julio González, Valencia, el Centro Andaluz de Arte Contemporáneo, Sevilla y el Meadows Museum, Dallas, en 1994, y "Luis Gordillo (1983-1996)", editado en 1998 por la Caja de Burgos.

Ampliación Euskalduna Jauregia

Razones críticas de dos tiempos separados



Federico Soriano

Doctor arquitecto.

Director del Departamento de Proyectos Arquitectónicos de la ETSAM-UPM

Resumen

La ampliación del Euskalduna Jauregia es fundamentalmente la construcción de un amplio hall de exposiciones, como vacío polifuncional, que completa el programa de usos existentes con un espacio necesario en la tipología actual de los *congress center*. Está definido por una gran cubierta, de reducido espesor para las luces salvadas, de imagen vibrátil e irregular, construida mediante estructuras recíprocas y cerramientos de tejas metálicas encrestadas, que colaboran conjuntamente, resolviendo la función específica para la que son calculadas y participando en las otras funciones del resto de elementos y sistemas que conviven. Este proyecto supone un cambio de modelos y de intereses proyectuales, en la manera de enfrentarse a los problemas arquitectónicos actuales.

Palabras clave

Ampliación, Euskalduna Jauregia, encoger, cubierta, paradigmas

Abstract

The extension of the Euskalduna Conference Centre required the construction of a large Exhibition Hall that would serve as a multi-function area, capable of offering a full range of events in conjunction with and parallel to the conference centre. The extension is defined by a large and very slender roof, in view of the spans involved, set out in a vibrant and irregular arrangement, formed by reciprocal frame structures and covered by metal barrel roof tiling. The roofing arrangement resolves its specific design purpose and participates in the functions of all other associated elements and building systems. The project represents a change of model and design as well as a new way of confronting current architectural problems.

Keywords

Extension, Euskalduna Conference Centre, roof, paradigms

La ampliación del Euskalduna Jauregia, en Bilbao, es un proyecto donde, además de comprobar si los presupuestos proyectuales que validaron el diseño inicial, y que son los que soportan su forma construida, siguen siendo válidos hoy en día y permiten su crecimiento, nos ha servido para confrontar y encarar la evolución de nuestros propios criterios arquitectónicos con casi veinte años de diferencia.

El edificio definió una nueva tipología programática: palacios de congresos y de la música, esto es, complejos que aprovechando la infraestructura de una gran sala de reuniones o auditorio (2.000 personas) pudieran servir a estos dos usos tan diferentes en su cualificación arquitectónica y en su uso temporal como son un centro de congresos y un auditorio de música. La construcción original lo resolvía simultaneando las actividades gracias a unos



Vista de la cubierta de la ampliación



Interior del Hall de Exposiciones

vestíbulos fragmentados con múltiples accesos desde el exterior. Ello ha permitido complejizar el uso hasta niveles de superposición de actividades que nunca fueron sospechados al inicio de sus actividades diarias. Hoy puede haber varios congresos (al menos cuatro), un concierto u ópera con sus ensayos y pequeñas presentaciones en coincidencia horaria.

Con el tiempo, el uso congresual ha demandado unos espacios específicos no contemplados inicialmente; entre ellos un gran *hall* de exposiciones diáfano. Tanto por razones económicas y organizativas –se necesita un vestíbulo que dé acogida a los sponsors y empresas organizadoras del evento–, como por las propias actividades de un congreso –donde hay el mismo tiempo dedicado al acto principal y a las reuniones sectoriales, como a las zonas expositivas de paneles de congresistas y a los actos de restauración que deben celebrarse allí mismo–. Es, pues, un cambio de paradigma del programa de edificio multifuncional al que el Euskalduna Jauregia debe, hoy responder, y al que nosotros sabemos que en sus genes proyectivos ya llevaba la posibilidad de transformarse y de crecer.

Ampliar el palacio es un ejercicio, a la vez, fácil y difícil. Es difícil porque ha adquirido una imagen y una presencia muy consolidada que no debemos contradecir. Su alzado urbano desde la plaza del Sagrado Corazón y, evidentemente, su figura y apariencia desde la Ría ya son imáge-



Interior del espacio de acceso

nes de lo colectivo. La ciudad lo ha asumido con carga histórica en la imagen y en los significados asociados.

