

Manuales
Universitarios de
Edificación

3

Ramón Araujo

Construir en ALTURA

La arquitectura
como técnica
(2)



Sistemas, tipos y estructuras

Editorial
Reverté

Manuales
Universitarios de
Edificación

3

Construir en ALTURA

Colección dirigida
por Jorge Sainz

Ramón Araujo

Manuales
Universitarios de
Edificación

3

Construir en ALTURA

Sistemas, tipos y estructuras

La arquitectura
como técnica
(2)

Prólogo
Enrique Álvarez-Sala

Edición
Jorge Sainz

**Editorial
Reverté**



Francisco Javier Sáenz de Oiza, sede del Banco de Bilbao (hoy BBVA), Madrid, 1978-1981.

Índice

Prólogo	7
Introducción	11
Láminas	17
I Características de la construcción en altura	25
II Tipología y evolución	51
III Forjados	81
IV Fachadas	109
V Fachadas de vidrio	141
VI El esqueleto de acero	171
VII La estructura de hormigón armado	207
VIII El hormigón prefabricado	239
IX Rascacielos	265
Conclusión	313
Bibliografía	317
Procedencia de las ilustraciones	321
Índice alfabético	333

© Ramón Araujo Armero, 2012
ra@estudioaraujo.es

Esta edición:
© Editorial Reverté, Barcelona, 2012

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede realizarse con la autorización de sus titulares, salvo las excepciones previstas por la Ley 23/2006 de Propiedad Intelectual, y en concreto por su artículo 32, sobre 'Cita e ilustración de la enseñanza'. Los permisos para fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra pueden obtenerse en Cedro (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org).

Editorial Reverté, S.A.
Calle Loreto 13-15, local B · 08029 Barcelona
Tel: (+34) 93 419 3336 · Fax: (+34) 93 419 5189
Correo E: reverte@reverte.com · Internet: www.reverte.com

Impreso en España · *Printed in Spain*
ISBN 978-84-291-3103-1
Depósito Legal: B 6099-2012
Impresión: Reinbook Impres, S.L., Barcelona
1376

Registro bibliográfico

Nº depósito legal: B 6099-2012
ISBN: 978-84-291-3103-1
CDU: 692
CDU: 728.28

Autor personal: Araujo Armero, Ramón (1957-)

Título: Construir en altura : sistemas, tipos y estructuras /
Ramón Araujo ; prólogo, Enrique Álvarez-Sala ;
edición, Jorge Sainz

Publicación: Barcelona : Reverté, 2012

Descripción física: 338 p. : il., plan. ; 24 cm

Serie: (Manuales Universitarios de Edificación ; 3)

Bibliografía: Bibliografía: p. [317]-319. Índice

Nota al título: Segunda parte de *La arquitectura como técnica*.
Madrid: Arc Ediciones, 2007

Encabezamiento materia: Partes estructurales y elementos de la construcción
Encabezamiento materia: Arquitectura – Rascacielos

La enseñanza de la técnica

Enrique
Álvarez-Sala

Leer libros o artículos de arquitectura requiere habitualmente una concentración absoluta para seguir el hilo del discurso y extraer las ideas que se esconden entre las palabras. Sin embargo, leer este libro de Ramón Araujo resulta sencillo: se lee sin esfuerzo y, sin darse cuenta, el lector se sumerge en un sugerente mundo de relaciones y referencias.

Nos encontramos ante un caso extraño: un libro técnico que es ameno y fácil de leer. ¿Cuál es la fórmula mágica?, ¿con qué enfoque se aborda un libro de arquitectura para que se lea sin esfuerzo?

Arquitectura y técnica

La idea es sencilla: en el libro se estudia esa parte en que la arquitectura es 'técnica', y eso permite un análisis riguroso y sin dramatismos.

Por supuesto, la arquitectura no sólo es técnica –sería una ingenuidad plantear que no hay más variables, todos sabemos que sí las hay–, pero es en la parte en que la arquitectura es técnica en la que el libro busca su inspiración.

Este volumen es la segunda parte de la serie de estudios que Ramón Araujo inició en 2007 con la publicación de *La arquitectura como técnica (1): superficies*, en donde el autor aplica la misma filosofía y el mismo enfoque.

La primera frase de ese primer libro dice «La arquitectura es una disciplina científica». ¡Revelador! Todo un manifiesto; una expresión desde luego no casual y esclarecedora de una forma de pensar: de la forma de pensar de Ramón Araujo.

Técnica y altura

En el caso del presente libro, el tema es –si cabe– aún más difícil: 'Construir en ALTURA'; y en la cubierta los editores han puesto 'altura' con mayúsculas. Inquietante. Por fortuna, el subtítulo ('sistemas, tipos y estructuras') tranquiliza, le da ese tono científico que ahuyenta el temor de que nos encontremos frente a otro tomo lleno de vaguedades y abstracciones del tipo «la luz que resbala».

Pero ¿lleva este enfoque al mundo exclusivo de la ingeniería? En absoluto. Precisamente, el conocimiento simultáneo de la técnica y de la forma es el campo específico de la arquitectura.

Los proyectos que llevan en su código genético ambas cuestiones son sin duda los mejores proyectos, los que dan como resultado

Ramón Araujo, *La arquitectura como técnica (1): superficies* (Madrid: ATC Ediciones, 2007).



Enrique Álvarez-Sala estudió en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, de la que fue profesor del Departamento de Construcción entre 1983 y 2006; entre sus obras destaca la torre SyV en Madrid (2004-2008), realizada en colaboración con su socio, Carlos Rubio.

los mejores edificios, los edificios que mejor han resistido el paso del tiempo, los que incluso han mejorado con él, porque las buenas ideas no envejecen.

Pero ¿es posible escribir sobre un tema tan atractivo –y, por tanto, tan recurrente– como la construcción en altura sin caer en repeticiones, en ideas ya manidas, en enfoques ya conocidos? ¿Es posible ofrecer un enfoque nuevo?

Este libro lo hace; parece imposible, pero lo hace. Y sin embargo, el planteamiento es tan simple que una vez hecho parece obvio. Construir en altura es sencillamente superponer plantas, una encima de la otra.

Parece elemental, pero no lo es en absoluto. ¿Hasta dónde se pueden superponer plantas? ¿En qué medida influye el número de plantas que se superponen? ¿Qué otras consideraciones y qué otros factores hay que tener en cuenta a medida que se aumenta el número de plantas?

Eso es, precisamente, lo que constituye el libro: un análisis científico de las técnicas idóneas en cada caso y de los factores que se han de considerar cuando varían las condiciones y el número de plantas; un análisis de la evolución de los sistemas estructurales; un análisis de la evolución de los sistemas constructivos; un análisis por separado de los forjados, de las fachadas, de las instalaciones, de los materiales, de los esfuerzos, de las deformaciones...

Simple, sí, pero de una eficacia contundente.

Altura y rascacielos

Y la superposición de plantas ¿adónde lleva? Lógicamente, a los rascacielos: es el desenlace inevitable.

Pero esto no significa que la construcción en altura sea únicamente la construcción de rascacielos, ni que el objeto de este libro sea la tipología de los edificios altos.

Afortunadamente, el libro se mantiene alejado de la fascinación de los récords y de las extravagancias formales que con frecuencia acompañan ahora a los edificios altos; también se distancia de consideraciones exhibicionistas relacionadas con el poder económico.

El rascacielos es el desenlace de un sistema constructivo y un tipo edificatorio en sí mismo, con una lógica interna de extraordinario interés.

En un rascacielos, la técnica es siempre un factor determinante de la forma. De alguna manera, los rascacielos son los *fórmula uno* de la edificación, y eso convierte a este tipo constructivo en la expresión de la tecnología punta disponible en un lugar y en un momento histórico determinados. De hecho, los rascacielos aparecen cuando la técnica necesaria está disponible.

Se puede hablar de un primer intento de levantar un rascacielos en Babel, que finalmente no prosperó (parece que por un desafortunado fallo en el protocolo de comunicaciones). Donde sí hicieron su

aparición los primeros rascacielos fue en el Chicago de finales del siglo XIX. Necesidad y tecnología, al coincidir en un mismo momento, hicieron de la necesidad virtud. Y la transferencia de tecnologías entre distintas disciplinas se hizo a una velocidad vertiginosa: fueron tiempos heroicos.

Pero ¿es que la construcción en altura no había existido hasta entonces?

Por supuesto que sí: basta pensar, por ejemplo, en las ‘ínsulas’ romanas. Pero hay un momento en el que las diferencias cuantitativas suponen variaciones cualitativas, y es esa transformación la que es objeto de estudio.

¿Se puede arrancar estudiando directamente los edificios altos o los edificios que superan una determinada altura? Qué duda cabe: de hecho, es un planteamiento muy frecuente y una tentación muy comprensible.

Pero a Ramón Araujo no le gusta tomar atajos y ha sabido resistirse a esa *atracción fatal* de dar saltos en el vacío para tratar de avanzar más deprisa. En buena medida, el gran atractivo del libro es precisamente éste: no hay piruetas; el análisis es progresivo, científico.

Conocimiento y enseñanza

He comentado cuál creo que es el enfoque del libro. Pero ¿cuál es su intención, por qué se ha escrito, qué interés tiene?

A mi entender, su única intención es transmitir conocimiento.

En ese sentido, es un libro de una enorme generosidad intelectual, que no busca lucimiento personal alguno ni complacencia narcisista de ningún tipo; sólo busca compartir el entusiasmo por la comprensión de la lógica de construir y que otros entiendan una forma distinta de ver la arquitectura.

El discurso del libro es preciso y claro, el lenguaje es contenido, las palabras son las necesarias, sin adornos. Si Robert Le Ricolais decía que la estructura es el arte de saber colocar los huecos (lo que hacía referencia a la eliminación de lo superfluo), el discurso del libro es ‘estructural’: contiene las palabras justas para explicar, para sugerir, para entusiasmar, para que el lector complete el pensamiento sugerido y no agotado, para que lo haga suyo.

Es un libro que abre puertas, pero que no agota temas. Cada idea, cada ejemplo, es un microcosmos, una apertura a un mundo fascinante que sólo se vislumbra

El libro no sólo enseña: también ayuda a estudiar.

La metodología empleada es evidente: la arquitectura se utiliza para enseñar arquitectura; ejemplos paradigmáticos sirven para mostrar soluciones, para relacionar técnicas e ideas constructivas.

Se puede pensar que los ejemplos son conocidos, tal vez incluso que algunos son referencias utilizadas con frecuencia; pero hay que decir que si estos ejemplos se han utilizado a menudo es porque Ramón Araujo los ha manejado, ha enseñado con ellos, los ha *popula-*

rizado hasta el punto de hacer que todos los conozcamos y los entendamos como nuestros: tan nuestros y tan próximos como si de los personajes de un retrato de familia se tratase.

Y en cierto modo, algunos de los ejemplos tienen personalidad propia, son en cierta medida amores de juventud, con respecto a los cuales se aprecia un cariño y un respeto casi reverencial. Otros son gigantes, 'mitos' en torno a los cuales se ha tejido la trama de la arquitectura. Por último, otros son discretos ejemplos que han preferido pasar desapercibidos y a los que sólo la insistencia del autor ha rescatado del olvido. Todos ellos han dado mucho a Ramón Araujo, a quien también deben mucho.

La utilización de estos ejemplos en sus clases ha hecho ver a muchos estudiantes y arquitectos otra historia de la arquitectura: una historia menos formalista. Las clases del tándem Araujo-Azpilicuetta durante algunos años en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid ya son míticas y muchos las recuerdan como una forma distinta, apasionante y apasionada de aprender y de enseñar arquitectura.

De alguna manera, este libro es la punta del iceberg de una carrera profesional dedicada a la construcción arquitectónica, al estudio y a la docencia. Todo ello, a partes iguales.

Si alguien quiere una confirmación de la voluntad didáctica de este libro, le aconsejo que se fije en los dibujos. A mí me resulta imposible no ver en ellos las explicaciones de las clases del autor a sus estudiantes. Son dibujos precisos, conceptuales, *docentes*, nada formalistas, sin otra voluntad plástica que no sea la exposición de las ideas; y sin embargo –y probablemente por ello–, son deliciosos.

El resultado es un libro sencillo para el principiante y sorprendentemente sencillo para los que se consideran especialistas. Hay que tener las cosas claras para poder simplificar.

Conozco a Ramón Araujo. Le he oído hablar, le he visto dar clase, le he padecido, le he disfrutado, he estado en su casa, he viajado con él, he aprendido de él muchas veces y muchas cosas. Sé como piensa y, sin embargo, aún me sorprende con frecuencia. Y ahora, otra vez.

Este libro enseña cosas que no sabemos, aclara cosas que sabemos y sugiere cosas que deseamos saber.

Madrid, enero de 2012.

Introducción

Este libro es fruto del curso de Construcción que imparto desde hace demasiados años en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.

El curso lo desarrollé ante todo para mí, tratando de compensar el precario conocimiento que los arquitectos tenemos sobre las soluciones técnicas que están en el origen de la arquitectura que admiramos. Este afán por ampliar nuestros conocimientos técnicos era compartido por muchos compañeros de generación, y era una consecuencia esperable de las limitaciones técnicas de nuestro país y de nuestras ganas de construir.

Enseguida me divertí mucho contarlo; y poco a poco, con la experiencia de compartirlo, tomó la forma actual.

Mi curso siempre tuvo cierta actitud beligerante. Me fastidiaba enormemente ver cómo la Escuela se empeñaba en enseñar a proyectar con un desconocimiento y un desinterés notorios hacia los sistemas constructivos, hacia la 'técnica' de la arquitectura, y se dirigía hacia un entendimiento banal de la forma que, finalmente, ha terminado dominando la enseñanza y el ejercicio profesional durante años.

Siempre quise tratar de transmitir que la arquitectura y la construcción son prácticamente la misma cosa; que no se proyecta y luego se buscan formas de realizar lo proyectado; y que una arquitectura valiosa sólo puede nacer de la integridad entre la forma y sus sistemas técnicos. Formado en la tradición del Movimiento Moderno, me parecía evidente que la arquitectura de nuestro tiempo era hija de las nuevas posibilidades tecnológicas, algo que, por otra parte, muestra claramente la historia de la arquitectura.

Una característica del curso es estar repleto de análisis y descripciones de edificios, única forma que he hallado hasta la fecha de reunir forma y técnica: aprender analizando los edificios que admiramos. La enseñanza de la construcción a partir de detalles estándar y catálogos comerciales nunca me ha interesado demasiado.

Como el curso fue creciendo, tomó, al publicarse, la forma de una trilogía, y uno de los tres libros, el segundo, es éste dedicado a los edificios de pisos, a la construcción en altura.

La gran mayoría de las edificaciones que forman nuestras ciudades son edificios 'de pisos', organizados mediante la superposición de una cantidad significativa de planos horizontales habitables; y la

construcción en altura es desde hace mucho tiempo el sistema más generalizado en la ciudad contemporánea. Frente a los edificios de este tipo, caracterizados por los forjados, nos encontramos con organizaciones muy diferenciadas: las correspondientes a los edificios extensivos y de poca altura, en los que la cubierta es el factor dominante.

A pesar de lo simple de la diferenciación, no cabe duda de que construir y proyectar en altura implica características bien específicas. La generalización de la construcción en altura fue el resultado más significativo de la revolución técnica aplicada a la arquitectura, y sus principales innovaciones (la estructura reticular, la pared de vidrio y los nuevos sistemas de instalaciones) dieron como resultado la ciudad de gran densidad en la que vivimos hoy.

El edificio de pisos es necesariamente un artefacto muy tecnificado y su evolución en los últimos años (desde los primeros ejemplares de Chicago y los desarrollados por los arquitectos modernos) ha sido necesariamente técnica. Los sistemas estructurales, las instalaciones y los cerramientos no han dejado de encontrar nuevas soluciones para hacerlo cada vez más eficiente y más capaz.

No cabe duda de que los tipos actuales son hijos de las nuevas técnicas.

Este libro está organizado a partir de estas técnicas, y trata de describirlas en sus aspectos fundamentales, siempre con relación a los edificios en que se emplean, con cierto hincapié en las aplicaciones iniciales o más relevantes. El libro habla principalmente de estructuras, cerramientos y sistemas de instalaciones, y trata de describir su evolución y sus últimos logros.

La selección de edificios no es fácil de justificar. Desde luego, hay muchos ejemplos que no aparecen en el libro simplemente por que no caben, o por no haber tenido acceso a una documentación suficiente. También se ha preferido lo más antiguo a lo más reciente: por varias razones, pero quizá la más importante es por tratar de colaborar a que todo ese esfuerzo no quede totalmente relegado.

Reconozco también un creciente desinterés hacia la arquitectura más reciente (con excepciones, claro), que parece cada vez más ajena a la experimentación técnica y, sobre todo, al concepto de integridad, que me ha parecido importante conservar en el entendimiento del libro.

Estructuras

El libro trata de dar la máxima importancia al concepto y diseño estructural, en mi opinión el sistema técnico más relevante para la forma. De hecho, el edificio en altura, tal como lo concebimos, es ante todo el resultado de la aparición del sistema reticular de vigas y pilares en acero y hormigón armado. Gran parte de la evolución del edificio de pisos está determinada de hecho por la progresiva aparición de nuevas variantes a la retícula.

Por un lado nos encontramos con verdaderas invenciones, que terminan por confirmar que no hay verdaderas novedades en arquitectura sin una ambiciosa búsqueda estructural. Como resultado de esta experiencia, hemos heredado un amplio conjunto de hermosas invenciones estructurales.

Pero no siempre –es más, rara vez– debemos inventar; y descubrimos cómo algunas soluciones (aquellas que ofrecen unas organizaciones arquitectónicas depuradas y sencillas) se asimilan y se generalizan. Junto a los edificios imaginativos y brillantes –excepcionales, finalmente– aparecen otros claros, eficientes y concisos: brillantes de otro modo.

Resulta interesante ver cómo el hormigón armado ha ido perdiendo aquella fuerza casi explosiva que tuvo en su momento de esplendor, para dar lugar a las actuales soluciones ‘estándar’, sencillas y económicas, resultado de la inmensa demanda de metros cuadrados sin cualificar de la ciudad contemporánea.