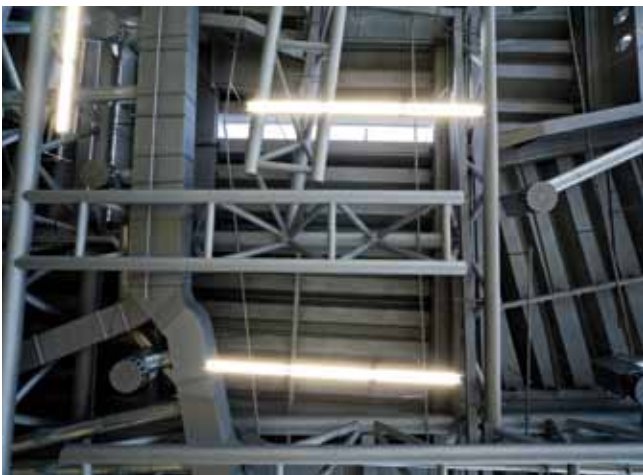
Pero, al mismo tiempo, es muy fácil, porque el edificio, según lo explicábamos en diversos escritos durante su fundación, no tenía forma. Estaba proyectado como una construcción que pertenecía a la ría, una arquitectura abierta, que cambia de imagen con el tiempo, adaptándose a usos nuevos, usando varios materiales y texturas. Euskalduna Jauregia está formalizado como un agrupamiento de volúmenes de distintas características y leyes compositivas que responden a los programas que actualmente estén en vigor. Los que no tengan usos, se derribarían o se transformarían. Otros nuevos se agregarían como otros tinglados funcionales. En ese conglomerado –el bloque metálico de los espacios escénicos, la torre de camerinos, los vestíbulos de pilares fungiformes, las oficinas, los vestíbulos vidriados, etc.–, la aparición de nuevas piezas o la desaparición de alguna no supondrían cambio en su imagen de conglomerado.

El germen del proyecto, la idea de un astillero, permite pensar la ampliación como una pieza agregada más, y no como una extensión de lo existente. Un astillero, una fábrica, es un conjunto de arquitecturas abiertas. Se agregan bloques, tinglados, se modifican programas y formas de manera libre, respondiendo a su carácter funcional y al buen trabajo entre todas ellas, buscando el lugar óptimo y desechando prejuicios formales compositivos. Ahora se agregaría un lugar horizontal, raso, despejado, de la mayor

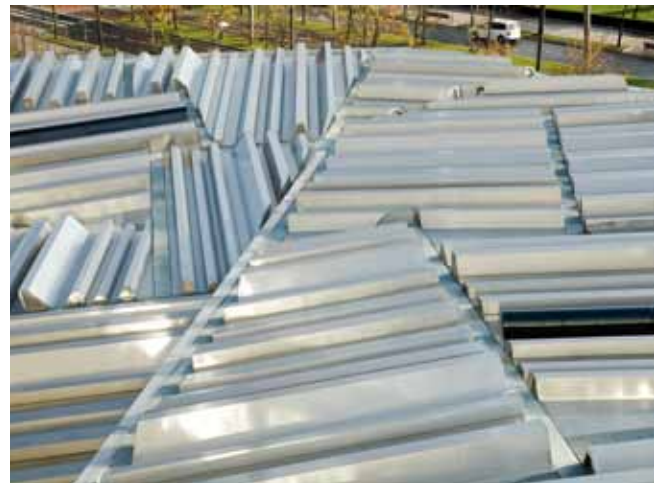
extensión posible, de gran flexibilidad en sus instalaciones. Por tanto, un volumen cuya única definición espacial vendría definida por su cubierta.

La ampliación es un gran espacio abierto, diáfano, poli-funcional, que funcionará dependiente o autónomamente, bajo una cubierta flotante que vibra con el sol, conectado por varios accesos, antiguos y nuevos, a la ciudad, cuya solución definitiva y precisa es el resultado de responder exactamente a unas preguntas sucesivas: ¿dónde se conecta a la ciudad?, ¿por dónde se conecta extendiendo el vestíbulo de congresos actual?, ¿cuál debe ser su tamaño óptimo?, ¿qué elemento arquitectónico debe soportar el proyecto?, ¿cuál es su imagen? y, por último, ¿qué significa? El lugar y el entorno resuelven las cuestiones de perímetro, accesos y conexiones. El edificio antiguo maneja y solventa las cuestiones de secciones. Nuestros nuevos intereses centrados en la reducción de esfuerzos conceptuales y en asumir los postulados del Movimiento Encoger que hemos fundado decidieron los temas estructurales y materiales.