El acero es hoy el protagonista de las soluciones más novedosas y experimentales, gracias en parte al desarrollo de técnicas de conformación que ofrecen una libertad antes impensable en el diseño de piezas. Pero también el acero ha producido una solución ‘estándar’ al esqueleto metálico, que es hoy casi ineludible en muchos edificios, especialmente los de oficinas.

Describir cómo hemos llegado hasta aquí importa también para aventurar qué soluciones estructurales serán las dominantes en el futuro próximo.

Creo que se abrirá paso de nuevo el interés por la optimización estructural. Empezamos a juzgar nuestros edificios en función del coste energético, lo que debe impulsar la defensa de la ligereza y, por tanto, de las mejores estructuras. En realidad, esto significa que reanudamos nuestro trabajo desde las experiencias que siempre primaron la eficacia estructural (aunque por entonces no llamásemos a esto ‘eficiencia energética’, obviamente lo era) y creo que tendremos un puente por encima de tantas tontas estructuras recientes, ya difícilmente defendibles desde la óptica de la razón.

Y lo mismo vale para la racionalización y la industrialización, que son objetivos característicos e incluso inexcusables del diseño estructural en el desarrollo de la arquitectura moderna, y de las que encontraremos ejemplares únicos, casi visionarios. Éste es un tema que recobrará protagonismo, de nuevo lanzado desde nuestro interés por el control energético.

Fachadas

El edificio de pisos moderno nació con un cerramiento predominantemente acristalado, como resultado de su gran necesidad de luz solar; y el ‘muro cortina’ dominó los comienzos de la arquitectura moderna, de modo que encontraremos en el libro numerosos ejemplos de este desarrollo. Son muchos los problemas de todo or-

Láminas

1. *Antonio Gaudí,
casa Milá, 'La Pedrera',
Barcelona, 1906-1910.*



II. *Le Corbusier,
Pabellón Suizo,
Ciudad Universitaria,
París, 1930-1932.*





III. Ludwig Mies van der Rohe, viviendas en Lafayette Park, Detroit (Michigan), 1955-1963.

v. José Antonio Coderch y Manuel Valls, viviendas en la Barceloneta, Barcelona, 1952-1954.



IV. SOM, edificio de la compañía Business Men's Assurance (BMA), Kansas City (Misuri), 1961.



VI. Francisco Javier Sáenz de Oíza y Juan Daniel Fullaondo, edificio Torres Blancas, Madrid, 1961-1968.

VII. BRT Architekten, edificio Berliner Bogen, Hamburgo, 1998-2001.



VIII. Gustav Hassenpflug, viviendas en el Hansaviertel, Berlín, 1957.



IX. London County Council, viviendas en el barrio Roehampton, Londres, 1965.



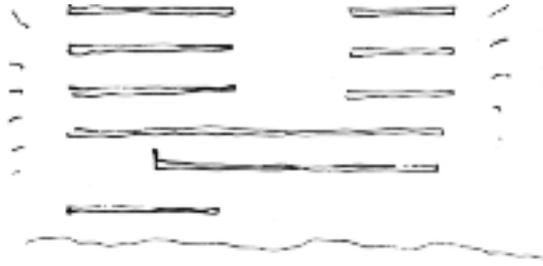
Características de la construcción en altura

La ciudad vertical ya existió en la Antigüedad; y desde Roma a la ciudad del siglo XIX, la construcción con muros de carga permitió la superposición de planos de uso hasta cierta altura.

El gran cambio de escala que condujo a la ciudad moderna se inició a finales del siglo XIX en Chicago, se generalizó después con la ciudad vertical teorizada por el Movimiento Moderno y ha alcanzado una escala desmedida con los actuales centros financieros, resultado de la evolución de un amplio conjunto de invenciones: el esqueleto de acero y hormigón, el ascensor, el aire acondicionado, etcétera.

El resultado es que no cabe duda de que la ciudad moderna es y será característicamente vertical.

1.1. Lo determinante de la construcción en altura es la superposición de planos horizontales.



1.2. Las organizaciones en altura no son una simple repetición, aunque la repetición es una de sus características: orden gigante en el palacio Valmarana, de Andrea Palladio.

La superposición de planos implica un problema espacial y técnico de características muy particulares y el edificio en altura es un organismo potencialmente muy complejo. Si tal complejidad ha sido siempre característica, hoy se abren nuevas posibilidades con secciones no necesariamente repetitivas, la superposición de espacios de escalas diferenciadas, e incluso la incorporación de grandes recintos que parecen permitir una nueva libertad vertical. Por otro lado, la tecnología del vidrio abre el camino a complejos organismos entreabiertos.

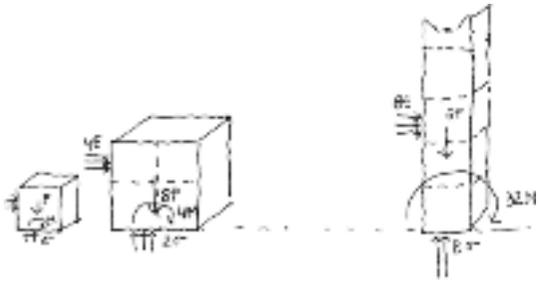
Necesariamente, estas organizaciones espaciales serán eficientes en tanto encontremos soluciones adecuadas para su estructura, su concepción energética, sus cerramientos, su seguridad, etcétera; y también para su montaje, pues la dimensión característica de la construcción en altura requiere altos niveles de industrialización. La concepción del edificio como un mecano de ligeros elementos industrializados es el concepto más extendido, pero no el único, y otras tecnologías ofrecen posibilidades interesantes.

Sistemas estructurales

Las estructuras de pisos tienen dos problemas característicos: por un lado, su estabilidad general; y por otro, el predominio de los planos horizontales.

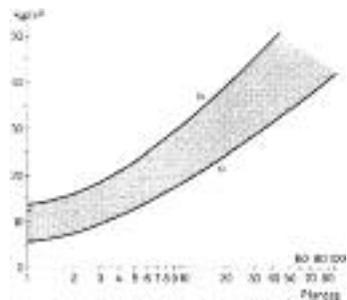
La elección del tipo estructural dependerá del tamaño; y de acuerdo a la ley de semejanza, crecer implica un aumento proporcional de la estructura: el esqueleto de un topo pesa el 1,8 % de su cuerpo; el de un perro, el 13 %; y el de un hombre, el 18 %.

A medida que el edificio crece en altura, aumenta la importancia de los esfuerzos horizontales; pero no sólo influye el tamaño (cuyo aumento implica más tensión en la base, pero también mayor estabilidad, al aumentar más el peso que la superficie expuesta al viento), sino la forma y en particular la esbeltez, con la que aumentan los esfuerzos debidos a la carga horizontal.



1.3. Al duplicar el lado del cubo, multiplicamos por cuatro la superficie de sus caras y por ocho su volumen; así pues, se duplica la tensión sobre el terreno y se cuadruplica el momento de vuelco debido al viento; si el mismo volumen se dispone en altura, estos últimos incrementos son muy superiores.

Las organizaciones en altura no son una simple repetición. Las soluciones posibles a la estabilización definen las diferentes tipologías y determinan la organización del edificio. Con sistemas murales rara vez se alcanzan grandes alturas, debido al aumento de espesor de los muros, mientras que los sistemas reticulares –donde el aumento de sección de los soportes es mucho más asumible– el límite práctico son veinte plantas. Por encima de esta altura, el predominio de las acciones horizontales requiere sistemas de rigidización de diferentes tipos, pues de lo contrario el peso estructural por metro cuadrado crece exponencialmente.



1.4. Esquema indicativo del aumento del peso estructural en acero por m^3 de edificación, según el número de plantas y el orden de luces: a, luces reducidas; b, luces grandes.

Por tanto, a cada tamaño y esbeltez le corresponde un diseño estructural característico; y la solución será crear elementos a escala del conjunto a medida que el organismo crece.

La luz libre de los forjados es aún más determinante para el peso estructural: las tensiones en los elementos horizontales crecen con el cuadrado de la luz y las deformaciones con su cuarta potencia; y a medida que la luz aumenta, son necesarios diseños que atenúen el incremento de peso. No obstante –y por eficiente que sea que el diseño– se paga siempre un alto precio en peso estructural por las grandes luces.

Acciones

Las cargas verticales debidas al peso propio y al uso determinan el diseño de los edificios de pisos, y hay que hacer notar que el peso propio de la estructura horizontal suele ser superior a las sobrecargas, como consecuencia de su característico trabajo en flexión.

El diseño de los forjados y de sus condiciones de apoyo será fundamental para lograr optimizar el peso estructural, pero veremos que será fundamental considerar también sus múltiples requisitos de aislamiento termoacústico, capacidad para incorporar conductos, etcétera.

En cuanto a su influencia en los elementos estructurales verticales, hay que recordar que las cargas verticales pueden usarse ‘a favor’ de la estabilidad de la estructura.

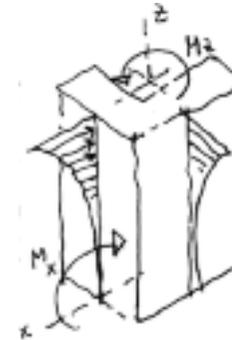
El viento es la acción determinante a medida que la esbeltez o la altura crecen. No sólo la presión es mayor (es creciente con la altura), sino que son ahora importantes las direcciones variables, las ráfagas, las turbulencias, etcétera. En particular, el viento puede generar esfuerzos de torsión cuando el centro de aplicación de las cargas no coincida con el centro de masa, lo que favorece las formas cerradas, y simétricas.

La limitación por deformación es típica de los edificios de bandejas, y tendremos una primera limitación por la comodidad de uso (flechas en forjados y desplazamientos horizontales). Las repercusiones de esta limitación son importantes en el diseño de los cerramientos y las divisiones, que se verán afectados por la deformación en flexión del armazón, de modo que una mayor deformabilidad se corresponderá con la elección de materiales y soluciones constructivas adaptadas.

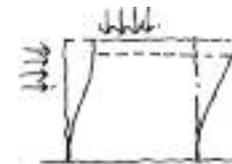
Además, las acciones verticales producen el acortamiento de los soportes, que puede ser diferencial (diferente estado tensional, diferentes materiales), aunque este efecto sólo será determinante en edificios de gran altura.

Como los edificios se comportan como una ménsula empotrada en el terreno, se diseñan con limitación de flecha en cabeza (generalmente $h/500$ incluso en rascacielos) por razones de comodidad.

Básicamente, la acción sísmica produce un movimiento oscilatorio cuyas características dependen de su periodo. Este movimiento genera una fuerza cortante entre la Tierra y la estructura que se traduce en esfuerzos cortantes en cada planta.



1.5. Las acciones horizontales determinan la forma: son crecientes con la altura e implican flexión y torsión.



1.6. Deformaciones: acortamiento, desplazamiento lateral y efecto de inestabilidad elástica ($P-\Delta$).

Tipología y evolución

El edificio de bandejas –tal como lo entendemos hoy– nació de la experiencia del Movimiento Moderno, en la que cristalizaron soluciones como el bloque lineal con estructura reticular y cerramientos acristalados, y diversas formas derivadas de él.

En Norteamérica, después de la II Guerra Mundial, este proceso de formación de nuevos tipos se reanudó y se concentró en las soluciones de núcleo central y plantas de grandes luces libres, en las que tomaron forma algunos componentes tan importantes como el muro cortina o el techo técnico.

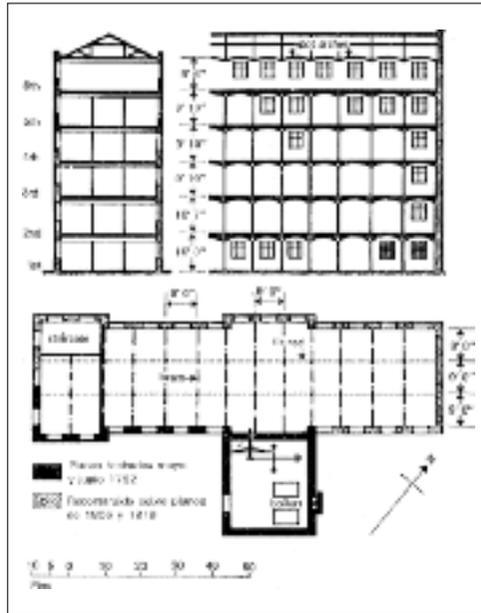
Estos tipos conservan hoy sus rasgos característicos, aunque desde entonces se han probado otras alternativas, entre las que destaca la aplicación de diferentes soluciones estructurales que han superado las limitaciones de la retícula, como los sistemas suspendidos o los realizados a base de núcleos y pantallas.

A continuación pueden señalarse dos desarrollos importantes y bastante interconectados: la incorporación de un atrio y el estudio de alternativas al concepto energético del edificio (incluidas nuevas soluciones de fachada). Estos problemas alcanzan protagonismo debido a la demanda de tecnificación del espacio, el recurso a una profundidad edificada cada vez mayor o la búsqueda de alternativas a la oficina corredor.

Describiremos a continuación algunas de las realizaciones características de esta evolución, para lo que vamos a exponer los rasgos y las características de las construcciones actuales. Empezamos por el nacimiento del propio esqueleto.

La construcción con esqueleto nació en Europa con las primeras columnas de fundición y las primeras vigas laminadas, y su objetivo central era la lucha contra el fuego en la edificación industrial. La primera construcción de esta clase que conocemos es una algodonera de seis pisos construida en 1792-1793 por William Strutt en Derby (Inglaterra), y consiste en un sistema de pórticos paralelos atados transversalmente, con un muro perimétrico que abraza el conjunto (figura 2.1). La asociación entre el esqueleto y el muro es muy notable, pues permite que el primero se configure como un ligero mecano de uniones apoyadas, que trabaja sin esfuerzos excéntricos.

Durante el siglo XIX se siguieron realizando diferentes estructuras mixtas de este tipo, hasta que el esqueleto de fundición prescindió ya del muro en los edificios de James Bogardus y, finalmente, en



2.1. William Strutt,
fábrica de algodón, Derby
(Inglaterra), 1792-1793.



2.2. William Le Baron
Jenney, edificio Leiter II,
Chicago, 1891.

los de la Escuela de Chicago (figura 2.2), que con sus grandes acristalamientos horizontales (la célebre 'ventana de Chicago') y sus núcleos de ascensores anunciaban con gran claridad el edificio de oficinas del siglo xx.

En esa transición entre los tipos de muros de carga y los de esqueleto se realizaron edificios muy interesantes que exploraban temas de gran actualidad: complejas estructuras mixtas de acero y fá-



2.3. Antonio Palacios,
Banco Español del Río de
la Plata, Madrid,
1910-1918.

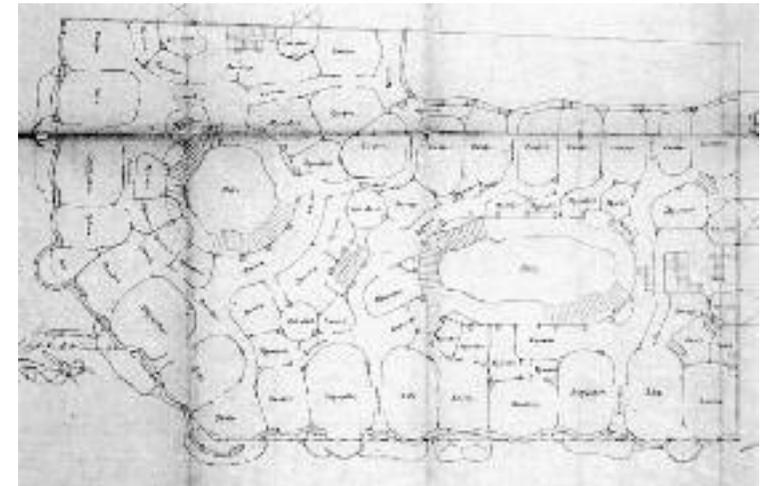
brica, fachadas resistentes con grandes acristalamientos, tipos como las sedes bancarias con patio de operaciones, etcétera. En Madrid hay hermosos ejemplos de esta arquitectura en la Gran Vía, especialmente en los edificios de Antonio Palacios, realizados hasta la década de 1920 (figura 2.3).

La Pedrera

Un ejemplar insólito de estos primeros años del hierro es la casa Milá, conocida como 'La Pedrera', de Antonio Gaudí, en Barcelona. Comenzada en 1906, en ella se emplearon perfiles laminados en los forjados y los elementos de anclaje, pero el tema central de Gaudí era el esqueleto de piedra.

Mientras que en sus edificios religiosos Gaudí buscaba la forma óptima para un sistema comprimido (la que lleva al límite la capacidad resistente del material y elude los sistemas de contrarresto masivos o externos), en los edificios de pisos la solución sería el esqueleto de columnas de piedra, que le permite hacer una planta libre y una fachada abierta (figura 2.4): una alternativa radical al sistema mural celular característico del ensanche barcelonés.

2.4. Antonio Gaudí, La
Pedrera, Barcelona, 1906-
1910; planta y vista de la
estructura durante
su rehabilitación.

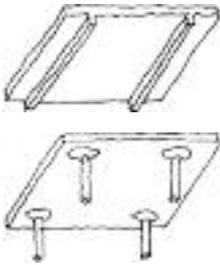


Forjados

El forjado es quizá la superficie con requisitos más complejos de cuantas tratamos en construcción, y desde luego la más significativa de la construcción en altura, que consiste fundamentalmente en la superposición de planos de uso. Tales requisitos son de orden mecánico (resistencia, arriostramiento, control de deformaciones, vibraciones), de impermeabilidad, confort ambiental (acondicionamiento termoacústico), distribución de instalaciones y alojamiento de mecanismos de todo tipo, resistencia al fuego, etcétera.

Características mecánicas

El forjado es un plano que trabaja generalmente en flexión, con diferentes vinculaciones en sus bordes, de modo que su comportamiento variará en función de ellas.