Es aquí donde surge la reflexión más interesante que este proyecto genera y sobre la cual me gustaría centrarme. Creo que, en la actualidad, la arquitectura debe reducir su intensidad y evolución, invirtiendo la necesidad de construir desde cero, desde el folio en blanco, a la intervención y reflexión sobre el enorme patrimonio bueno y malo de lo edificado. Creo que la arquitectura debe, en esta misma línea, proponer, producir y construir espacios



Las diversas tramas que conviven en la cubierta



Las tejas metálicas de cubierta



Las tejas metálicas de cubierta

ambiguos y genéricos que sean material sin deudas y memoria de futuros programas y actualizaciones. Creo que la arquitectura debe romper las dualidades forma-función, memoria-lugar, idea-realización, que hasta ahora estaban tan íntimamente ligadas que hacían de un proyecto un hecho único e irrepetible. Ello significa que debemos proyectar espacios sin cualificación precisa funcional, espacio de la no-función, de carácter genérico, espacios silentes, sin que por ello perdamos o renunciemos a la condición lingüística, la imagen cultural, la investigación material o estructural o simplemente a la belleza de nuestras arquitecturas.

En la ampliación del Euskalduna Jauregia quisimos investigar sobre estos supuestos de cambio de paradigmas



El nuevo acceso a la zona de Congresos



Auditorio desmontable en el Hall de Exposiciones

proyectuales en la definición estructural y material de la cubierta ya que ese elemento es el generador de las cualidades espaciales y perceptivas del proyecto. Incluso llegamos a rediseñar el conjunto una vez calcula y dibujado un proyecto completo para llegar a una solución más comprometida en esta línea.

La cubierta es el elemento que debe asumir ser el límite físico entre interior y exterior, cualificar un espacio horizontal vacío y multifuncional, y ser el plano soporte de la totalidad de las instalaciones –ya que éstas no pueden trazarse por el suelo–. El trazado de alturas libres desde el edificio actual y las alturas libres internas requeridas –entre los 4 y 10 metros– dibuja un plano inclinado preciso y concreto. Al mismo tiempo limita trabajar con estructuras de gran canto para salvar las luces existentes. Por ello, se trabajó con sistemas estructurales de cubrición y redes de infraestructuras que colaboraran entre sí, se mezclaran y no se superpusieran, fueran visibles y, en conjunto, redujeran el grosor final del compuesto. La idea sería eliminar estructuras secundarias de cubiertas industriales para usar directamente unos elementos de cubrición en acero de espesor mínimo que, por su forma, resolvieran y colaboraran en la cubierta, rigidizando una estructura única principal.

El espacio se cubre con una gran estructura metálica formada por cuatro familias de vigas diferentes (laminares, armadas, vigas *boyd*, en celosía) formando un entramado

denominado mallas recíprocas. La malla es irregular, definida por las leyes que dictan los cuarterones de cubierta, con el uso del material mínimo necesario para cada caso, que se traducían en una diversidad de tipos de vigas, generando una imagen compleja y no evidente del manejo de las fuerzas gravitatorias. Sobre ella se dispone el plano de cerramientos y cubrición, formado por tejas metálicas, sensiblemente cuadrangulares, de dimensiones alrededor de 12,00 metros de lado delimitados por los canalones de desagüe que serán a la vez sus vigas de apoyo y dilatación. Cada teja es un composite complejo formado por una chapa de acero inoxidable, un núcleo PET y una protección exterior de resinas¹, diseñado como una aplicación de las técnicas constructivas usadas en las palas eólicas.

Todo este conjunto, cerramiento y estructura, resuelve grandes luces con espesores mínimos, en una cubierta activa –cada elemento constructivo y espacial resuelve su propia función y colabora en la de otro elemento próximo–, porosa –permite insertar las redes de instalaciones como otras tramas más en el conjunto–, variable –ya que la luz y el espesor varía en la percepción desde distintos ángulos–, y vibrátil –como la superficie del agua de la Ría–. Sin embargo, las leyes de cada sistema, y por supuesto la superposición de todos ellos, no forman un orden evidente. Es un orden preciso, por ser óptimo, pero ya no son lingüísticos, ni transmisibles, ni directamente significantes.