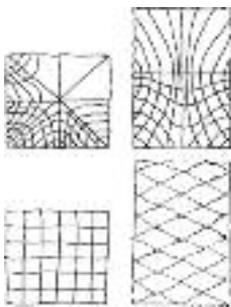


3.1. Forjado sobre vigas o sobre soportes.

1. Puede ser monodireccional o bidireccional, con flexión en una dirección o con comportamiento de placa, que resulta mucho más eficaz. En el primer caso, el forjado requiere la existencia de vigas, mientras en el segundo puede apoyar directamente sobre soportes. Recordemos que una placa desarrolla nuevos mecanismos resistentes (torsión y cortante transversal, además de la colaboración entre las dos direcciones) que la hacen más eficaz.

Las placas pueden ser macizas o nervadas, pero estas últimas resultan más interesantes por su ligereza. La geometría de los nervios debe ser en lo posible acorde con la red de líneas isostáticas de flexión, aunque su trazado suele ser una aproximación esquemática.

De estos trazados geométricos, el emparrillado ortogonal es el más frecuente, sobre todo en las placas cuadradas, donde todas las barras pueden tener la misma sección. A medida que las proporciones cambian, las barras largas pierden eficacia: con una proporción de 1:2, las barras más largas requieren 8 veces más rigidez que las cortas para llevarse las mismas cargas. Actualmente, una solución más eficaz para las placas rectangulares consiste en girar el emparrillado hasta formar una red de rombos, de nuevo más próxima al trazado de las líneas isostáticas.



3.2. Trabajo bidireccional en placas y simplificación de los nervios.

2. Otra cuestión importante son las condiciones de borde: forjado apoyado o empotrado, lo que implica diferentes formas de trabajo y de colaboración con el resto del sistema. En los vínculos con los soportes y las vigas, decidimos si el forjado les transmite momentos y esfuerzos rasantes además de la carga vertical.

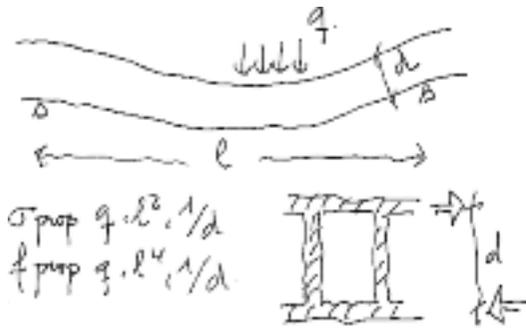
En general, el forjado tiene una misión muy importante al transmitir las fuerzas horizontales a los elementos verticales de la estructura, para lo que requiere vinculación con éstos y suficiente rigidez en su plano. Cuando exista entrevigado, es importante tener en cuenta que contribuye a incrementar la rigidez horizontal, a evitar el pandeo lateral de los nervios o a trabajar como cabeza de compresión de los mismos.



3.3. Colaboración del forjado en la estabilización general (al transmitir esfuerzos en su plano o momentos) y del entrevigado con las viguetas (pandeo lateral, cabeza de compresión y transmisión de giros y esfuerzos en su plano).

3. Un problema fundamental del forjado es su peso, ya que en flexión su efecto es siempre desfavorable. Frecuentemente el peso propio es superior a las sobrecargas, y buscar soluciones ligeras es importante, especialmente al aumentar la luz.

La deformabilidad del forjado suele ser el problema crítico, y el canto mínimo por flecha suele gobernar el diseño. Esto tiene consecuencias sobre el confort y sobre el resto de los elementos constructivos, en particular de los cerramientos (los forjados deformables requieren cerramientos que lo sean igualmente). Lo ideal será entonces aumentar el canto y reducir el peso, lo que normalmente se logra con sistemas de nervios o con organizaciones huecas.



3.4. Resistencia a flexión y deformabilidad: la solución más favorable es hueca y con el mayor canto posible.

Comportamiento termoacústico

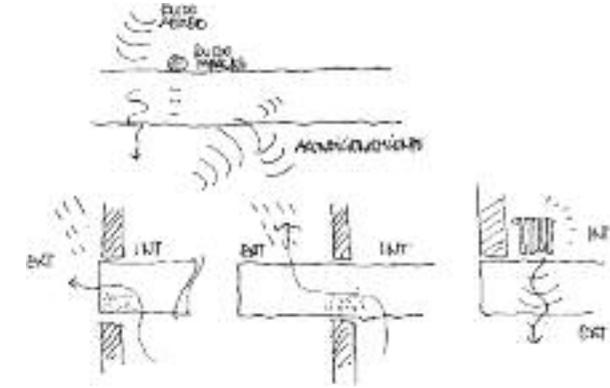
El forjado suele requerir diferentes niveles de aislamiento térmico (independencia entre recintos) o de inercia térmica (capacidad de acumulación). Las soluciones para lograr aislamiento no difieren de las empleadas en los cerramientos: aumento de la masa, empleo de cámaras de aire o incorporación de materiales aislantes. La capacidad de acumulación implica necesariamente masa.

El problema acústico es sobre todo de aislamiento aéreo y al impacto, pero también es importante su papel en el acondicionamiento ambiental, lo que depende más de su acabado.

El aislamiento aéreo implica principalmente masa, aunque pueden considerarse mecanismos multicapa, con respuesta a diferentes frecuencias. La colaboración de suelos y techos al aislamiento es significativa. El aislamiento al impacto requiere láminas elásticas amortiguadoras o pavimentos flotantes.

El acondicionamiento acústico depende de los acabados (reflektantes o absorbentes) y de la forma de la cara inferior.

3.5. Aislamiento y acondicionamiento acústico a través del forjado; los problemas de acondicionamiento térmico se plantean sobre todo cuando el forjado asoma al exterior.



Un problema particular se produce cuando el forjado tiene contacto con el exterior, en toda su superficie (forjados de cubierta y planta baja) o en zonas locales (terrazas, cantos del propio forjado, etcétera). En este caso, los requisitos cambian y se plantean problemas de estanquidad, condensación, aislamiento, acabado, etcétera, similares a los de cualquier cerramiento.

Integración de las instalaciones

La distribución de energía por el plano horizontal es una solución muy adaptada a la planta libre, y es frecuente asociar el forjado con las instalaciones de abastecimiento y desagüe, electricidad, calefacción y climatización, iluminación, etcétera.

Un problema es la necesidad de registro, mantenimiento y reemplazo, así como lograr un montaje limpio, que permita que las redes sigan sus propias reglas. Para ello se necesitan sistemas flexibles de distribución. Hay que considerar además los problemas de incompatibilidades entre las diferentes redes (por ejemplo agua y electricidad), los problemas específicos de aislamiento y la interferencia con los demás elementos constructivos.

3.6. Instalaciones superpuestas o en el mismo canto estructural.



Fachadas

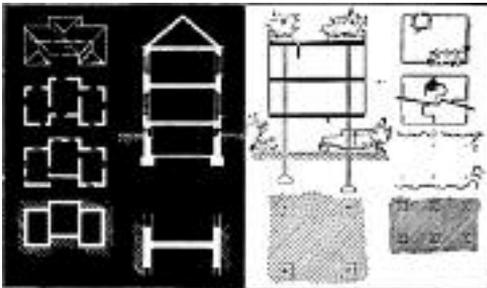
No existe necesariamente un cerramiento como sistema independiente; y cerramiento y estructura pueden ser un solo elemento (como en la construcción mural), estar muy integrados en una superficie en la que ambos colaboran o, finalmente, concebirse como sistemas independientes, en cuyo caso la estructura soporta el cerramiento.

La envolvente del edificio resuelve la relación con las condiciones del clima o la defensa ante ellas, y tiene una función determinante con respecto al comportamiento energético del conjunto, muy especialmente en su acondicionamiento térmico. Por todo ello, también los sistemas de instalaciones pueden estar involucrados en los cerramientos: la envolvente tiene una relación compleja tanto con la estructura sustentante como con los sistemas de intercambio energético del edificio, y su diseño es absolutamente interdependiente.

No obstante, en la construcción en altura –donde la envolvente se convierte en fachada– la configuración del cerramiento como una piel ligera y no portante es un rasgo común a la mayoría de los edificios actuales.

4.1. *En la construcción tradicional de entramado, la fachada no existe como algo independiente, no es natural una distinción clara entre la envolvente y la estructura, sino que la fachada implica a todos sus elementos: vista de una casa en La Alberca (Salamanca).*

4.2. *La independencia entre el cerramiento y la estructura es un rasgo determinante de la arquitectura moderna: dibujo de Le Corbusier.*

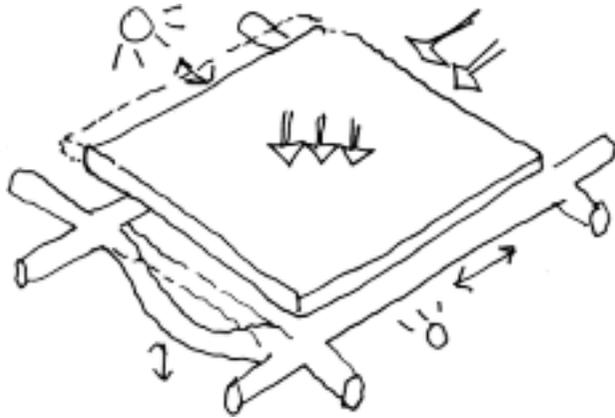


Con la generalización de la construcción ligera y, sobre todo, del vidrio, no sólo el cerramiento, sino el edificio como organismo ha visto alterados drásticamente su organización y su comportamiento. El empleo de cerramientos ligeros y acristalados implica recurrir a unos diseños estructurales y a unos mecanismos de control del ambiente nuevos, diferentes a los aportados por los sistemas masivos con huecos más reducidos. La fachada tiene que tecnificarse necesariamente, recurrir a materiales de nuevas prestaciones, integrar nuevos sistemas de instalaciones y recurrir a sistemas móviles o automatizados. Por otro lado, hablamos del elemento más expuesto del edificio, donde las soluciones deben ser durables y sencillas.

La generación anterior tuvo que experimentar con nuevas técnicas y materiales, y de ella hemos heredado soluciones espléndidas, pero también otras discutibles.

Comportamiento estructural

En primer lugar, hay que considerar los cerramientos como elementos estructurales. Estos elementos están sometidos a acciones mecánicas de diferente tipo: peso propio, acción del viento o la nieve, cargas depositadas por otros elementos, acciones térmicas, etcétera. El diseño debe atender no sólo a la resistencia del elemento, sino sobre todo a su deformación, ya que una deformabilidad excesiva se puede traducir en diferentes problemas funcionales.



4.3. La estructura portante y los elementos de cerramiento están sometidos a deformaciones que han de hacerse compatibles mediante las juntas.

Cuando los cerramientos apoyan sobre una estructura que los sustenta, el problema general es el de su compatibilidad con la propia estructura, pues ambos sistemas se deformarán de manera independiente; estas deformaciones diferenciales pueden derivar de la deformación elástica o de la dilatación térmica, tanto de los cerramientos como de la estructura, y las vinculaciones entre ambos elementos deben permitir que el cerramiento no pierda sus prestaciones. Hay que pensar además que nuestras estructuras evolucionan

hacia una mayor deformabilidad, muy diferente a la de los antiguos sistemas, mientras que algunos materiales de cerramiento, especialmente el vidrio, son relativamente frágiles.

Todo esto lleva a la necesidad de realizar unas juntas flexibles en las que se resuelvan los problemas de compatibilidad y dilatación diferencial, y hoy gran parte de las técnicas de cerramiento evolucionan hacia sistemas de paneles prefabricados con elaborados sistemas de juntas y fijaciones.

Este comportamiento es aún más acusado en el vidrio. Se han desarrollado vidrios más eficientes (laminares y templados), nuevos materiales (sellantes y adhesivos) y sistemas de conformación que mejoran sus prestaciones mecánicas; pero sobre todo son las diferentes técnicas o sistemas de acristalamiento las que permiten resolver elementos de prestaciones cada vez mayores. El cometido de estos sistemas consiste en resolver la colocación del vidrio, su apoyo y sus juntas.

La solución más extendida son las carpinterías clásicas, unos entramados de perfiles de diferentes materiales que soportan los vidrios a través de los apoyos, que además de la resistencia y rigidez deben aportar un apoyo elástico y deformable, así como juntas estancas al agua y al calor. Otro sistema de fijación son los sellados estructurales, en los que la perfilera se adhiere al vidrio, con la ventaja de que el acristalamiento forma una superficie más continua. Por último, las uniones bulonadas logran independizar la fijación, que es puntual y aporta una mayor movilidad del vidrio de la junta, y ésta puede ser un simple sellado perimétrico. Estas fijaciones permiten además el acristalamiento suspendido.

Comportamiento energético

La fachada es un elemento determinante en el comportamiento energético del edificio: a través de ella se intercambia calor con el exterior, se capta la luz solar, se transmiten los sonidos, etcétera.

La transmisión de calor a través de la fachada depende tanto de su forma como de su constitución.

En casi todos los climas resulta imprescindible un buen aislamiento por conducción, lo que requiere adoptar una forma compacta, prestar atención a la orientación, incorporar materiales aislantes y aplicar complejas organizaciones del acristalamiento. La eficacia del aislamiento puede mejorarse controlando su temperatura superficial mediante los diferentes materiales, el color y la ventilación, y las distintas soluciones contemplan desde un gran aislamiento hasta el aumento de la masa o la incorporación de cámaras de aire.

La estanquidad va ganando importancia a medida que mejoramos el aislamiento, y la atención a los detalles del cerramiento es cada vez más importante (diseño de carpinterías, del encuentro con el forjado, etcétera).

Fachadas de vidrio

Hace ahora casi cien años surgió la idea de cerrar los edificios en altura con una fachada de vidrio. Las perspectivas de Ludwig Mies Van der Rohe para su proyecto de rascacielos en la Friedrichstrasse de Berlín datan de 1921 y la Bauhaus se construyó en 1926, pero fue con los edificios de oficinas norteamericanos cuando el acristalamiento completo se convirtió en una solución general, casi en un estándar. En ese momento, el tipo de edificio desarrollado por los arquitectos de la Escuela de Chicago a finales del siglo XIX –que era ya un edificio de oficinas plenamente moderno (con su núcleo de instalaciones y servicios, y su esqueleto reticular) y que estaba ampliamente acristalado con huecos corridos entre los soportes– simplemente cambió de *piel*, y esto sólo fue posible con la incorporación del aire acondicionado. Los primeros edificios de este tipo datan de los años 1950 y son suficientemente conocidos (la sede de la ONU, la Lever House, el Seagram, etcétera); ya se elevan más altos que los de Chicago y son herméticos, acondicionados y completamente envueltos en vidrio.

Actualmente, el funcionamiento de estos edificios resulta muy controvertido, debido a su dependencia técnica y a su mal comportamiento energético, pues sus pérdidas y ganancias térmicas eran verdaderamente considerables (especialmente las segundas) y sólo podían combatirse a base de consumir energía. Este comportamiento se trató de corregir mediante nuevas tecnologías del vidrio, con los primeros acristalamientos absorbentes o reflectantes, pero pronto quedó claro que estas soluciones eran ineficaces: el problema era de diseño.

Estas envolventes de vidrio se cuestionaron también en sus aspectos plásticos o compositivos, pues el muro cortina pronto dio lugar a soluciones muy predeterminadas en las que apenas se podía manipular la composición del enrejado.

Acristalar gran parte de la fachada, concebir la envolvente como una superficie de vidrio, es hoy una solución aceptada, y ya no se discuten las ventajas de una envolvente que aporta luminosidad y visión, pero también se tiene la convicción de que hay que lograrlo con un balance energético positivo.

Después han pasado muchas cosas. La primera es que ha habido un notable desarrollo de la tecnología del vidrio y de los sistemas de acristalamiento, que ha superado muchas de sus limitaciones iniciales. Basta recordar que actualmente el vidrio ha mejorado mu-

cho su resistencia mecánica (vidrios laminados y templados), su aislamiento por conducción (vidrios con cámaras) y su protección solar (vidrios absorbentes y de baja emisividad), además de sus formatos, sus posibilidades de conformación, etcétera. En cuanto a los sistemas de acristalamiento, hoy contamos con sofisticados *mecanos* muy eficientes a efectos de estanqueidad, conservación, etcétera.

Además se han experimentado y generalizado diferentes organizaciones de la fachada acristalada que verdaderamente han cambiado las cosas. Primero, ha aparecido toda una generación de soluciones de protección solar nacidas indudablemente del *brise-soleil* de Le Corbusier, y consistentes básicamente en anteponer al acristalamiento un mecanismo de sombra. Después, se han desarrollado las fachadas de 'dos hojas', actualmente en plena efervescencia, que permiten mayores prestaciones generales en el acondicionamiento del edificio (facilitar la ventilación natural, mejorar el aislamiento termoacústico, otros sistemas de control solar, etcétera). No deja de ser notable que el primer planteamiento similar lo hiciera también Le Corbusier.

El resultado es que hoy se pueden plantear envolventes acristaladas capaces y eficientes para las que contamos con un amplísimo despliegue industrial de productos y soluciones técnicas.

Componentes

El muro cortina clásico es un enrejado de perfiles habitualmente metálicos preparados para ensamblarse entre sí, anclarse a la estructura y recibir las carpinterías, los paneles y el acristalamiento; es un conjunto discontinuo, interrumpido por una serie de juntas de dilatación que le permitan acomodar las deformaciones de origen térmico o mecánico a las que está sometido. Este enrejado se caracteriza por tener unas estrictas condiciones de precisión y tolerancia.

El anclaje es su elemento más característico: un mecanismo que permite transmitir cargas verticales y horizontales al forjado (o a otros elementos estructurales), al tiempo que es graduable para posibilitar una gran precisión en el montaje, salvando las tolerancias dimensionales que implica la transición de la estructura al cerramiento. El bastidor se fija a los anclajes y suele tener un sistema de juntas de bayoneta, por ejemplo, que permita movimientos entre tramos independientes de fachada. El diseño de los perfiles debe atender a su comportamiento mecánico (su trabajo característico es de flexión), a la colocación de las carpinterías o del acristalamiento directo, a la relación con accesorios de todo tipo (protección solar, limpieza) y también a su facilidad de montaje.