La ampliación en la zona de la Ría

Podríamos decir que, frente al espacio del edificio original con su trama de columnas regulares, aunque las cargas fuesen diferentes, su orden explícito, la construcción referencial y metafórica, el ornamento justificado como plano de orientación –respuestas de un momento cultural determinado–, la ampliación ha optado por una solución más contemporánea: una estructura que no es explícita, un espacio diáfano sin un orden de uso establecido, una construcción no legible, una sofisticación de soluciones técnicas que proviene de campos de fuera de la arquitectura, la presentación directa de materiales y soluciones convirtiendo lo directo en ornato. Una inversión de paradigmas que, curiosamente, conviven con presencias formales relacionables. **ROP**

Notas

(1) Chapa de acero inoxidable exterior en acabado BA pulido brillo en calidad AISI 316 y 1,5 mm de espesor, soldada en continuidad eliminando juntas y solapes, adherida a través de un adhesivo estructural elástico a un núcleo, también estructural tipo PET (Polietileno Tereftalato) de espesor de 8 mm y una densidad 100-150 kg/m³, y acabado hacia el interior con una lámina de resina ignífuga reforzada con fibras de poliéster con un espesor de 1,04 mm y una densidad de 1.904 kg/m³, pintado en color aluminio. Las tejas se unen entre sí mediante perfiles machihembrados laminados estancos tipo de pultrusión, fabricados en PRFV ignífugo con unas juntas de EPDM de Feuille, neoprenos de 10 x 15 mm con adhesivo a una cara y un tope rígido de teflón entre ellos, pegados mediante adhesivos acrílicos a la chapa exterior. Este sistema ha sido patentado como Modelo de utilidad (U201300851).

Arquitecto o ingeniero, ¿dos caras de la misma moneda?



Raúl Escrivá Peyró

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

OPERA diseño-ingeniería

Resumen

La historia nos revela una evolución por distintos caminos de estos dos maestros de obras, ingenieros y arquitectos, quienes empezaron en la antigüedad como uno solo, separándose posteriormente por la especialización de dos profesiones hasta nuestros días, donde ambos 'se reparten' el campo de lo construido, si bien esta línea en el presente es cada vez más difusa, por la exigencia cada vez mayor de atender una sociedad no solamente en sus necesidades básicas de infraestructura sino también en su imagen icónica.

Palabras clave

Maestro de obras, proyectista, diseño de estructuras, pluridisciplinariedad, coordinador de proyectos, arquitectura del ingeniero

Abstract

In ancient times the roles of these two master builders – engineers and architects – were merged into one. Over the course of time, these roles took different paths until separating into the two specialized professions we know today and where both take their respective part in construction design. However, the lines between the two professions are becoming ever more blurred by the increasing need to meet public requirements, not only with respect to basic infrastructural needs, but also in terms of their iconic image.

Keywords

Master builders, designer, structural design, multi-discipline, project manager, architectural engineering

Si volvemos atrás en el tiempo en la antigüedad la figura arquitecto-ingeniero está cubierta por el maestro de obras, figura que se encarga de los distintos tipos de construcciones al servicio de su sociedad. Con el paso del tiempo, la sofisticación que llega a adquirir los elementos propios de la arquitectura militar da lugar a la especialización del maestro de obras. Nace entonces la profesión del ingeniero. El ingeniero es quien abaluarta las ciudades, construye las fortificaciones, los puentes, los arsenales, los puertos y los canales de navegación. El ingeniero es quien organiza el ataque a las plazas, levanta cuarteles y, finalmente, pone su conocimiento al servicio de momentos históricos importantes a partir de la Ilustración, quien los protagoniza de manera muy significativa.

Pasando por los diferentes momentos de la historia del arte, el arquitecto, por otro lado, aparece singularizado en el Renacimiento; históricamente desarrolla la parte de la arquitectura ordinaria, civil y religiosa y su modo de hacer evoluciona a través de los diferentes movimientos conocidos: desde el clasicismo de las diferentes épocas, pasando por el manierismo, barroco, hasta el modernismo del siglo pasado,

funcionalismo de las vanguardias y finalmente pluralismo vigente.

A partir del siglo XIX, la Revolución Industrial pone a la ingeniería civil a la cabeza de los grandes desafíos de la arquitectura de su tiempo. Aparecen nuevos materiales que los ingenieros utilizan en sus creaciones dentro del mundo de la edificación, creando una belleza funcional donde arte y técnica se dan la mano. Un concepto no siempre aceptado hasta la llegada del movimiento moderno, cuando fueron los propios arquitectos quienes defendieron esta arquitectura del ingeniero y la introdujeron en sus formas de diseñar. El arquitecto Le Corbusier en 1920 escribe en referencia a este tipo de arquitectura: "La tendencia de los ingenieros actuales se dirige hacia las líneas generadoras y reveladoras de los volúmenes; ellos nos muestran el camino y crean los hechos plásticos claros y límpidos que dan solaz a nuestros ojos y proporcionan el placer de las formas geométricas a nuestra mente". Nos encontramos en los siglos XIX y XX, en plena era mecánica, donde tanto la ingeniería como la arquitectura se revisten de unas características propias producidas por la

influencia de la industrialización (funcionalidad, racionalidad, transparencia, sinceridad, prefabricación, intercambiabilidad, estandarización, mercadotecnia). Características que son de una época determinada y en ella debemos ver el factor estético y artístico propio de la edad contemporánea.

La historia nos revela, pues, una evolución por distintos caminos de estos dos maestros de obras de la arquitectura, empezando en la antigüedad como uno solo y separándose posteriormente por la especialización de dos profesiones hasta nuestros días, donde ambos 'se reparten' el campo laboral de lo construido según las características que les son propias, si bien esa línea en ocasiones es difusa debido a que fundamentalmente:

- El arquitecto y el ingeniero tienen sus propias competencias pero coinciden en algunas tanto en el campo del urbanismo como en algunos campos de la edificación.
- En las competencias que son propias de los ingenieros, dentro de los proyectos de obra civil aparecen de forma habitual elementos de edificación.
- En las competencias que son propias de los arquitectos, los proyectos se complican requiriendo una elevada carga ingenieril.

En el contexto social actual tres figuras interactúan: la sociedad, la ingeniería y la arquitectura.

- La sociedad cada vez es más exigente a nivel funcional, de confort y de acabados.
- La ingeniería, cuyas obras, debido a su ubicación y escala, no están en contacto directo con las personas, debe atender sin embargo a su imagen icónica, paisajística y de detalle.
- La arquitectura, cada vez más compleja, sin abandonar el detalle, adquiere un carácter más icónico con una escala más ingenieril.

Con el alto desarrollo de las tecnologías, de los estudios de especialización, de accesibilidad a la documentación técnica, hoy en día un profesional del mundo de la arquitectura o de la ingeniería puede especializarse en campos que, siéndole propios pero no fundamentales de su profesión, le permiten desarrollarse en el campo que más le interesa o donde mejor puede materializar su trabajo.

Todos estos aspectos hacen que la frontera ingeniería-arquitectura cada vez sea menos clara en muchos campos, lo cual provoca 'la lucha diaria' por conseguir trabajo de los distintos profesionales donde se genera incursiones a uno y otro lado de la misma.

Arquitecto-ingeniero hoy

En la actualidad los caminos del arquitecto y el ingeniero siguen separados aunque su formación principal está enfocada al proyectar y a la realización de obras construidas.

En la formación del arquitecto se potencia su mirada estética. Su formación tiene una importante carga de dibujo como herramienta de conocimiento y expresión. El eje de su formación se basa en proyectar desde la persona, con una mirada estética (espacio, luz, sensaciones) y representar lo proyectado (si un proyecto es malo puede estar bien dibujado pero un proyecto bueno no puede estar mal dibujado). A partir de esta actividad práctica se incorporan los conocimientos artísticos, técnicos y constructivos que la sustentan.

En la formación del ingeniero por el contrario se ha dado mayor importancia a su saber científico y técnico, capacitándole más para el análisis, la gestión, la ejecución de obras, el ingenio en la resolución de situaciones y la capacidad de trabajo que al hecho mismo de proyectar.

De modo que nos encontramos con que el arquitecto está formado para responder al QUÉ siguiendo un camino descendente desde lo general a lo particular, aplicando la razón y la crítica mediante un proceso inductivo con centro en la persona. A través de una mirada estética llega a la resolución de la función, el QUÉ. A partir de la función se desprende la forma y los materiales. La toma de decisiones es más subjetiva e influenciada por la multitud de publicaciones que inundan el mercado.