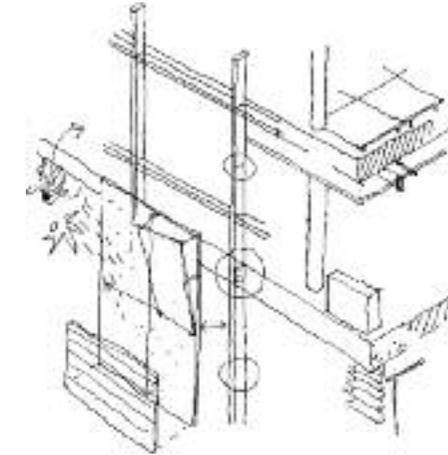
Aunque el material clásico es el aluminio –por las posibilidades que aporta la extrusión para diseñar perfiles elaborados–, estos ce-

ramientos comenzaron siendo de acero, y hoy se pueden encontrar diseños de madera, plástico, etcétera.

Con el tiempo, el muro cortina se planteó nuevos problemas, principalmente el de alojar los nuevos sistemas de instalaciones (frecuentemente asociadas a la fachada o al contacto de los dobles techos y suelos con ella) y el de lograr un eficiente intercambio de energía, integrando en definitiva nuevos elementos: quizá podemos decir que se pasó del 'muro cortina' a la 'fachada acristalada'.

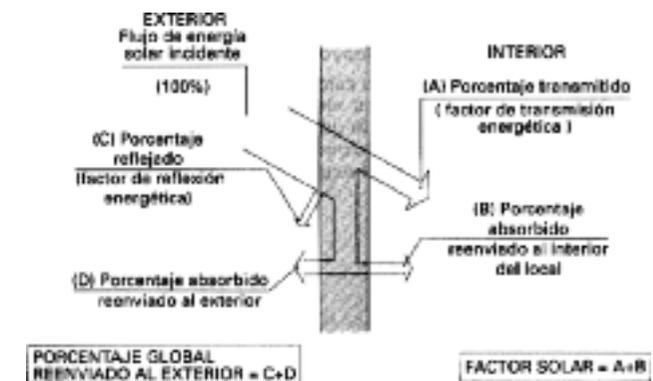
Vamos ahora a enumerar sus condicionantes y a recordar algunos aspectos importantes de su diseño.

5.1. Esquema de las acciones principales y los elementos de una fachada de vidrio.



1. *Acristalamiento*. Las diferentes tecnologías del vidrio se dirigen principalmente a mejorar el control térmico y la resistencia mecánica de las diferentes organizaciones laminares, con el resultado de que hoy un acristalamiento típico puede tener cámara de aire (incluso doble o con gases nobles) y tratamientos de protección solar (tintados, de baja emisión, serigrafías), y puede ser templado o laminado. Se pueden plantear organizaciones laminares bastante complejas, incluso la incorporación en la cámara de aire de otros elementos como mallas, venecianas graduables, etcétera.

5.2. Comportamiento térmico del vidrio ante las radiaciones térmicas de la luz solar.



El esqueleto de acero

La construcción en acero es, en cierto modo, la solución natural al esqueleto en altura, pues sus características mecánicas y sus posibilidades de conformación la hacen óptima para un sistema configurado por piezas lineales en flexión. Además, la construcción metálica ya ha dejado atrás su fase experimental y es quizá la que ofrece soluciones más eficientes, tipificadas e industrializadas: es, sobre todo, la solución de armazón metálico con forjados mixtos la que parece generalizarse en todo tipo de edificios, con independencia de su uso y tamaño.

Las estructuras de acero para los edificios de pisos tienen algunas características generales que resumimos a continuación.

1. Prestaciones del material

El acero es el material clásico asociado a las estructuras de altas prestaciones debido a sus elevadas características mecánicas (alto módulo elástico y resistencias a rotura); pero además, en los últimos años el acero ha superado muchas de las limitaciones que llevaba aparejadas.

En cuanto a la conformación de piezas, actualmente no sólo disponemos de amplios catálogos de secciones laminadas impensables hace poco años, sino que además se van generalizando las piezas fabricadas en taller a base de perfiles y chapas –que amplían notablemente las soluciones posibles– o incluso la fabricación de piezas especiales con sistemas robotizados tipo CNC (*computer numerical control*).

Lo mismo ocurre con la protección contra la oxidación, para la que se ha generalizado la galvanización y los tratamientos aplicados en taller.

Pero quizá lo más llamativo sea el atractivo del acero por sus posibilidades de reciclado del material y reutilización de piezas, de modo que el coste energético de producción es más que competitivo frente a otras soluciones, y el edificio metálico puede concebirse como un producto plenamente recuperable.

2. Libertad, flexibilidad, industrialización

Las estructuras metálicas permiten soluciones de espacios diáfanos con elementos verticales poco intrusivos, y vigas y forjados de luces notables, con pesos inferiores a las soluciones equivalentes en cualquier otro material. Con su amplio catálogo de perfiles lamina-

dos y las posibilidades de fabricación de piezas (vigas armadas, trianguladas, etcétera), el acero permite obtener amplias luces sin pagar un excesivo precio por la escala.

La posibilidad de lograr espacios diáfanos está además muy determinada por la libertad para organizar los sistemas de instalaciones, obviamente cada vez más determinantes en el diseño. El acero parece imbatible a la hora de configurar planos horizontales constituidos por piezas caladas o perforadas que permiten la libre distribución de conductos en el propio plano estructural.

Además, si está bien planteada, toda la construcción puede resolverse como un montaje prefabricado, con todo lo que implica en cuanto a industrialización, control de calidad, precisión, etcétera. Este nivel de garantía es una de las principales prestaciones de la construcción metálica.

Estas posibilidades son especialmente claras en la construcción atornillada, porque permite la prefabricación de piezas y nudos, pero podemos ir más lejos, e incorporar nuevos elementos en taller (anclajes para cerramientos, mecanizaciones para las instalaciones, acabados, etcétera), de modo que la estructura puede concebirse dentro de una organización industrial total.

3. Comportamiento ante el fuego

Aunque la ignifugación del acero está hoy en día plenamente resuelta con diferentes tipos de protecciones, su debilidad con el aumento de la temperatura provoca reticencias hacia la construcción metálica.

La protección al fuego es un aspecto crítico de todos los edificios altos, y compete al propio diseño arquitectónico lograr edificios seguros y de fácil desalojo, con poca carga de fuego, fácil evacuación, etcétera. En la construcción metálica deben considerarse algunas estrategias concretas que minimicen la repercusión de la protección y que son determinantes en el diseño: elementos exteriores menos expuestos, colaboración con otros materiales (estructuras mixtas), influencia del tipo de sección, colaboración del forjado, posibilidad de concentrar los elementos principales en lugares que no requieran protección específica (cerramientos entre recintos independientes, núcleos de servicios), etcétera.

Aunque en general el esqueleto debe revestirse, es posible plantear una estructura vista en algunos casos o en ciertos elementos: por ejemplo, en edificios de baja altura, cuando la estructura esté suficientemente alejada del foco de calor (estructura externa); cuando son aplicables las protecciones intumescentes, con protección por circulación de agua, en algunos elementos mixtos, etcétera.

4. Importancia del forjado

La elección del forjado determina en gran medida las posibilidades del edificio, y deben establecerse claramente sus requerimientos:

luces, comportamiento termoacústico, integración de instalaciones, seguridad al fuego, etcétera.

Dado su carácter ligero, hueco y heterogéneo, la respuesta del forjado metálico no es por masa, y requiere siempre cuidadas organizaciones multicapa: la elección del forjado debe ir ligada al diseño de los demás elementos constituyentes del plano horizontal (techo y suelo, instalaciones, etcétera).

Actualmente se ha generalizado el forjado compuesto de chapa perfilada con luces entre 1 y 3 metros, pero pueden considerarse muchas otras opciones: entramados bidireccionales, redes espaciales y, naturalmente, todos los forjados no metálicos, especialmente los de hormigón prefabricado.

5. Deformabilidad, estabilización

La atención a la deformabilidad es fundamental en el diseño de estructuras metálicas, y muchas veces es el aspecto crítico de su diseño, como consecuencia de la gran esbeltez de las piezas, consecuencia de su elevada resistencia mecánica. Además, el acero tiene un alto coeficiente de dilatación térmica, por lo que los procesos de dilatación y contracción de la estructura tienen que ser meticulosamente considerados, especialmente en los elementos expuestos a la intemperie.

Como consecuencia de ello, debe atenderse cuidadosamente a los problemas de compatibilidad de deformaciones entre la estructura y los demás elementos constructivos, muy especialmente los cerramientos y las divisiones.

La estabilización tiene también una especial importancia en la construcción metálica: mientras que las uniones rígidas son características en el hormigón armado in situ, las técnicas de unión en acero son más amplias, siendo muy frecuentes los nudos articulados que requieren estabilización, de modo que el recurso a elementos de rigidización es habitual en los diseños metálicos.

Las posibilidades son muy amplias, e incluyen la colaboración de otros elementos constructivos (como los cerramientos) a la estabilización; de ello resulta una amplia variedad de diseños estructurales diversos según las condiciones de los nudos y el diseño de los arriostramientos.

6. Técnicas de unión y diseño de nudos

Las técnicas de unión hoy generalizadas son la soldadura, los tornillos ordinarios y de alta resistencia, y las uniones mixtas. Cada técnica ofrece diferentes posibilidades para lograr uniones rígidas o articuladas, para resolver uniones en una o dos direcciones, para permitir diferentes niveles de industrialización, etcétera.

Evidentemente, la soldadura tiene el gran atractivo del monolitismo, y actualmente ya no hay temor alguno a ejecutar uniones rígidas soldadas. La construcción metálica en España fue tradicional-

La estructura de hormigón armado

El esqueleto reticular de vigas y pilares de hormigón armado in situ fue la solución para el edificio de pisos más claramente defendida por los arquitectos modernos, apoyados por entonces en las patentes de François Hennebique. Actualmente, ésta es la solución más extendida en los edificios en altura, especialmente para luces medias, con forjados generalmente de losa de hormigón aligerada. También están bastante generalizados los sistemas de este tipo en colaboración con núcleos y pantallas del mismo material.

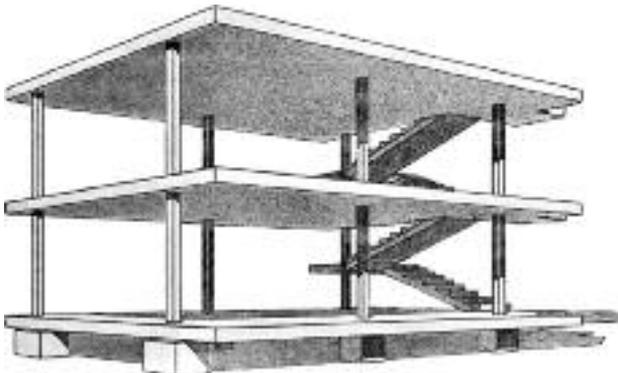
El esqueleto reticular de hormigón armado tiene algunas características que lo han hecho preferible en Europa –y sobre todo en España– a las soluciones equivalentes en acero: su bajo coste, su buen comportamiento frente al fuego, la continuidad y el monolitismo que le son consustanciales, etcétera. A cambio, su inconveniente principal es la dificultad de lograr una buena ejecución, dadas las dificultades asociadas al proceso de construcción in situ.

En los últimos años, la construcción en hormigón armado ha progresado mucho en España: se han generalizado unos sistemas de encofrado y puesta en obra muy racionalizados, así como un avanzado control de calidad (el hormigón es siempre de central, etcétera), de modo que se han superado en gran parte los inconvenientes tradicionalmente asociados a la ejecución in situ y actual-

7.1. Sistema Hennebique de estructuras de hormigón armado.



7.2. Le Corbusier, estructura de las casas Dominó, 1914.



mente el esqueleto reticular de hormigón es un producto estándar y fiable.

Pero este proceso de cambio ha supuesto también la simplificación de las soluciones e incluso la pérdida algunas de las características más sugestivas del material –como lo que Fernando Cassinello llamó ‘adecuorresistencia’ (secciones y armaduras variables y optimizadas) o la posibilidad de dejar el material visto– y el esqueleto, en aras de la ‘racionalización’ y el abaratamiento, apenas consiente ya secciones variables, vigas de canto y todo aquello que implique complejidad de la ejecución y, en particular, del encofrado, sobre todo en obras sin excesivo presupuesto.

En los años 1970, el hormigón armado vivió una edad de oro (fueron los años de los ‘cascarones’, posibles en parte por la abundancia de mano de obra) en la que se experimentó con diferentes tipos estructurales, formas novedosas guiadas por la optimización del material y multitud de técnicas de acabado. Aunque esas construcciones tienen actualmente el carácter casi de ‘joyas de artesanía’ difícilmente generalizables, quizá no lo sean tanto, pues este proceso de cambio que están viviendo el material y sus técnicas parece que está haciendo posibles otra vez soluciones alternativas a la retícula estándar.

Por otra parte y desde sus comienzos, el hormigón armado abrió otros campos bien diferentes al esqueleto reticular de piezas de canto constante para los edificios en altura, y de hecho no está claro que ésta sea la solución más natural: el sistema pilar-viga parece más característico del acero tal como hoy se produce, mientras que al hormigón le son más propias las formas derivadas de su continuidad y aptitud para lograr elementos superficiales. Veremos que muchos edificios interesantes se caracterizan más bien por sus planos horizontales, mientras que las formas de sustentación recurren a pantallas o núcleos rígidos. Su comportamiento puede relacionarse tanto con el esqueleto como con los sistemas de muros o las estructuras laminares.

Otra posibilidad que está cambiando las cosas es la prefabricación de la estructura o de algunos de sus elementos. Aunque hablaremos de ella en el próximo capítulo, hay que adelantar aquí que es frecuente que los elementos prefabricados y los realizados in situ convivan, lo que termina por ampliar los tipos constructivos posibles.

Encofrados y puesta en obra

El éxito de la estructura de hormigón depende en gran parte de la racionalización del proceso de ejecución y, en particular, de su encofrado. Actualmente existen multitud de sistemas de encofrados modulares que incorporan tableros de diferentes materiales, piezas especiales y todos los mecanismos necesarios para su montaje y desmontaje; por otra parte, la aceleración y el control del curado

permite descimbrar en plazos muy inferiores a los 24 días. Son muchos otros los aspectos que han mejorado en los últimos años y que hacen posible un proceso de ejecución seguro y eficaz (reducción del número y la complejidad de las juntas de dilatación, empleo de hormigones compactables que permiten hormigonados continuos, etcétera).

En todo caso, la tendencia general se orienta hacia la simplificación de la geometría de la estructura con objeto de amortizar los moldes, estandarizar las armaduras (cada vez más prefabricadas) y permitir un hormigonado continuo, de modo que se eluden las secciones variables (sección constante en soportes, evitar vigas con resaltos, etcétera) y se simplifican las armaduras a costa de aumentar las cuantías.

No obstante, estas mejoras también han permitido volver a hacer posibles formas estructurales complejas (piénsese en los encofrados textiles o desechables por ejemplo) y parece que en el futuro próximo convivirán las soluciones estándar y económicas con las que exploten la capacidad del material para configurar la forma.

El material

Algunos de los fallos más importantes de las estructuras de hormigón se deben a la falta de ductilidad del material (es decir, su ‘rotura frágil’), por lo que lograr un material capaz de asumir deformaciones plásticas es uno de los principales avances recientes. Esto se ha conseguido básicamente mediante el armado más homogéneo de las secciones, el control de la adherencia y el aumento de las cuantías en los nudos, de modo que la estructura tiene un proceso de fallo en el que la fisuración es gradual y el colapso no es súbito. Así pues, soluciones antes difíciles como los ábacos (capiteles planos) resultan actualmente fiables y habituales.

El problema de la fisuración es crucial en el hormigón armado, especialmente en el hormigón visto. Son muchas las variables que influyen en ello, en particular la dosificación y el curado, pero en todo caso es fundamental plantear adecuadamente las juntas de contracción, de modo que gran parte de las retracciones se produzcan durante la ejecución, sin acumularse, y tengan lugar en lo posible donde resulten comprimidas o bien en los puntos donde los esfuerzos sean menores (puntos de momento o cortante mínimo).

Las juntas de dilatación son también necesarias para evitar deformaciones excesivas. La solución más sencilla es la de duplicar los soportes, pero también pueden interrumpirse las vigas para formar vigas Gerber. Hoy es posible reducir netamente el número de juntas mediante un armado y un diseño adecuados, y realizarlas mediante pasadores metálicos machihembrados (*goujons*), que simplifican enormemente la ejecución.

Por último, hay que destacar el problema de la corrosión de las armaduras por carbonatación, cada vez más importante debido a la

El hormigón prefabricado

La historia del hormigón premoldeado se entremezcla con la del hormigón armado, y las primeras ideas sobre su empleo son muy anteriores a las patentes de François Hennebique: hacia 1860 se fabricaron los primeros bloques de hormigón; de 1875 es la patente de Lascelles para construir viviendas mediante soportes y placas prefabricadas de hormigón; y en los Estados Unidos ya se emplearon y patentaron diferentes elementos prefabricados antes de 1900.

Por otro lado, en Francia, Auguste Perret ya empleaba placas prefabricadas como cerramiento entre sus armazones de vigas y soportes; y el sistema Mopin, usado hacia 1930 (en la Cité de la Muette de Drancy, por ejemplo) era un antecedente de los actuales sistemas prefabricados empleados como encofrados perdidos.

Pero el gran impulso de la técnica se produjo hacia los años 1950, y fue entonces cuando su tecnología comenzó a adoptar las formas que hoy nos resultan familiares. Por un lado, comenzaron a generalizarse elementos prefabricados para paneles, vigas y forjados; y los elementos prefabricados se incorporaron a los sistemas constructivos de la época (los arquitectos del Movimiento Moderno emplearían muchos elementos prefabricados de este modo) que darían lugar a las primeras estructuras completamente prefabricadas.

Por otra parte, este material nació ya con la idea de hacer posible la prefabricación completa del edificio, algo que otros materiales no podían ofrecer. De este modo, la solución del edificio en altura en hormigón prefabricado se planteó desde dos frentes: la prefabricación de la estructura, de modo que ésta fuese compatible con los habituales sistemas de cerramientos y otros elementos constructivos; y la prefabricación del edificio completo, que trataba de resolver en hormigón todos sus elementos e inauguraba una forma de concebir la construcción que fuese una alternativa a la que se imponía en esos años.

Los sistemas de muros fueron los protagonistas de la prefabricación, especialmente en su aplicación a la vivienda de bajo coste en Europa. En este ámbito se trató de prefabricar el edificio completo, de modo que fuese posible hacer una vivienda de bajo coste y rápida ejecución. Son incontables las realizaciones residenciales de este tipo, ya que fue la técnica predominante para la reconstrucción europea tras la II Guerra Mundial. En general se optó por sistemas muy económicos, de luces moderadas, con plantas nada flexibles en las que todas las divisiones resultaban portantes o casi, además

de las fachadas. Aunque esta arquitectura quedó un tanto marcada por su baja calidad a todos los niveles (ya se han demolido gran cantidad de edificios de este tipo), los sistemas siguen vigentes, y naturalmente encontraremos brillantes excepciones.

También se ha buscado la prefabricación del esqueleto reticular, tanto de algunos de sus elementos (los forjados) como del esqueleto completo, y actualmente el mercado ofrece diversas patentes de estructuras de pisos. Pero las posibilidades no se limitan a estas soluciones, y hacia los años 1970 se produjo un tipo de arquitectura de gran interés directamente nacida de la prefabricación. Se trata de grandes realizaciones singulares, muchas de ellas de estructura reticular, pero ajenas a los sistemas de patentes, en las que el nuevo material tiene una presencia abrumadora, pues se buscaba dejarlo visto, resolviendo con la estructura la fachada, dejando los forjados a base de elementos nervados vistos y completando la construcción principalmente con grandes planos de vidrio. Se trata, en definitiva, de la experiencia que más se acercó a una 'nueva vía' basada en el nuevo material.

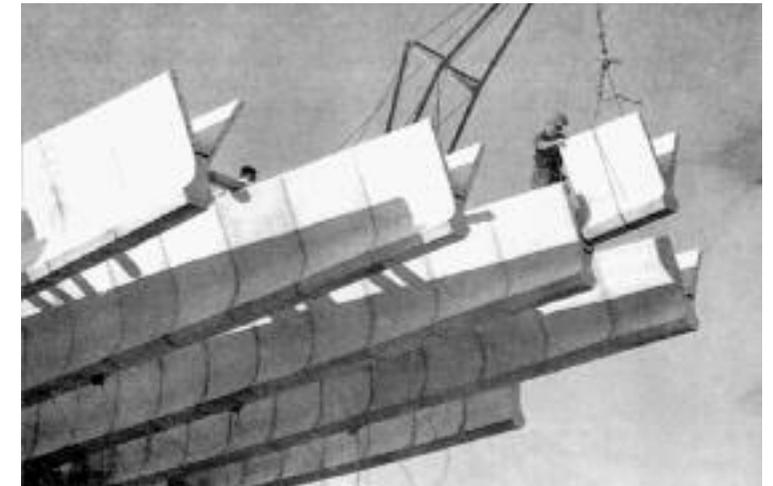
Tras todas estas experiencias, la tendencia actual se orienta más bien a prefabricar sistemas independientes. De un lado, la estructura, tanto la mural –que se adapta bien a casi todas las formas de agrupación residencial– como los sistemas de pilares y vigas. Por otra parte, encontraremos diferentes sistemas de cerramiento, que ya hemos descrito en otro momento. En cierto modo, el hormigón prefabricado se ha incorporado como una más de las alternativas dentro de nuestros sistemas de construcción.

Fabricar los elementos de hormigón armado en taller tiene muchas ventajas, y supera algunos de los aspectos más críticos del hormigón in situ. En particular, es posible realizar elementos de forma compleja (piezas huecas, mínimos espesores de pared, etcétera), emplear materiales de altas prestaciones, controlar el proceso de fabricación, etcétera. Además, la prefabricación se asoció pronto con el pretensado, una técnica que sólo más adelante se podría aplicar con garantías fuera de los talleres industriales.

Pero el hecho determinante de la prefabricación es que el hormigón armado pierde su continuidad y monolitismo característicos, y las estructuras resultan, por tanto, bien diferentes. La solución inmediata a las estructuras prefabricadas es el montaje con sencillas uniones apoyadas, lo que explica su éxito para edificios de baja altura donde la estabilización no es un problema (naves industriales, por ejemplo), mientras que en los edificios en altura la solución más general emplea elementos de estabilización: el esqueleto se asocia con otros elementos (núcleos y pantallas sobre todo), mientras que los sistemas murales recurren a las soluciones de estabilización tradicionales de la construcción mural.

También es posible lograr rigidez en las uniones, tanto en elementos lineales como murales, mediante uniones in situ, elementos

8.1. Algunas realizaciones tempranas en hormigón prefabricado y postensado en España: a la derecha, los 'huesos' de Miguel Fisac; y abajo, la casa Barredo, de Fernando Cassinello.



metálicos, uniones postensadas, etcétera. Veremos que estas uniones son actualmente bastante habituales en los sistemas de esqueleto, y no tanto en los murales.

En lo relativo a los cerramientos, encontramos un amplio desarrollo de los sistemas de paneles, en los que se trata de incorporar en una sola pieza todos los elementos y accesorios de la fachada. De hecho, la idea de un panel compacto ha tenido mucho más éxito en el campo del hormigón que en del acero. En este desarrollo es interesante la incorporación de nuevos materiales, en particular el hormigón ligero y el armado con fibra de vidrio (*glass reinforced concrete* o GRC).

Rascacielos

A medida que un edificio crece, el peso estructural aumenta de acuerdo a la Ley de Semejanza, razón por la que lo grande tiende a ser algo torpe y poco airoso. Pero el aumento en altura y en esbeltez es aún más desfavorable desde el punto de vista mecánico, consecuencia del predominio de los esfuerzos horizontales y de la presencia de nuevos problemas, como la importancia de los esfuerzos dinámicos o la inestabilidad elástica. Por todo esto, con el crecimiento en altura lo estructural gana necesariamente en relevancia.

Otros problemas se manifiestan con nueva magnitud a consecuencia de la altura, como la protección contra el fuego o la importancia del transporte vertical, asuntos que serán ahora determinantes para la forma. También los sistemas de acondicionamiento se manifiestan con inusitada importancia, consecuencia de la necesidad de hermetismo que implica vivir tan arriba.

Pero a pesar de tantos inconvenientes, las torres han existido siempre y la gran altura parece una ocasión única para experimentar nuevas posibilidades de organización espacial.

El rascacielos es generalmente un edificio especulativo en el que el rendimiento de la planta suele primar en el diseño. Por esto su evolución va necesariamente ligada a la diafanidad de la planta y a la optimización del espacio ocupado por las instalaciones y el transporte vertical.

La planta de núcleo central es casi siempre la solución al problema, y pocos edificios escapan a su tiranía. La limitación más clara de la profundidad de la crujía está dictada por la iluminación natural, ya que a más del doble de la altura de planta necesitamos luz artificial, y en algunos países (como Alemania) la profundidad no puede superar los 8 metros. Sin embargo, la carrera por la altura siempre ha superado estas dimensiones; y en los años en que tomó forma el 'rascacielos de cristal' el fondo edificado creció progresivamente hasta los 23 metros de la torre Sears, en Chicago. En la actual generación de rascacielos construidos en Oriente también se ha recurrido a grandes anchuras (los 13 metros de las torres Petronas en Kuala Lumpur, y de la Taipéi 101 en la capital de Taiwán; y los 17 metros del Banco de China en Hong Kong). Hay que recordar que conforme crece la altura disminuye la eficacia del espacio (la relación entre la superficie útil y la construida), como consecuencia de la mayor ocupación en planta de la estructura y de los conductos de instalaciones y ascensores.

La evolución de los usos (desde el edificio de oficinas o de viviendas hacia el rascacielos de usos mixtos), así como las posibilidades y los requerimientos que esta complejidad implica son inseparables del problema tecnológico.

Sistemas estructurales

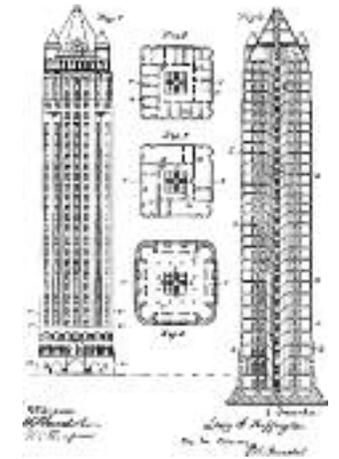
La primera idea para construir grandes edificios consistió en crecer en tamaño pero sin forzar la esbeltez, es decir, con una base lo más amplia posible. Parece que a esto se refería Le Corbusier al decir que los rascacielos norteamericanos le parecían demasiado pequeños; y conviene recordar que la Unidad de Vivienda de Marsella es un rascacielos o casi (tiene 20 plantas, pero con una esbeltez muy baja: inferior a 3). No obstante, el fondo edificado está limitado por el aprovechamiento de la luz que entra por las fachadas, y el fondo de crujía no puede superar cierto tamaño. Una solución son las formas compuestas (desde las 'patas de gallo' de Le Corbusier a algunas formas complejas propuestas actualmente).

En los edificios en los que no predominan los esfuerzos horizontales, la repercusión de la estructura metálica puede oscilar entre los 40 y los 70 Kg/m² de forjado, mientras que los rascacielos de estructura reticular de los años 1930 alcanzaron los 200 Kg/m² con alturas moderadas. Fue entonces cuando se comprendió que los ti-



9.1. Burnham & Root, edificio Monadnock, Chicago, 1891: vista general y plantas baja y tipo (véase también la lámina XIX).

9.2. L.S. Buffington, patente para un rascacielos, 1880: en los primeros años resulta evidente la importancia de los elementos murales en los rascacielos.



pos estructurales de los rascacielos debían ser necesariamente diferentes a los de los edificios de menor altura; y la siguiente generación de rascacielos tendría repercusiones inferiores a pesar de su mayor altura (200 Kg/m² en el World Trade Center de Nueva York, y 150 Kg/m² en el centro John Hancock de Chicago).

Las primeras estructuras en altura fueron los entramados de hierro con uniones roblonadas creados en Chicago por William Le Baron Jenney; la sorprendente excepción fue el edificio Monadnock, de 17 plantas y 60 metros de altura, y con unos muros de carga que alcanzan los 2 metros de espesor en el arranque (figura 9.1). Ese sistema de esqueleto ofrecía ya diferentes soluciones a la rigidez ante los esfuerzos horizontales: el propio 'efecto pórtico', creado mediante los nudos rígidos; el relleno de fábrica de los pórticos (de modo que se formaban grandes pantallas compuestas); y la formación de planos triangulados mediante tirantes metálicos o vigas de celosía. Asimismo, empezaron a desarrollarse las primeras soluciones de cimentación mediante una losa formada con emparrillados de vigas, en vez de las masas de fábrica habituales por entonces. Además, en aquellos años, el acero sustituyó definitivamente al hierro, mientras que los recubrimientos cerámicos ofrecieron una solución a la protección contra el fuego y al revestimiento en general.

Estos mismos sistemas constructivos y estructurales hicieron posibles los rascacielos del periodo de entreguerras: aquellos edificios de estilos historicistas que se acercaron a los 400 metros de altura. Esos edificios se organizan ya en torno a potentes núcleos centrales, a la vez que la envolvente se hace más opaca (no encontramos ya la 'ventana de Chicago') y se buscan formas ahusadas de sección decreciente: decisiones, todas ellas, dirigidas a aumentar la rigidez ante los esfuerzos horizontales.

Fue la irrupción de la fachada de vidrio, con la consiguiente desaparición de los cerramientos de fábrica, lo que impulsó la renovación de los sistemas estructurales y condujo a la independencia en-

Conclusión

Decía en la introducción que este libro se centra en el análisis de los diferentes sistemas que componen los 'edificios en altura' (estructura, cerramiento e instalaciones) y que tal división es, en cierto modo, inevitable para conocer la construcción de tales edificios y poder describirlos. Pero luego estas divisiones se desvanecen un poco y lo que queda son, espléndidos, los edificios, con su tremenda presencia e integridad.

Los arquitectos de comienzos del siglo xx tuvieron que inventar los tipos arquitectónicos de su tiempo un poco desde cero, porque los nuevos cambios en su escala, en su entorno y en su tecnología hacían casi imposible la continuidad con el pasado. El edificio en altura desafiaba más que ningún otro a la historia, pues su principal característica, su altura, no tenía antecedentes directos, e incluso los sistemas de composición más generalizados resultaban difícilmente aplicables. Pero al mismo tiempo, la tradición mantenía necesariamente su influencia, y el acuerdo entre las nuevas invenciones y la arquitectura heredada, entre 'la constancia y el cambio', fue finalmente el tema central en el desarrollo de los edificios de pisos, que fueron encontrando soluciones rigurosas y repetibles, al tiempo que adoptaban un nuevo lenguaje que lograba el acuerdo entre las nuevas soluciones y la arquitectura del pasado.

Hoy trabajamos necesariamente en continuidad con la experiencia descrita en este libro, y la evolución de los tipos en altura aparece como un discurso que aún se prolongará. Muchos de los temas decididos por el Movimiento Moderno siguen vigentes, consecuencia de la racionalidad con que fueron planteados en el inicio, y nuestras soluciones partirán necesariamente de aquellos logros.

La determinación de la forma por sus condiciones puramente físicas (ambientales, funcionales y estructurales) destaca como uno de los valores más sólidos del edificio de pisos y es responsable de la constante reaparición de las mismas organizaciones, incluso de los estándares en sus dimensiones, tanto en oficinas como en viviendas. Si pensamos en los edificios de oficinas (el uso más representado en el libro), no dejará de sorprendernos la continuidad de las soluciones, consecuencia de la lógica del espacio de trabajo y de las condiciones que establecen la circulación o la iluminación. Las organizaciones lineales y centralizadas se mantienen hasta hoy con las variantes y alternativas ya descritas en la disposición de la estructura, organización de la fachada, etcétera.

Pero también encontramos importantes novedades y hemos visto, por ejemplo, cómo se ha consolidado el tipo de atrio interior para los espacios de trabajo, un tipo iniciado en el siglo XIX y recuperado tras unos años en los que imperó indiscutible la superposición de planos sin apenas atributos. El atrio ha abierto la puerta a un tipo más interesante y complejo de edificio, que parece tener un amplio camino por delante.

También en las viviendas la continuidad es igualmente evidente, y aquí las novedades tienen menor presencia, consecuencia de la menor atención que se ha prestado al tema. Ahora es la crítica a la 'vivienda de masas' del siglo XX la que centra la atención en los aspectos ambientales, una mayor atención a los espacios comunes y exteriores, y sobre todo una escala de intervención más prudente.

Es igualmente notable la persistencia del lenguaje arquitectónico nacido con la arquitectura moderna, tan racional como fundado en la realidad constructiva del objeto, lo que implica aceptar la regularidad y la repetición como algo implícito en la superposición de pisos. Este lenguaje ha alcanzado una notable coherencia y recuerda finalmente en su integridad al que los arquitectos llegaron a dominar al final del siglo XIX, y gracias al cual fue posible una ciudad armoniosa y ordenada.

Es verdad que durante muchos años tanto las oficinas como las viviendas repitieron planteamientos rutinarios que ahogaron las propuestas del Movimiento Moderno, pero hoy nuestra plástica se ha enriquecido, consecuencia sobre todo de las nuevas soluciones técnicas y de las innovaciones tipológicas ya comentadas.

Puede resultar extraña esta defensa del edificio de pisos y su evolución en unos años de afanosa búsqueda de soluciones alternativas, pero reconozco que en este conjunto de edificios en altura hay algunos ejemplares espléndidos que señalan claras direcciones de trabajo.

Y en todo caso, algunos de los problemas que tratamos de resolver con el diseño de edificios en altura no están en el propio edificio, sino en la ciudad que han colaborado a crear. Los primeros ejemplares en altura de una escala significativa nacieron como parte de las nuevas ideas urbanísticas del Estilo Internacional, y se entendían como volúmenes emergentes en una trama de baja ocupación del suelo, liberados de las alineaciones y limitaciones a su altura: unos 'superbloques' determinados por la creciente presencia del automóvil. Bloques lineales y torres tomaron muy pronto en Europa y América el aspecto que hoy se ha generalizado en nuestras ciudades, pues los mismos criterios guiaron la incorporación del edificio en altura a la ciudad heredada, y esta visión del paisaje urbano es su principal limitación, el origen de sus males y, sobre todo, de ese carácter un poco *tedioso* inseparable de la arquitectura moderna, cuya última y tremenda imagen es la vista aérea de cualquier megalópolis oriental, plagada de bloques abiertos.

Admiramos la limpieza, coherencia y rotundidad de muchos de aquellos edificios, pero no cabe duda de que son también claros exponentes de la ciudad que hemos llegado a aborrecer.

La evolución futura del edificio de pisos no puede desligarse de nuestra idea de la ciudad del siglo XXI, y sólo imaginando que nuestros edificios se entrelazan y conviven en un sistema ordenado de calles y plazas –con una volumetría planeada acorde al peatón– en vez de concebirllos como objetos ajenos a la ciudad y a todo acuerdo, podemos reconsiderar el edificio de pisos.

En realidad, éste es también el problema más importante del rascacielos, que necesariamente asociamos en su origen a su singularidad, a lo monumental, a un emplazamiento característico: del *campanile* de Venecia a la ONU de Nueva York. Pero el rascacielos se ha generalizado en los centros de negocios o debido a su aparición indiscriminada en cualquier punto de la ciudad.