El ingeniero está formado para responder al CÓMO, para seguir un camino ascendente hasta la solución. A través de conocimientos técnicos, se basa en la forma y el material para resolver la función mediante un proceso deductivo a partir de bases bien asentadas –conocimiento de cómo respiran las partes que conforman el todo–. Las decisiones son más objetivas y las soluciones más libres (menos contaminadas por las tendencias o modas) con la única limitación de que no sean torpes por la falta de una visión más elevada y global del proyecto.



Diseño de estructura del edificio Gamesa eólica, la estructura es la imagen del edificio y resuelve la fachada, la carpintería, el remate del falso techo y del suelo técnico

Colaboración arquitecto-ingeniero

La relación del ingeniero civil con la edificación se puede desarrollar desde distintos campos:

- a) Estructuras en edificación. Ocultas, vistas.
- b) Desarrollo de partes del proyecto de edificación.
- c) Proyectos en coautoría.
- d) Proyectos propios.

Inicialmente desde nuestra experiencia profesional, nuestra relación con el mundo de la arquitectura tiene su origen en el diseño y cálculo de las estructuras en edificación.

Nuestros primeros trabajos fueron estructuras en edificios de viviendas. Aprendimos las bases del lenguaje arquitectónico, el cuidado de la representación gráfica, el detalle, la forma de proyectar desde lo humano siguiendo los pasos de la función, forma y materiales. Por nuestra parte, luchamos por reivindicar la dignidad de la profesión mediante un trabajo de diseño y desarrollo bien hecho, intentando que la estructura no fuese el último eslabón, defendiendo conceptos sencillos como que los pilares van sobre pilares y si es posible a eje.

Posteriormente, los trabajos fueron haciéndose más complejos, apareciendo estructuras que no se ocultaban detrás de revestimientos, que contribuían a la imagen final del edificio, a su forma, a su paisaje dentro de la ciudad. Tras los primeros trabajos en este tipo de edificios y con la experiencia



Edificio de Cordovilla, coautoría. Se diseña conjuntamente la totalidad del edificio

acumulada comenzamos a realizar propuestas que si eran bien recibidas por el equipo de arquitectura podían modificar sustancialmente el resultado final de la proyecto.

De este modo, a través del diseño cuidadoso de estructuras arquitectónicas, hemos tenido durante estos años toda clase de colaboraciones arquitecto-ingeniero. Unas veces participamos desde el anteproyecto en colaboración directa

con el equipo de arquitectura con fascinantes 'encerronas', otras se nos 'deja' una parte específica del proyecto (por ejemplo cubiertas acristaladas) para desarrollarla, otras sacamos a la luz una propuesta que teníamos guardada a la espera de la ocasión propicia para experimentarla. Hemos realizado trabajos en coautoría diseñando completamente edificios en un trabajo conjunto con el equipo de arquitectura, otras veces aprendemos de lo que nos proponen.



Pasarela de acceso al centro internacional Oscar Niemeyer. Proyecto propio. Incluye acondicionamiento de edificio, pasarela y urbanización

Al tiempo que realizamos este tipo de trabajos' hacemos nuestros propios proyectos y nos presentamos a concursos en competencia directa con los arquitectos donde podemos poner en práctica todo lo aprendido. De este modo' hemos ido haciendo en el estudio nuestra propia asignatura de crítica de proyectos.

Como resultado de años experiencia, a día de hoy realizamos proyectos propios en colaboración con otros técnicos

y participamos en equipos multidisciplinares en el desarrollo de proyectos liderados por otros equipos.

Como conclusión de esta experiencia profesional, creo que el mundo de hoy es pluridisciplinar. En la acción de proyectar surge la necesidad de una serie de profesionales que hagan realidad el proyecto. Para el buen desarrollo del trabajo hace falta un director de orquesta, alguien que tire

del proyecto y coordine todo lo referente al proyecto. Cada profesional que intervenga debe conocer la totalidad del mismo para, de ese modo, participando desde el origen, aporte el máximo y de forma interdependiente con los demás profesionales.

Si participamos en un equipo para un proyecto de edificación como responsables de la estructura, tendremos que conocer todo el proyecto, en cuanto a funcionalidad, forma y materiales, y se deben escuchar y acordar nuestras propuestas junto con el resto de elementos así como las exigencias y el carácter del mismo, implicándonos de forma global, siendo conscientes de la influencia de la estructura en el resultado final.