Los diferentes tipos de edificios tienen un orden de tamaño (acorde a su configuración y a las condiciones ambientales, funcionales, etcétera) en el que son más eficientes. La planta del rascacielos tiene un tamaño que no podemos superar y su aumento en altura es ineficaz en todos los sentidos. Si se mantienen entre ellos las distancias dictadas por el ciclo solar, lo que aportan es menor ocupación, pero no permiten aumentar la densidad de construcción: hoy el rascacielos es casi siempre fruto de la especulación, o de una inoportuna voluntad de significarse, y el resultado más clamoroso vuelven a ser las tremendas megalópolis emergentes.

Bajo la óptica de una sociedad preocupada por el control de la energía, ni la generalización de los rascacielos ni la altura *record* parecen planteamientos adecuados, y nuestro interés se focalizará necesariamente hacia la búsqueda de soluciones eficaces y complejas, entendidas siempre en el entorno de una ciudad mejor.

Bibliografía

Se incluyen aquí solamente las referencias de carácter general sobre los diferentes temas tratados en el libro; para ampliar la documentación relativa a los edificios descritos se puede consultar la procedencia de las ilustraciones.



- ALI, Mir M. *Art of the skyscraper: the genius of Fazlur Khan*. Nueva York: Rizzoli, 2001.
- ARAUJO, Ramón. "El edificio como intercambiador de energía". *Tectónica*, n° 28, marzo 2009, páginas 4-27.
- *Construir con acero: arquitectura en España, 1993-2007* Madrid: APTA, 2009.
- "Hormigón prefabricado y construcción en altura". *Tectónica*, n° 5, mayo 1997, páginas 4-21.
- *La arquitectura como técnica (1): superficies*. Madrid: ATC Ediciones, 2007.
- ARAUJO, Ramón; FERRÉS, Xavier. "Muro cortina". *Tectónica*, n° 16, marzo 2004, páginas 4-37.
- ARAUJO, Ramón; SECO, Enrique. *Construir con acero: arquitectura en España*. Madrid: Ensidesa, 1994.
- ARGÜELLES ÁLVAREZ, Ramón. *La estructura metálica hoy*. Madrid: Bellisco, 1970.
- AZPILICUETA, Enrique. "Hacia un óptimo energético: instalaciones y energía". *Tectónica*, n° 31, febrero 2010, páginas 6-33.
- BANHAM, Reyner. *The architecture of well-tempered environment*. Londres: The Architectural Press / Chicago: University of Chicago Press, 1969. Versión española: *La arquitectura del entorno bien climatizado*; Buenos Aires: Infinito, 1975.
- BOESIGER, Willy; STONOROV, O. (edición). *Le Corbusier: oeuvre complète*. Zúrich: Girsberger, 1929 y siguientes; 8 volúmenes.
- BOUWCENTRUM Rotterdam. *Modern steel construction in Europe*. Amsterdam: Elsevier, 1963.
- BUTTON, David; PYE, Brian. *Glass in building: a guide to modern architectural glass performance*. Oxford: Pilkington / Butterworth Architecture, 1993.
- COUNCIL on Tall Buildings, Lynn S. Beedle (edición). *Advances in tall buildings*. Nueva York: Van Nostrand Reinhold, 1986.
- DANZ, Ernst. *Architecture of Skidmore, Owings & Merrill, 1950-1962*. Nueva York: Praeger, 1963. Versión española: *La arquitectura de Skidmore, Owings & Merrill, 1950-1973*. Barcelona: Gustavo Gili, 1975.
- DIAMANT, R.M.E. *Industrialised building 3: 70 international methods, third series*. Londres: Iliffe Books, 1968.
- EHRENKRANTZ, Ezra D. *Architectural systems: a needs, resources, and design approach*. Nueva York: McGraw-Hill, 1989.
- FENGLER, Max. *Skelettbauten mit Fassadenelementen*. Stuttgart: Koch, 1962. Versión española: *Estructuras resistentes y elementos de fachada*. Barcelona: Gustavo Gili, 1968.

FISCHER, Robert E. *Engineering for architecture*. Nueva York: McGraw-Hill, 1980.

FORD, Edward R. *The details of modern architecture*. Cambridge (Massachusetts) y Londres: The MIT Press, 1990.

— *The details of modern architecture: volume 2, 1928-1988*. Cambridge (Massachusetts) y Londres: The MIT Press, 1996.

GAUZIN-MÜLLER, Dominique, *L'architecture écologique: 29 exemples européens, enjeux et perspectives, urbanisme et développement durable, architecture et qualité environnementale*. París: Éditions du Moniteur, 2001. Versión española: *Arquitectura ecológica: 29 ejemplos europeos*. Barcelona: Gustavo Gili, 2002.

HART, Franz; HENN, Walter; SONTAG, Hansjürgen. *Stahlbauatlas: Geschossbauten*. Múnich: Verlag Architektur und Baudetail, 1974. Versión española: *Atlas de la construcción metálica*. Barcelona: Gustavo Gili, 1976.

ILGIN H. Emre, GÜNEL, M. Halis. "The role of aerodynamic modifications in the form of tall buildings against wind excitation". *Journal of the Faculty of Architecture*, Middle East Technical University, Ankara, 2007/2 (24:2) 17-25; http://jfa.arch.metu.edu.tr/archive/0258-5316/2007/cilt24/sayi_2/17-25.pdf.

JURADO, José. "Citius, altius, fortius: una visión actualizada sobre el uso del hormigón en la edificación". *Tectónica*, n° 25, diciembre 2007, páginas 4-25.

KONCZ, Tihamér, *Handbuch der Fertigteil-Bauweise mit grossformatigen Stahl- und Spannbetonelementen: Konstruktion, Berechnung und Bauausführung im Hoch- und Industriebau*. Wiesbaden; Berlín: Bauverlag, 1962. Versión española: *Manual de la construcción prefabricada: con elementos de hormigón armado y pretensado, construcción, cálculo y ejecución*; Madrid: Blume, 1968.

LAMBOT, Ian (edición). *Norman Foster: buildings and projects*. Watermark Publications, 1989-1996, 4 volúmenes.

LECHNER, Norbert. *Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects*. Hoboken (Nueva Jersey): Wiley, 2001.

LEWICKI, Bohdan. *Hochbauten aus grossformatigen Fertigteilen mit Ausnahme von Industriebauten: Berechnung und Konstruktion*. Viena: Deuticke, 1967. Versión española: *Edificios de viviendas prefabricadas con elementos de grandes dimensiones*; Madrid: Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, 1968.

MORRIS, A.E.J. *Precast concrete in architecture*. Londres: Godwin, 1978. Versión española: *El hormigón premoldeado en la arquitectura*; Barcelona: Gustavo Gili, 1981.

MARTORANO NAVAS, Luis Daniel. *Sistemas de rigidización de edificios de altura frente a acciones de viento y sismo*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1977.

MICHAELS, Leonard. *Contemporary structure in architecture*. Nueva York: Reinhold, 1950.



MIGUEL, José Luis de. *Estructuras II*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, 2000.

PARICIO, Ignacio. "El hueco en la fachada". *Tectónica*, n° 4, 1995, 4-21.

RICE, Peter. *An engineer imagines*. Artemis: Londres, 1994. Versión española: *Un ingeniero imagina*; Madrid: Cinter, 2009.

SÁENZ [de] OÍZA, Francisco Javier. "El vidrio y la arquitectura". *Arquitectura*, n° 129, septiembre-octubre, 1952, páginas 11-67.

SCHITTICH, Christian; y otros. *Glass construction manual*. Basilea: Birkhäuser 1999.

SELBE, L.R.; STOCKBRIDGE, G. 'Building facades'. En WHITE y SALMON, *Building structural design handbook* (véase).

SMITH, Peter F. *Architecture in a climate of change: a guide to sustainable design*. Londres: Elsevier, 2005.

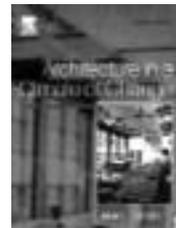
SCHWEIZERISCHE Zentralstelle für Stahlbau. *Bauen in Stahl · Construire en acier · Costruire in acciaio*. Zúrich: Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau, 1968-2003.

SULZER, Peter. *Jean Prouvé: oeuvre complète*. Basilea: Birkhäuser. 1999-2008, 4 volúmenes.

THOMAS, Randall. *Environmental design: an introduction for architects and engineers*. Londres: E & FN Spon, 1996.

WHITE, Richard N.; SALMON, Charles G. (edición). *Building structural design handbook*. Nueva York: Wiley, 1987.

WIGGINTON, Michael. *Glass in architecture*. Londres: Phaidon, 1996.



Procedencia de las ilustraciones

Cubierta

Cortesía de Ian Lambot, publicada en *Norman Foster: buildings and projects* (Hong Kong: Watermark Publications, 1989), volumen 3, página 184.

Frontispicio

Cortesía de Jorge Sainz

Láminas

- I. Foto del autor.
- II. Maurice Besset, *Le Corbusier* (Ginebra: Skira, 1987), página 100.
- III. Foto de 'Mikerussell' publicada en Wikimedia Commons.
- IV. Elaboración editorial a partir de un original de dominio público creado por 'Charvex' y publicado en Wikimedia Commons.
- V. Gustau Coderch y Carles Fochs (edición), *La Barceloneta* (Barcelona: Colegio de Arquitectos de Cataluña. 1999), página 11.
- VI. Cortesía de Jorge Sainz.
- VII. Foto de Joerg Hempel publicada en www.frener-reifer.com/resources/Press/2006-The-Plan-17-Berliner-Bogen.pdf.
- VIII. Foto del autor.
- IX. Foto del autor.
- X. Foto de dominio público publicada en nyc-architecture.com.
- XI. William Curtis, *La arquitectura moderna desde 1900* (Londres: Phaidon, 2006), página 408.
- XII. Elaboración editorial a partir de un original creado por 'Ciukes' y publicado en Wikimedia Commons.
- XIII. Elaboración editorial a partir de un original de dominio público publicado en www.nrw-architekturdatenbank.uni-dortmund.de.
- XIV. Maurice Besset, *Le Corbusier* (Ginebra: Skira, 1987), página 157.
- XV. Peter Gössel y Gabriele Leuthäuser, *Arquitectura del siglo xx* (Colonia: Taschen, 1991), página 326.
- XVI. *AV Monografías* 54, 'Frank Lloyd Wright', página 99.
- XVII. inhabitat.com/habitat-67-montreals-prefab-pixel-city.
- XVIII. 4rq.blogspot.com/2011/01/poeta-de-la-arquitectura-louis-kahn.html.
- XIX. Elaboración editorial a partir de una foto original de David K. Staub publicada en Wikimedia Commons.
- XX. Francesco dal Co, *Kevin Roche* (Milán: Rizzoli, 1985), página 11.
- XXI. Maria Antonietta Crippa, *Il restauro del grattacielo Pirelli* (Milán: Skira, 2006), página 59.
- XXII. Cortesía de Jorge Sainz.
- XXIII. Colin Davies y Ian Lambot, *Commerzbank Frankfurt: prototype for an ecological high-rise* (Boston: Birkhauser Verlag, 1997).
- XXIV. Foto del autor.

Salvo indicación en contra, los dibujos son del autor.

Se han hecho todos los esfuerzos posibles por identificar el origen de las ilustraciones, para cuya utilización se ha seguido el criterio del artículo 32 de la Ley de Propiedad Intelectual, sobre 'cita e ilustración en la enseñanza'.

- xxv. Izquierda: foto publicada en nuitsblanchesaintpetersbourg.blogspot.com. Derecha: www.vigoenfotos.com/china/shanghai_torre_jin_mao_tower_1.html, © Javier Albertos.
- xxvi. Elaboración editorial a partir de un original de 'Deniss' publicado en Wikimedia Commons.
- xxvii. Foto de 'KeDaO' publicada en Wikimedia Commons.

Capítulo I

- 1.2. Manfred Wundram, Thomas Pape y Paolo Marton (fotos), *Andrea Palladio* (Colonia: Benedikt Taschen, 1990), página 178.
- 1.4. Massimo Majowiecki, *Tensostrutture: progetto e verifica* (Milán: Acciaio, 1985), página 10.
- 1.13. Le Corbusier, *Oeuvre complète*, volumen 3, 1934-1938 (Zúrich: Les éditions d'architecture, 1974), página 148.
- 1.20. Heinrich Klotz, *Vision der Moderne: das Prinzip Konstruktion* (Múnich: Prestel, 1986), página 197.
- 1.28. Richard Bender, *Una visión de la construcción industrializada* (Barcelona: Gustavo Gili, 1976), página 80.
- 1.29. Sistemas TDM.
- 1.30. Ramón Araujo, *Construir con acero* (Madrid: APTA, 2009), página 146.
- 1.31. Izquierda: www.ecoinnova.com/calefaccion-solar. Derecha: www.geothermal-energy.org/317spanish_translation.html.

Capítulo II

- 2.1. Arnold Pacey, *El laberinto del ingenio* (Barcelona: Gustavo Gili, 1980), página 218.
- 2.2. jvillavisencio.blogspot.com/2010/10/escola-de-chicago-entre-otro-lado-formal-e.html.
- 2.3. Catálogo, *Antonio Palacios, constructor de Madrid* (Madrid: La Librería, 2001), página 73.
- 2.4. Antonio Gaudí. *La Pedrera* (Barcelona: Fundació Caixa Catalunya, 1998), páginas 94 y 123.
- 2.5. E. Vila Rodríguez, "El uso del hierro en la casa Milá", *Informes de la Construcción*, n° 408, agosto 1990. Antonio Gaudí, *La Pedrera* (Barcelona: Fundació Caixa Catalunya, 1998), página 87.
- 2.6. *Le Corbusier, oeuvre complète, vol. 2 1929-1934* (Zúrich: Les Éditions d'Architecture, 1974), página 88.
- 2.8. Dibujo: *Le Corbusier, oeuvre complète, vol. 2 1929-1934* (Zúrich: Les Éditions d'Architecture, 1974), página 89.
- 2.9. Le Corbusier, *Oeuvre complète, 1910-65* (Zúrich: Verlag für Architektur / Artemis, 1967), página 136.
- 2.10. Foto: Peter Gössel y Gabriele Leuthäuser, *Architektur des 20. Jahrhunderts* (Colonia: Taschen, 1991), página 185. Dibujo: revista *2C Construcción de la Ciudad*, abril 1985, página 74.
- 2.11. Max Fengler, *Estructuras resistentes y elementos de fachada* (Barcelona: Gustavo Gili, 1978), página 88.
- 2.12. Foto: Max Fengler, *Estructuras resistentes y elementos de fachada* (Barcelona: Gustavo Gili, 1978), página 91. Dibujo: Reyner Banham, *La arquitectura del entorno bien climatizado* (Buenos Aires: Infinito, 1975), página 207.
- 2.13. Dibujos: *Architecture of Skidmore, Owings and Merrill, 1950-1973* (Londres: Architectural Press, 1974), páginas 45 y 46. Foto: Ernst Danz, *La*

- arquitectura de Skidmore, Owings & Merrill, 1950-1973* (Barcelona, Gustavo Gili, 1975), página 42.
- 2.14. William Saunders, *Modern architecture: photographs by Ezra Stoller* (Nueva York: Harry N. Abrams, 1990), página 89.
- 2.15. Ernst Danz, *La arquitectura de Skidmore, Owings & Merrill, 1950-1973* (Barcelona, Gustavo Gili, 1975), páginas 53 y 54.
- 2.16-17. *Architecture of Skidmore, Owings and Merrill, 1950-1973* (Londres: Architectural Press, 1974), páginas 76, 159 y 160.
- 2.18. Planta: elaboración editorial a partir de un original cortesía de Lilia Maure. Ventana: revista *Quaderns*, n° 150, página 79.
- 2.19-20. Gustau Coderch y Carles Fochs (edición), *La Barceloneta* (Barcelona: Colegio de Arquitectos de Cataluña, 1999), página 55, 56, 11 y 39.
- 2.21. Foto del autor.
- 2.22. Javier Climent Ortiz (edición), *Francisco Cabrero, arquitecto 1939-1978* (Madrid, Xarait, 1979).
- 2.23-24. Revista *Arquitectura* (COAM), n° 240, enero-febrero 1983, páginas 46, 45 y 48.
- 2.25-26. *The Architectural Review*, n° 1179, mayo 1995, páginas 37, 44, 34 y 36.
- 2.28. Bruno Zevi, *Frank Lloyd Wright* (Barcelona: Gustavo Gili, 1985), páginas 141 y 241.
- 2.29. Dibujo: revista *Arquitectura* (COAM), n° 120, diciembre 1968. Foto: cortesía de Jorge Sainz.
- 2.30. www.luisbozzo.com.
- 2.31. *Your private sky: R. Buckminster Fuller, the art of design science* (Baden: Lars Müller, 1999), página 145.
- 2.32. Franz Hart, Walter Henn y Hansjürgen Sontag, *Atlas de la construcción metálica* (Barcelona: Gustavo Gili, 1976), página 84.
- 2.33. *Lamela: urbanística y arquitectura* (Madrid: Xarait, 1992), página 103.
- 2.34. Francesco dal Co, *Kevin Roche* (Milán: Rizzoli, 1985), página 109.
- 2.35. Christian Schittich y otros, *Glass construction manual* (Basilea: Birkhäuser 1999), páginas 274 y 275.
- 2.36. www.frener-reifer.com/resources/Press/2006-The-Plan-17-Berliner-Bogen.pdf.
- 2.37. *The Architectural Review*, n° 1247, enero 2000, páginas 46 y 48.

Capítulo III

- 3.8. Catálogo *Las bóvedas de Guastavino en América* (Madrid: Instituto Juan de Herrera, 1999), láminas 5 y 3 (abajo).
- 3.11. Revista *Tectónica*, n° 3, 'Hormigón 1', página 39.
- 3.14. Franz Hart, Walter Henn y Hansjürgen Sontag, *Atlas de la construcción metálica* (Barcelona: Gustavo Gili, 1976), página 259.
- 3.16. *Bauen in Stahl · Construire en acier · Costruire in acciaio* (Zúrich: Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau, 1962), página 247.
- 3.18. Catálogo comercial Robertson.
- 3.20. José Calavera Ruiz, *Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón armado para edificios* (Madrid: Intemac, 1984-1985), página 526.
- 3.21. Foto del autor.
- 3.22. Florentino Regalado Tesoro, *Los forjados reticulares: manual práctico* (Alicante: CYPE, 1991), página 156.
- 3.24-25. Catálogo VSL.
- 3.26. Catálogo Atefor.

Índice alfabético

- Aalto, Alvar: 55
Adler & Sullivan: 272; figura: 9.9
Aerts, René: 281
AGF, edificio: 73
Albert, Edouard: 189; figura: 6.25
Alcoa, edificio: 135, 288-290; figuras: 4.36, 9.26-27
Alcobendas, viviendas: 246; figura: 8.10
Alcoy, puente: 242; figura: 8.2
Alfeld an der Leine: 153; figura: 5.16
Alpedrete, viviendas: 176; figura: 6.5
American Can Company, sede: 63, 160, 255; figuras: 5.26, 8.26
American Republic, sede: 254, 255; figura: 8.25
Andrault, Michel: 73
Argel: 55
Armstrong Cork, sede: 63
Arriba, edificio: 116, 181
Arup Associates: 252, 256, 260; figura: 8.21
Atefor, sistema: 95; figura: 3.26
Atlas, edificio: 258; figura: 8.30
AUSA: 85; figura: 3.10
Australia Square, Sidney: 98, 278; figuras: 3.32, 9.15-16
- Bach, viviendas: 65, 161; figura: 5.27
Bahía, centro administrativo: 258; figura: 8.31
Bakema & Van der Broek: 72
Balency, sistema: 245; figura: 8.8
Banco de Bilbao, sede: 23, 161, 293-297; lámina XXI; figuras: 9.32-34
Banco de China, sede: 265
Banco de Hong Kong y Shanghai (HSBC): 76, 161, 199, 272, 293, 297-301, 304; figuras: 9.35-39
Banco Español del Río de la Plata: 52; figura: 2.3
Banham, Reyner: 104, 273
Banque Lambert, sede: 63, 256; figura: 8.29
Baranzate: 99
Barcelona: 17, 18, 44, 53, 57, 65, 115, 125, 161, 178, 181, 199, 211, 280; láminas I y V; figuras: 1.30, 2.4, 2.19, 4.7, 4.24, 4.25, 4.33, 5.27, 6.10, 6.39, 7.4
Barceloneta, viviendas: 18, 65; lámina V; figuras: 2.19-20
Barredo, casa: 241; figura: 8.1
Bastion Kellerman: 31; figura: 1.13
Bauhaus: 55, 141, 153
Becket, Welton: 262; figura: 8.35
Bega, Melchiorre: 157; figura: 5.20
Benidorm, ayuntamiento: 199
Bergpolder, edificio: 57, 178; figura: 2.10
- Berlín: 19, 63, 114, 141, 159, 199; lámina VIII; figuras: 4.6, 4.19, 5.23, 5.25, 6.38
Berliner Bogen, edificio: 19, 77; lámina VII; figura: 2.36
Birmingham, laboratorios universitarios: 252; figura: 8.21
Bison, sistema: 247
Bloomfield (Connecticut): 104; figura: 3.41
BMA, torre: 18, 63, 276; lámina IV; figuras: 2.17
Bobrowski, Jan: 256; figura: 8.27-28
Bogardus, James: 51, 177; figuras: 6.6-7
Boston: 274; figura: 9.11
Botines, casa de los: 54
Boulton & Watt: 177
Brinkman, Johannes A.: 58; figura: 2.10
Bristol: 257; figura: 8.28
Bron-Parilly, viviendas: 139; figura: 4.39
Brownson, Jacques: 277; figura: 9.13
BRT Architekten: 19, 77; lámina VII; figura: 2.36
Bruce, edificio: 178; figura: 6.7
Brugg-Windisch, escuela: 100, 185-187; figuras: 3.36, 6.18-23
Brunswick, edificio: 286
Bruselas: 63, 256, 281; figura: 8.29
Buffington, L.S.: 267; figura: 9.2
Bunshaft, Gordon: 20, 96, 153, 254, 255, 256; lámina X; figuras: 3.28, 5.17, 5.26, 8.25, 8.26, 8.29
Burj Khalifa, rascacielos: 24, 303-304; lámina XXVII; figura: 9.42
Burnham & Root: 266; figura: 9.1
Busquets, Javier: 181
- C.F. Murphy Associates: 277; figura: 9.13
Cabrero, Francisco de Asís: 65, 116, 181; figura: 2.21
Caisse Centrale d'Allocations Familiales: 181-183; figuras: 6.11-13
Camarasa, José Luis: 199
Cambridge: 256; figura: 8.24
Canberra: 260; figura: 8.33
Candela, Félix: 95; figura: 3.27
Cannon Design: 166; figura: 5.35
Cano, Diego, Gonzalo, Alfonso y Lucía: 199
Cárdenas, Ignacio de: 179; figura: 6.9
Carrier, Willis: 273
cartesiano, rascacielos: 55
Cartier, fundación: 162; figura: 5.28
Casa Bloc, Barcelona: 178; figura: 6.10
Casa de Irán, París: 74; figura: 2.32
Casa de las Flores, Madrid: 64; figura: 2.18
Casa del Fascio, Como: 55

Casa del Pueblo, Clichy: 135
 Casas, Manuel de las: 123, 246; figuras: 4.20, 8.10
 Cassan, Urbain: 189; figura: 6.25
 Cassinello, Fernando: 208, 241; figura: 8.1
 Castelar, torre: 20, 75, 163-165; lámina XII; figuras: 5.30-34
 Cbs, edificio: 287-288; figuras: 9.24-25
 Centro de Estudios Orientales, Londres: 131; figura: 4.30
 Centro Hispano-luso, Zamora: 123; figura: 4.20
 Centrosoyus: 55, 216
 Chandigarh, ministerios: 216
 Chicago: 12, 25, 59, 61, 122, 141, 265, 267, 277, 278, 286, 290; figuras: 2.2, 2.15, 4.18, 9.1, 9.13, 9.28
 Chicago, Escuela: 52, 115, 140, 141, 177; figuras: 4.18, 6.8
 Chicago, ventana: 52, 267
 Christ College: 254; figura: 8.24
 Cité de la Muette: 178, 239
 Cité de Refuge: 55, 216
 Citizens Bank, torre: 260; figura: 8.32
 Civic Center, Chicago: 277; figuras: 9.13-14
 Clarté, inmueble: 55
 Clichy: 135
 Clotet, Lluis: 133; figura: 4.33
 Cobb, Henry N.: 170, 280; figuras: 5.39, 9.11
 Coderch, José Antonio: 18, 65, 161; lámina v; figuras: 2.19, 5.27
 Colegio de Arquitectos de Cataluña, sede: 181
 Colquhoun, Miller & Hunter: 66-68; figura: 2.23
 Columbushaus: 55, 121
 Colzeman, John: 243; figura: 8.4
 Commerzbank, sede: 23, 76, 167, 293, 304-307; lámina XXII; figuras: 9.43-45
 Common & Gless: 79
 Commonwealth Promenade, bloque: 59
 Connecticut General Life Insurance, sede: 104; figura: 3.41
 Copilco, supermercado: 95; figura: 3.27
 Corcino (Perugia): 248; figura: 8.15
 Correos, León: 183-185; figuras: 6.14-17
 Corus, sistema: 134; figura: 4.34
 Costamagna, sistema: 245
 Coulon, René: 189; figura: 6.25
 Cristal, torre: 170, 174, 280; figuras: 6.2, 9.17
 Cube, torre: 73; figura: 2.30
 Curie, universidad: 188, 189-191; figuras: 6.25-27
 Delaware, universidad: 247; figura: 8.13
 Denver: 59
 Derby, fábrica de algodón: 51; figura: 2.1
 Des Moines (Iowa): 254; figura: 8.25
 Detroit: 18, 59, 156; lámina III; figuras: 2.11, 5.19
 DeWitt-Chestnut, viviendas: 286
 Dinkeloo, John: 22, 76, 281; lámina XX; figuras: 2.34, 9.18
 Dispensario Antituberculoso, Barcelona: 55, 57, 178
 Dominó, casa: 207; figura: 7.2
 Dowson, Philip: 252, 256, 260; figura: 8.21
 Drancy: 239
 Dubái: 24, 303; lámina XXVII; figura: 9.42
 Duisburg: 169; figura: 5.38
 Durán Reynals, Ramón: 115; figura: 4.7
 Düsseldorf: 21, 193; lámina XIII; figura: 6.33
 Duval, fábrica: 57; figura: 2.9
 Dymaxion, torre: 74; figura: 2.31
 Ehrenkranz, Ezra: 105; figura: 3.42
 Empire State, rascacielos: 178, 273; figura: 9.3
 EMT, sede: 199
 Espacio, torre: 170, 280; figura: 5.39
 Essen: 76, 167; figura: 5.37
 Estilo Internacional: 314
 Eurocity, edificio: 125; figura: 4.25
 Expo 2008, oficinas: 176; figura: 6.4
 Facultad de Matemáticas, Sevilla: 121; figura: 4.16
 Fagus, fábrica: 153; figura: 5.16
 Fahrenkamp, Emil: 122; figura: 4.19
 Fédération Nationale du Bâtiment, sede: 139; figura: 4.40
 Feria de Hannover, oficinas: 78; figura: 2.37
 Fernández Ordóñez, José Antonio: 242; figura: 8.2
 Fernández, Franc: 86; figura: 3.11
 Ferrater, Carlos: 199; figura: 6.39
 Filadelfia: 22, 99, 262, 273; lámina XVIII; figuras: 3.33, 8.36
 Fiorini, Guido: 37, 73
 Fisac, Miguel: 97, 211, 241; figuras: 7.3, 8.1
 Foggo Associates: 252; figura: 8.22
 Ford, fundación: 76; figura: 2.34
 Foster, Norman: 23, 76, 159, 161, 167, 169, 199, 217, 293, 297, 304, 307; láminas XXIII y XXIV; figuras: 5.24, 5.38, 6.40, 9.35, 9.43, 9.46
 Fráncfort: 23, 76, 167, 304; lámina XXIII; figura: 9.43
 Frankl, Volfgang: 116; figura: 4.8
 Friburgo, viviendas: 79
 Friedrichstrasse, rascacielos: 141
 Fuksas, Massimiliano: 150; figura: 5.12
 Fullaondo, Juan Daniel: 18, 73, 231; lámina VI; figuras: 2.29, 7.31
 Fuller, Richard Buckminster: 74; figura: 2.31
 Galfa, torre: 157; figura: 5.20
 Gallego, Moisés: 86; figura: 3.11
 Galvani, palacio: 96; figura: 3.29
 García Benito, Mariano: 126; figura: 4.26
 Gaudí, Antonio: 17, 53-54; lámina I; figura: 2.4
 Genard, Patrick: 198; figura: 6.39
 Goldsmith, Myron: 293
 Götz, oficinas: 77, 167; figuras: 2.35, 5.36
 Gowan, James: 66
 Greenwich (Connecticut): 63, 160, 255; figuras: 5.26, 8.26
 Grimshaw, Nicholas: 199; figura: 6.38

Gropius, Walter: 55, 153, 197; figuras: 5.16, 6.37
 Guadalajara (México): 73; figura: 2.30
 Guastavino: 84; figura: 3.8
 Gulf Life, torre: 262; figura: 8.35
 Gutiérrez Soto, Luis: 121, 127
 Hábitat 67: 22, 248, 262; lámina XVII; figuras: 8.16-17
 Haller, Bruno y Fritz: 100, 185; figuras: 3.36, 6.18
 Ham Common, viviendas: 66
 Hamburgo: 19, 77; lámina VII; figura: 2.36
 Hancock Place, torre: 274; figura: 9.11
 Hancock, edificio: 63
 Hannover: 78; figura: 2.37
 Hansaviertel: 19, 114; lámina VIII; figura: 4.6
 Harper, edificio: 177; figura: 6.6
 Harrell & Hamilton: 260; figura: 8.32
 Harrison & Abramovitz: 135; figura: 4.36
 Harrison, Abramovitz & Abbe: 304
 Hart, Franz: 180
 Haslemere: 139; figura: 4.42
 Hassenpflug, Gustav: 19, 114; figura: 4.6
 Hayward, John: 40; figura: 1.24
 Henn, Walter: 180
 Hennebique, François: 207, 239
 Hennebique, sistema: 207; figura: 7.1
 Hentrich-Petschnigg & Partner: 293; figura: 9.31
 Hertzberger, Herman: 253
 Herzog, Thomas: 78; figura: 2.37
 Highpoint I, viviendas: 71; figura: 2.27
 Higuera, Fernando: 211
 Holabird & Roche: 122; figura: 4.18
 Hong Kong: 265, 297; figura: 9.35
 Hopkins, Michael: 68-70, 97; figuras: 2.25, 3.35
 Hormipresa, sistema: 250; figura: 8.19
 Hornsey Lane, viviendas: 66-68; figura: 2.23-24
 Howe & Lescaze: 273
 Hoz, Rafael de la: 20, 75, 134, 163; lámina XII; figuras: 4.35, 5.30
 Hsbc. Véase Banco de Hong Kong y Shanghái
 IBM, edificio: 157; figura: 5.21
 Il Rigo, viviendas: 248; figura: 8.15
 Inespal Alfil, sistema: 145; figuras: 5.4, 5.15
 Infanta Leonor, hospital: 137, 215; figuras: 4.37, 7.9-10
 Ingenhoven, Christoph: 76, 167; figura: 5.37
 Inland Revenue, edificio: 68-70, 97; figuras: 2.25-26, 3.35
 Inland Steel, edificio: 61, 76, 181; figuras: 2.15-16
 Ipswich: 159; figura: 5.24
 Italsider, sistema: 188; figura: 6.24
 Ito, Toyo: 73, 101; figura: 3.38
 Jacksonville (Florida): 262; figura: 8.35
 Jahn, Helmut: 159; figura: 5.23
 Jansen, sistema: 145; figuras: 5.5, 5.11
 Jenney, William Le Baron: 52, 178, 267; figura: 2.2, 6.8
 Jespersen, sistema: 245; figura: 8.9
 Jin Mao, torre: 24, 302-303; lámina XV; figuras: 9.40-41
 Johannesburgo: 293; figura: 9.31
 John Deere, oficinas: 76
 John Hancock, centro: 267, 288, 290-291; figura: 9.28
 Johnson Wax, sede: 21, 232-237; lámina XVI; figuras: 7.32-40
 Jussieu, campus: 189; figura: 6.25
 Kahn, Louis: 22, 71, 97, 98, 216, 217, 229, 253, 262; lámina XVIII; figuras: 3.30, 3.33, 7.11, 8.36
 Kansas City (Misuri): 18, 63, 276; lámina IV; figura: 2.17
 Khan, Fazlur: 268, 276, 286, 293; figura: 9.4
 Knights of Columbus, torre: 22, 281; lámina XX; figuras: 9.18-19
 Knothe, Herbert: 21, 194; lámina XIII; figura: 6.33
 Koch, Carl: 247
 Komendant, August: 262; figura: 8.16
 Kuala Lumpur: 265
 L'illa Diagonal, edificio: 125; figura: 4.24
 La Alberca: 109; figura: 4.1
 La Pedrera: 17, 53-54; lámina I; figuras: 2.4-5
 La Salle, universidad: 44; figura: 1.30
 La Tourette, convento: 216
 Lafayette Park, viviendas: 18, 59, 156; lámina III; figuras: 2.11-12, 5.19
 Lamb, William F.: 268; figura: 9.3
 Lamela, Antonio: 75; figura: 2.33
 Lamela, Estudio: 214; figura: 7.8
 Lancaster (Pensilvania): 63
 Larkin, edificio: 76
 Lascelles, patente: 239
 Lasdun, Denys: 92, 132, 253, 254; figuras: 3.21, 4.10, 4.30, 8.24
 Le Corbusier: 14, 17, 31, 55, 57, 74, 76, 85, 119, 121, 132, 142, 153, 161, 188, 211, 216, 217, 220, 222, 223-224, 230, 248, 266; láminas II y XIV; figuras: 1.13, 2.6-9, 4.2, 4.14, 5.25, 7.2, 7.17-18
 Lee, C.Y.: 24, 309; lámina XXVI; figura: 9.50
 Leiter II, edificio: 52; figura: 2.2
 Lele (João Filgueiras Lima): 258; figura: 8.31
 León: 54, 183; figura: 6.14
 León, Enrique: 280
 Leonardo da Vinci, escuela: 116; figura: 4.8
 Lever House: 20, 61, 141, 153, 156, 273; lámina X; figura: 5.17
 Linder, sistema: 103; figura: 3.40
 Lloyd's, sede: 21, 76, 97, 169, 217, 226-230, 250; lámina XV; figuras: 3.31, 7.25-30
 Lods, Depont, Beauclair y Alexandre: 191; figura: 6.28
 London County Council: 19, 132; lámina IX; figura: 132
 Londres: 19, 21, 23, 71, 76, 97, 117, 169, 199, 217, 226, 250, 307; láminas IX, XV y XXIV; figuras: 2.23, 2.27, 3.21, 3.31, 4.10, 4.30, 4.31, 6.40-42, 7.25, 9.46
 Londres, ayuntamiento: 199, 307; figuras: 6.40-41

Long Island, casa: 96; figura: 3.28
 Lopez, Raymond: 181; figura: 6.11
 Lubetkin, Berthold: 71; figura: 2.27
 Luckman, Charles: 247; figura: 8.13
 Ludwig Erhard, edificio: 199; figura: 6.38