En el presente, proyectar y construir va dejando de representar ese acto individual. Un cuadro puede ser concebido y pintado por un único artista, pero un proyecto es fruto y resultado de un colectivo, cuya participación va influyendo y conformando el resultado final. En origen, hay una concepción inicial del proyecto a través de alguien, alguien que va a volcar el alma en el proyecto, quien toma el pulso y se convierte en la figura que coordina, gestora, comunicadora, representante, garante, motivadora. Quien dirige el camino de la toma de decisiones generadas por el equipo, a través de la mirada general del proyecto, quien genera nuevas líneas de trabajo hasta el resultado final, la obra.

Esta figura responsable del impulso y creación del proyecto necesariamente debe tener una formación creativa, humanista y técnica –gracias a las nuevas tecnologías cada día podemos ser más ‘renacentistas’– enfocada al tipo de proyectos que realiza.

En proyectos de edificación y con este enfoque de coordinador, no solamente gestor, sino al mismo tiempo generador, el director de orquesta idóneo es el arquitecto.

La obra civil, en general no está separada de la edificación –dentro de un proyecto de obra civil hay muchos elementos relacionados con la edificación–. El coordinador de este tipo de proyectos debe estar formado para saber proyectar desde una mirada humana; y además de contar con una buena formación técnica, debe ser conocedor global de las obras. De este modo, desde esa concepción global de la obra, el director de orquesta más idóneo es el ingeniero.

Algunas conclusiones

En general, el mundo de la edificación, en su evolución, ha pasado a ser un mundo pluridisciplinar. Hoy en día están presentes las distintas disciplinas en los estudios técnicos relacionados con las obras –ingenieros de instalaciones, ingenieros civiles, paisajistas, medioambientales, arqueólogos, geólogos, biólogos, arquitectos etc.–. La tendencia actual a nivel educativo en los niveles de máster son la formación particular de una disciplina, y una formación en diversos campos –un arquitecto puede especializarse en estructuras y un ingeniero en estudios sobre análisis estético de formas arquitectónicas y paisajísticas–.

La ingeniería debe basar su formación en el arte de proyectar los proyectos que le son propios, como base de su campo profesional para, desde esa concepción general, desde esa mirada, recibir los conocimientos teóricos y técnicos que permitan su desarrollo profesional.

Bajo este tipo de formación, arquitectos e ingenieros tendrán una misma mirada y un mayor entendimiento, resultando una colaboración profesional mucho más fructífera, sabiendo en cada tipo de proyecto o situación el papel que juega cada uno.

Llegados a este punto, cabe plantearse estas preguntas acerca de nuestro presente y futuro:

¿Cabe la posibilidad de desarrollar la figura del ingeniero como proyectista con una visión humanística y estética más allá de la técnica? De ser así, con el tiempo, ¿podrá llegar a cerrarse el círculo? **ROP**





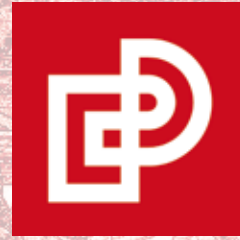
**FUNDACIÓN
CAMINOS**



**FUNDACIÓN
CAMINOS**



**FUNDACIÓN
CAMINOS**



**FUNDACIÓN
CAMINOS**



**FUNDACIÓN
CAMINOS**

La fuerza de los ingenieros de Caminos

El Think Tank que proyecta la profesión en la sociedad

FUNDACIÓN CAMINOS



**FUNDACIÓN
CAMINOS**



**FUNDACIÓN
CAMINOS**



**FUNDACIÓN
CAMINOS**



**FUNDACIÓN
CAMINOS**



**FUNDACIÓN
CAMINOS**

FONDOS DE INVERSIÓN

La solución para que usted no tenga que ocuparse de gestionar sus inversiones.