Madeline, Louis: 189; figura: 6.25
 Madrid: 18, 53, 64, 65, 72, 73, 75, 121, 162, 163, 170, 181, 199, 211, 280, 286, 292, 293; láminas VI, XII y XXII; figuras: 2.3, 2.18, 2.21, 2.29, 2.33, 4.15, 4.26, 4.35, 4.37, 5.29, 5.30, 5.39, 6.2, 6.5, 6.9, 7.3, 7.9, 7.31, 9.17, 9.32
 Madrid-Barajas, aeropuerto: 214; figura: 7.8
 Mah-Le Messurier, sistema: 247; figura: 8.12
 Maillart, Robert: 233
 Málaga: 87; figura: 3.13
 Manchester: 177
 Mangiarotti, Angelo: 99, 251; figura: 3.34
 Mannesmann, edificio: 21, 189, 193-196, 278; lámina XIII; figura: 6.33-36
 Manufacturers Hanover Trust, sede: 60; figura: 2.13
 Mapfre, torre: 280
 Marine Midland, edificio: 286
 Marquette, edificio: 122; figura: 4.18
 Marsella: 21, 55, 216, 220, 221, 224, 266, 293; lámina XIV; figuras: 7.19-24
 Martí, Xavier: 198; figura: 6.39
 Martínez Lapeña, José Antonio: 127; figura: 4.27
 Mater Misericordiae, iglesia: 99
 McMaster, universidad: 197
 Mediapro, edificio: 199; figura: 6.39
 Mendelsohn, Erich: 55, 121
 Mestre: 99; figura: 3.34
 Metropol, casa: 137; figura: 4.38
 México: 95; figura: 3.27
 Meyer, Adolf: 153; figura: 5.16
 Midi, torre: 281
 Mies van der Rohe, Ludwig: 18, 58, 59, 61, 141, 155, 156, 178, 217, 276, 277; láminas III y XI; figuras: 2.11, 5.18, 5.19
 Milá, casa: 17, 53; lámina I. Véase también La Pedrera
 Milam, edificio: 273; figura: 9.10
 Milán: 23, 96, 157, 283; lámina XXI; figuras: 3.29, 5.20, 9.20
 Mile High, torre: 59
 Ministerio de Educación, Río de Janeiro: 55, 216
 Minneapolis: 197; figura: 6.37
 Minnesota, hospital: 197; figura: 6.37
 Mirasierra, centro comercial: 134; figura: 4.35
 Miró, fundación: 211-214; figuras: 7.4-7
 Modulor: 223
 Monadnock, edificio: 267; figura: 9.1
 Moneo, Rafael: 125; figuras: 4.24, 4.27
 Montgat, escuela: 86; figura: 3.11
 Montreal: 22, 248, 262, 304; lámina XVII; figuras: 8.16
 Mopin, sistema: 239
 Moretti, Luigi: 304
 Movimiento Moderno: 11, 25, 51, 71, 119, 178, 181, 216, 239, 313, 314

Múnich: 253; figura: 8.23
 Muñoz, palacio: 115; figura: 4.7
 MUPAG, centro: 211; figura: 7.3

Nantes: 226
 Nervi, Pier Luigi: 23, 95, 97, 98, 140, 229, 252, 278, 279, 283; lámina XXI; figuras: 3.29, 3.32, 9.15, 9.20
 Nestlé, oficinas: 89; figura: 3.16
 New Haven (Connecticut): 22, 97, 217, 281; lámina XX; figuras: 3.30, 7.11, 9.18
 Niagara Falls (Nueva York): 166; figura: 5.35
 Nottingham: 68, 100; figura: 2.25, 3.35
 Nouvel, Jean: 162; figura: 5.28
 Nueva Orleans: 63
 Nueva York: 20, 60, 61, 154, 177, 267, 271, 273, 277, 286, 287, 291, 315; lámina X y XI; figuras: 2.13, 2.14, 2.34, 5.17, 5.18, 6.6, 6.7, 9.3, 9.24, 9.29

Occidental Chemical Center: 166; figura: 5.35
 Octagon, casa: 40; figura: 1.24
 Olivetti, centro de formación: 139; figura: 4.42
 ONU, sede: 55, 141, 273, 274, 315
 Ortiz, Íñigo: 280
 Otto, Frei: 36; figura: 1.20
 Ove Arup, ingenieros: 71, 132, 253; figura: 2.27
 Oxford: 256, 260

Pabellón Suizo: 17, 55-57, 74, 76, 121, 153, 178, 188; lámina II; figuras: 2.6-8
 Paimio, sanatorio: 55
 Palacios, Antonio: 53; figura: 2.3
 Palladio, Andrea: 25; figura: 1.2
 Parent, Claude: 74; figura: 2.32
 Paricio, Ignacio: 133; figura: 4.33
 París: 17, 55, 74, 76, 138, 162, 181, 188, 189, 199; lámina II; figuras: 2.6, 2.32, 4.40, 4.41, 4.43, 5.28, 6.11, 6.25, 6.43
 Pei, Cobb, Freed & Partners: 170, 280; figuras: 5.39, 9.11
 Pei, Ieoh Ming: 59
 Pelli, César: 170, 174, 280; figuras: 6.2, 9.17
 Pepsi-Cola, sede: 61; figura: 2.14
 Perret, Auguste: 239
 Perugia, viviendas: 248
 Petronas, torres: 265
 Philips, edificio: 126; figura: 4.26
 Piano, Renzo: 76, 140, 201, 248; figuras: 4.43, 6.43, 8.15
 Picasso, torre: 286, 292
 Pinós, Carme: 73; figura: 2.30
 Piñón, Helio: 125; figura: 4.25
 Pirelli, torre: 23, 283-285, 292; lámina XXI; figuras: 9.20-22
 Pittsburgh: 135, 304; figura: 4.36
 Place Victoria, torre: 304
 Plaslaan, edificio: 57
 Pohl, sistema: 128; figura: 4.28
 Poissy: 119; figura: 4.14
 Pompidou, centro: 76, 199, 201-206, 226; figuras: 6.43-48
 Ponti, Gio: 23, 283; lámina XXI; figura: 9.20

Preinco, sistema: 130; figura: 4.29
 Price, torre: 72; figura: 2.28
 Promontory, viviendas: 276
 Prouvé, Jean: 135-139, 159; figuras: 4.38-41
 PSEs, torre: 273

Racine (Wisconsin): 21, 232; lámina XVI; figuras: 7.32
 Ramon, Paul: 281
 Real Colegio de Médicos, Londres: 117; figura: 4.10
 Réby, Marcel: 181; figura: 6.11
 Renault: 226
 Rheinfelden, viviendas: 246; figura: 8.11
 Richards, laboratorios: 22, 98, 262; lámina XVIII; figuras: 33, 8.36
 Richardson (Tejas): 260; figura: 8.32
 Ridolfi, Mario: 116; figura: 4.8
 Riera, Gutiérrez y Asociados: 86; figura: 3.11
 Rincón Añoreta, colegio: 87; figura: 3.13
 Robertson, Leslie: 268
 Robertson, sistema: 90; figura: 3.18
 Roche, Kevin: 22, 76, 281; lámina XX; figuras: 2.34, 9.18
 Rochester (Minnesota): 157; figura: 5.21
 Roehampton, barrio: 19, 132; lámina IX; figuras: 4.31
 Rogers, Richard: 21, 76, 98, 169, 201, 214, 217, 226; lámina XV; figuras: 3.31, 6.43, 7.8, 7.25
 Romany, José Luis: 66
 Rotterdam: 58; figura: 2.10
 Ruán, viviendas: 191-193; figuras: 6.28-32
 Rubio & Álvarez-Sala: 162; figura: 5.29
 Rue de Meaux, viviendas: 140; figura: 4.43
 Ruiz de la Prada, Juan Manuel: 121; figura: 4.15
 RWE, sede: 76, 167; figura: 5.37

Saarinen, Eero: 157, 287; figuras: 5.21, 9.24
 Sabadell: 127; figura: 4.27
 Saboya, villa: 119; figura: 4.14
 Sáenz de Oíza, Francisco Javier: 18, 23, 66, 72, 161, 232, 281, 293, 297; láminas VI y XXII; figuras: 2.29, 7.31, 9.32
 Safdie, Moshe: 22, 248; lámina XVII; figura: 8.16
 Saint-Dié: 55, 57, 216; figura: 2.9
 Salford, fábrica: 177
 Salvador de Bahía: 259; figura: 8.31
 San Antonio (Tejas): 273; figura: 9.10
 San Francisco: 288; figura: 9.26
 Schneider-Esleben, Paul: 21, 193; lámina XIII; figura: 6.33
 Schuko, sistema: 146; figuras: 5.6, 5.10
 Scsd: 105-108; figuras: 3.42-44
 Seagram, edificio: 20, 141, 155, 277; lámina XI; figuras: 5.18
 Sears, torre: 265, 272
 Seassal, Roger: 189; figura: 6.25
 Seidler, Harry: 98, 260, 278; figuras: 3.32, 8.33, 9.15
 Sendai, mediateca: 73, 101; figura: 3.38
 Sert, Jackson & Associates: 212; figura: 7.4
 Sert, José Luis: 55, 57, 178, 211, 212; figuras: 6.10, 7.4

Seúl: 269; figura: 9.5
 Sevilla: 121; figura: 4.16
 Shanghái: 24, 302; lámina XXV; figura: 9.40
 Shell, sede: 122; figura: 4.19
 Sidney: 98, 278; figuras: 3.32, 9.15
 Siemensstadt: 63
 Skidmore, Owings & Merrill: 58, 60-63, 104, 276. Véase también SOM
 Smith, Adrian: 24, 302, 303; láminas XXV y II; figuras: 9.40, 9.42
 Soane, John: 219
 Sociedad de Naciones, sede: 55
 Solà-Morales, Manuel de: 125; figura: 4.24
 Solihull, oficinas: 252; figura: 8.22
 SOM: 18, 58, 76, 104, 153, 161, 181, 253, 254, 256, 276, 277, 286, 288, 290, 302, 303; láminas IV, X, XXV y XXVI; figuras: 2.13, 2.14, 2.15, 2.17, 3.41, 5.17, 5.26, 8.25, 8.26, 8.29, 9.13, 9.26, 9.28, 9.40, 9.42
 Songdo Neatt: 269; figura: 9.5
 Sontag, Hansjürgen: 180
 Sony, centro: 159; figura: 5.23
 Sota, Alejandro de la: 121, 183; figuras: 4.16, 6.14
 Splügen Brau, depósito: 99; figura: 3.34
 Square Mozart, edificio: 139; figura: 4.41
 St. Mark's, torre: 72; figura: 2.28
 Standard Bank, sede: 293; figura: 9.31
 Steidle, Otto: 253; figura: 8.23
 Stirling, James: 66, 139; figura: 4.42
 Strutt, William: 51; figura: 2.1
 Subirana, Juan Bautista: 179; figura: 6.10
 Swiss Re, sede: 23, 307-309; lámina XXIV; figuras: 9.46-49
 SyV, torre: 162; figura: 5.29

TAC, grupo: 197; figura: 6.37
 Taipéi: 24, 265; lámina XXVI; figuras: 9.50
 Taipéi 101, torre: 24, 265, 309-311; lámina XXVI; figuras: 9.50-52
 Tange, Kenzo: 72
 TDM, sistema: 44; figura: 1.29
 Teatro Nacional, Londres: 92; figura: 3.21
 Techrete, sistema: 247; figura: 8.12
 Tecton, grupo: 71; figura: 2.27
 Telefónica, edificio: 179; figura: 6.9
 Terni: 116; figura: 4.8
 Terradas Arquitectos: 44; figura: 1.30
 Terragni, Giuseppe: 55
 Tobías, Basilio: 176; figura: 6.4
 Torres Blancas, edificio: 18, 72-73, 232, 281; lámina VI; figuras: 2.29, 7.31
 Torres Clavé, José: 179; figura: 6.10
 Torres de Colón, edificio: 75; figura: 2.33
 Torres, Elías: 127; figura: 4.27
 Tracoba, sistema: 245
 Trade Group, edificio: 260; figura: 8.33-34
 Truscon, sistema: 248; figura: 8.14
 Tschumi, Jean: 89; figura: 3.16

Unicorn, aparcamiento hotel: 257; figura: 8.28
 Unidad de Vivienda 'transitoria': 221; figura: 7.17
 Unidad de Vivienda, Berlín: 160; figura: 5.25
 Unidad de Vivienda, Estrasburgo: 221, 248; figura: 7.18

- Unidad de Vivienda, Marsella: 21, 55, 216, 220-226, 266, 293; lámina xiv; figuras: 7.18-24
- Unidad de Vivienda, Nantes: 226
- US Steel, torre: 304
- Valls, Manuel: 18, 65; lámina v; figuras: 2.19
- Valmarana, palacio: 25; figura: 1.2
- Van der Vlugt, Leendert C.: 58; figura: 2.10
- Van Tijen, Willen: 58; figura: 2.10
- Venecia: 315
- Vevey: 89; figura: 3.16
- Viaplana, Albert: 125; figura: 4.25
- Viena: 150; figura: 5.12
- Viñoly, Rafael: 258; figura: 8.30
- Virgen del Pilar, viviendas: 65; figura: 2.21-22
- Wageningen, universidad: 259; figura: 8.30
- Webler & Geissler: 77, 167; figuras: 2.35, 5.36
- Weeks, Louis S.: 179; figura: 6.9
- Weissenhof, colonia: 178
- Willis Faber & Dumas, edificio: 159; figura: 5.24
- Willis, George: 273; figura: 9.10
- Wolfson, edificio: 260
- World Trade Center: 267, 271, 272, 291-292; figuras: 9.29-30
- Wright, Frank Lloyd: 21, 65, 72, 76, 104, 231, 232, 233, 235, 281; lámina xvi; figuras: 2.28, 7.32, 7.39
- Würzburg: 77, 167; figuras: 2.35, 5.36
- Yale, Centro de Arte Británico: 217-220; figuras: 7.11-16
- Yale, Galería de Arte: 97; figura: 3.30
- Yamasaki, Minoru: 253, 271, 286, 291; figura: 9.29
- Zamora: 123; figura: 4.20
- Zapco, sistema: 246; figura: 8.11
- Zaragoza: 176; figura: 6.4
- Zeidler Partnership Architects: 197
- Zuazo, Secundino: 64; figura: 2.18
- Zwimpfer Partner Architekten: 246; figura: 8.11

Director

Jorge Sainz

Profesor Titular del Departamento de Composición Arquitectónica
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid · UPM

Coordinador

Fernando Valderrama

Profesor del Departamento de Gestión de la Edificación
Escuela de Arquitectura · UEM

Asesores

Enrique Álvarez-Sala

Rubio&Álvarez-Sala, estudio de arquitectura
Profesor de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (1983-2006)

César Bedoya

Catedrático del Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónica
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid · UPM

Clara Brea

Bibliotecaria
Colegio Oficial de Arquitectos de Galicia

Jaime Cervera

Catedrático del Departamento de Estructuras de Edificación
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid · UPM

Federico García Erviti

Profesor Titular del Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónica
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid · UPM

Margarita de Luxán

Catedrática del Departamento de Ideación Gráfica Arquitectónica
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid · UPM

Mercedes Medina de Toro

Librería Maireia
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

*A esta lista hay que añadir los autores de los libros de la colección,
que se convierten automáticamente en asesores.*

1



Fernando Valderrama

Mediciones y presupuestos

Para arquitectos e ingenieros de edificación

Edición 2010, actualizada y aumentada
ISBN: 978-84-291-3201-4
381 páginas · 308 ilustraciones

2



Gavin Tunstall

La gestión del proceso de edificación

Del croquis a la ejecución

ISBN: 978-84-291-3102-4
482 páginas · 75 ilustraciones

3



Ramón Araujo

Construir en altura

Sistemas, tipos y estructuras

ISBN: 978-84-291-3103-1
338 páginas · 653 ilustraciones (28 en color)

En preparación:

Peter Smith

Guía de edificación sostenible

Construir en un clima de cambio

Ignacio Fernández Solla

Cerramientos de fachada

El diseño de la piel vertical del edificio

Este libro, compuesto con tipos
Palatino (1948) y Optima (1952-1955),
de Hermann Zapf,
se imprimió en Barcelona,
el mes de marzo del año 2012,
en los talleres de Reinbook Imprès.

Construir en altura

La arquitectura como técnica (2)

Este libro es fruto del curso de Construcción que el autor imparte desde 1989 en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, y constituye la segunda parte de una secuencia iniciada con un volumen dedicado a las 'superficies'.

La mayoría de las construcciones que forman las ciudades son edificios 'de pisos', organizados mediante la superposición de una cantidad significativa de planos horizontales habitables; y la construcción en altura es desde hace mucho tiempo el sistema más generalizado en la ciudad contemporánea.

El edificio de pisos es necesariamente un artefacto muy tecnificado y su evolución en los últimos años ha sido necesariamente técnica. El libro está organizado a partir de esas técnicas, y trata de describirlas en sus aspectos fundamentales, siempre con relación a los edificios en que se emplean, con cierto hincapié en las aplicaciones iniciales o más relevantes. El texto habla principalmente de estructuras, cerramientos y sistemas de instalaciones, y trata de describir su evolución y sus últimos logros.

En el libro se ofrece en lo posible la descripción de edificios completos, más que la de sus partes. Además de la evolución del edificio en altura en estos años, destaca ante todo su carácter experimental, y son muchas las soluciones de todo tipo que se probaron y no han tenido después continuidad.

En la selección de los edificios se han escogido los ejemplos más relevantes, aunque se ha preferido lo más antiguo a lo más reciente, en un intento de tratar de colaborar a que todo ese esfuerzo no quede totalmente relegado.



RAMÓN ARAUJO (San Sebastián, 1957) es arquitecto (1980) y doctor (1992) por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, en la que es profesor del Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónica desde 1989, Titular desde 1995; es autor de *Construir en acero: arquitectura en España* (Oviedo, 1994, con Enrique Seco), *La arquitectura como técnica (1): superficies* (Madrid, 2007) y *Construir en acero: arquitectura en España 1992-2008* (Madrid, 2009); su labor docente e investigadora se combina con su actividad como arquitecto profesional, de la que se presentan algunos ejemplos en este libro.

Ilustración de cubierta: Foster Associates, sede de HSBC, Hong Kong, en construcción, junio de 1984; foto: Ian Lambot.



Editorial
Reverte

www.reverte.com