SICAV'S

GERLOCAPITAL SICAV S.A.
Invierte en Renta Variable con una vocación global y exposición en distintas divisas.
(Nº REG. CNMV 211)

CENTAURUS 2002 SICAV S.A.
Con una cartera de Renta Fija con objetivo de estabilidad, invierte en Renta Variable global.
(Nº REG. CNMV 2819)

RENDA VARIABLE

CARTERA VARIABLE F.I.
Fondo 100% Renta Variable con exposición en Ibex35 fundamentalmente.
(Nº REG. CNMV 1678)

CAMINOS BOLSA EURO F.I.
Fondo 100% Renta Variable con exposición en Eurostoxx 50 fundamentalmente.
(Nº REG. CNMV 2327)

CAMINOS BOLSA OPORTUNIDADES F.I.
Fondo 100% Renta Variable. Busca oportunidades en empresas con potencial de revalorización.
(Nº REG. CNMV 660)

MIXTO

RV 30 FOND F.I.
Fondo mixto de Renta Fija con una exposición máxima en Renta Variable del 30% y una cartera de RF que busca valor añadido.
(Nº REG. CNMV 498)

DINFONDO F.I.
Fondo mixto de Renta Fija que invierte en una seleccionada cartera de RF y un máximo del 10% en Renta Variable.
(Nº REG. CNMV 261)

RENDA FIJA

FONCAM F.I.
Nuestro Fondo de Renta Fija más galardonado.
(Nº REG. CNMV 659)

FONDO SENIORS F.I.
Fondo de Renta Fija por el que Gestifonsa SGIIC ha sido galardonada como mejor Gestora de RF en varios ejercicios. (Nº REG. CNMV 2622)

DINVALOR GLOBAL F.I.
Fondo de Renta Fija Global con reducida exposición en España, invierte en distintas estrategias con bonos internacionales.
(Nº REG. CNMV 1477)

MONETARIO

DINERCAM F.I.
Nuestro Fondo Monetario.
(Nº REG. CNMV 3449)

E **Foncam FI Premio Mejor Fondo RF a LP Año 2000** Otorgado por Expansión y Standard&Poor's. / **Foncam FI Premio Mejor Fondo RF a LP 3 años Año 2001** Otorgado por Expansión y Standard&Poor's. / **Foncam FI Premio Mejor Fondo RF a LP Año 2004** Otorgado por Lipper Fund Awards y Cinco Días. / **Dinvalor Global FI Tercer Premio Mixtos defensivos Año 2005** Otorgado por Intereconomía, Morningstar, Tressis y JP Morgan. / **Foncam FI Premio Mejor Fondo RF Bonos Euro Año 2008** Otorgado por Morningstar y La Gaceta. / **Foncam FI Premio Mejor Fondo RF LP zona Euro Año 2008** Otorgado por Interactive Data y Expansión. / **Foncam FI Premio Mejor Fondo de RF Año 2008** Otorgado por Lipper Fund Awards. / **Gestifonsa SGIIC Premio Mejor Gestora de RF Año 2008** Otorgado por Interactive Data y Expansión. / **Foncam FI Best Fund over three years bond Euro Año 2009** Otorgado por Lipper Fund Awards. / **Foncam FI Best Fund over five years bond Euro Año 2009** Otorgado por Lipper Fund Awards. / **Foncam FI Best Fund over ten years bond Euro Año 2009** Otorgado por Lipper Fund Awards. / **Dinercam FI Premio Mejor Fondo Monetario Nacional Año 2010** Otorgado por BME, Interactive Data y Expansión. / **Gestifonsa SGIIC Premio Mejor Gestora de RF Nacional Año 2010** Otorgado por BME, Interactive Data y Expansión.

Disclaimer: IMPORTANTE: para invertir en estos productos es necesario tener conocimientos y experiencia en los Mercados conforme a la Normativa MiFID. Existe riesgo de pérdida de capital invertido. Rentabilidades pasadas no aseguran rentabilidades futuras. Las cifras y datos contenidos en este anuncio no constituyen recomendación de compra o venta de una inversión y tienen estricto contenido publicitario. Los Fondos de Inversión disponen de un folleto informativo y documento con los datos fundamentales para el inversor (DFI) que pueden consultarse en las oficinas de GESTIFONSA SGIIC, S.A.U., Nº Registro Administrativo CNMV-123, C/ Almagro 8 planta 5ª, 28010 Madrid, en la página web de la Entidad (www.gestifonsa.es) y en la página web de la Comisión Nacional del Mercado de Valores (www.cnmv.es). La Entidad Depositaria de los Fondos de Inversión es Banco Caminos S.A., Entidad de Crédito registrada en el Banco de España con el código de Entidad 0234.