

la arquitectura del ingeniero

la materia, la técnica y la forma

Desde el momento histórico en el que se produce la Revolución Industrial, el ingeniero pasa a ser algo más que un simple compañero de viaje para el arquitecto, demostrando que su capacidad para innovar no tenía nada que envidiar a la del arquitecto. Sus contribuciones con materiales, técnicas y estructuras singulares han permitido que la arquitectura de hoy, se encuentre en una situación privilegiada desde todos los puntos de vista

BEATRIZ HERNÁNDEZ CEMPELLÍN

FOTOGRAFÍA: COVER

Cuando los constructivistas rusos apuntaban a principios del siglo XX, que el artista debía considerar su trabajo del mismo modo que la actividad de los ingenieros, creando objetos utilitarios o buscando su propia finalidad y que debía dedicarse a actividades verdaderamente útiles para la sociedad, como la arquitectura, la producción industrial, el diseño tipográfico, etc. Estaban reflejando la evolución de una sociedad, en la que desde que surgió el hierro, al calor de la Revolución Industrial, los ingenieros tenían en sus manos la arquitectura de la época.

Durante el Barroco la unidad entre arquitectos e ingenieros era perfecta, pero los cambios técnicos y los nuevos materiales trajeron, el principio de una polémica que se ha alargado a través de la historia. Entonces la arquitectura se definía como una actividad más creativa y cercana al arte y la ingeniería se orientaba hacia la técnica, cualidad que facilitó la adaptación de las prestaciones de los nuevos materiales al campo de la construcción. Y así encontramos grandes obras realizadas por ingenieros como Alexandre Gustave Eiffel, con la Torre Eiffel de París o con la armazón de la estatua de la libertad, en la que la ingeniería y el arte se fusionan de manera total.

Aunque el arquitecto supo redefinirse y aprovechar las técnicas y conceptos que el ingeniero puso a su disposición, ya en el siglo XX de nuevo el ingeniero volvería a contribuir al desarrollo de la arquitectura con distintos materiales, como el hormigón armado. Pero no solo aportaría dichos materiales, la estética de la arquitectura también se vería influenciada por un estilo ingenieril. Sin lugar a dudas, la última gran aportación es la innovación técnica que ha permitido al arquitecto crear edificios con formas, que hasta el momento no se habían concebido, y que más que edificios aparentan ser obras de arte.

HIERRO: EL MOTOR DE LA ARQUITECTURA

"En cuanto se utiliza un nuevo producto proporcionado por una nueva industria se crea una arquitectura característica. El uso del hierro permite e impone numerosas formas nuevas, como pueden observarse en estaciones, puentes colgantes, y bóvedas de los jardines de invierno".

Théophile Gautier,
La Presse, París, 1850.

La Revolución Industrial se inició en Inglaterra entre 1760 y 1830, pero no sería hasta 1850 cuando se extiende a los demás países europeos. La aplicación de una nueva fuerza mecánica, la máquina de vapor, la producción y más tarde al transporte con la aparición del ferrocarril, contribuyó al aumento de la demanda del hierro, disparando la industria siderúrgica.

La incursión del hierro en la construcción, sentaría las bases para un nuevo arte arquitectónico, es el momento del cambio de lo artesanal al proceso de producción industrial. Paralela a la Revolución Industrial se produce una revolución de los métodos de construcción y de nuevas tipologías de edificios como estaciones, fábricas, mercados, invernaderos...

La diferente formación que adquirirían arquitectos e ingenieros, durante el siglo XIX, provocó que los ingenieros, con unos conocimientos más técnicos, fueran los primeros en comprender plenamente los cambios que introducen los nuevos materiales en la construcción, intentando definir la relación entre técnica constructiva y estética arquitectónica, y así crearon otros tipos de edificios y estructuras diseñadas enteramente por ellos. Mientras, los



arquitectos con una formación más artística, buscaban un nuevo estilo que se adaptase a los diferentes materiales, por los que se sentían fascinados.

Todo esto daría origen a un debate entre lo que era arquitectura y por tanto arte y lo que era ingeniería y por lo tanto ciencia, que se ha trasladado a lo largo de los años. En la Academia Francesa de arquitectura, en 1877 era tal la polémica que llegó a convocarse un premio al mejor trabajo que tratase "La unión o separación del ingeniero y del arquitecto".

A este debate se añadiría pronto el problema de la funcionalidad, que sería definida en aquella época como la "inevitable relación entre forma y función". Por un lado estaban los que pensaban que la función y la materia condicionaban la forma y por otro se consideraba que partiendo de una idea, se modela y adapta el material para cumplir su misión.

La revolución técnica y el progreso requerían nuevos espacios, que los sistemas tradicionales no podían resolver y así surgen los nuevos temas arquitectónicos como invernaderos, estaciones, fábricas, grandes recintos de exposiciones y reunión. Estas nuevas construcciones se realizarán en hierro y vidrio, ambos materiales estarán vinculados a lo largo de la historia y han sido los mejores aliados para armonizar la fuerza de la estructura con la ligereza del cerramiento.

Un ejemplo claro de esta unión lo encontramos en uno de los grandes legados que ha dejado esta época, El Palacio de Cristal. Construido como un pabellón diáfano de planta rectangular y techos abovedados que con el uso de hierro y vidrio, consigue una estructura mínima y máxima transparencia. Estos cerramientos proporcionan las idóneas condiciones térmicas para el uso de invernadero, que se deba originalmente a este recinto. El edificio nace además con un sistema de instalaciones totalmente integrado en la forma, ya que al comportamiento energético descrito se le añade calefacción de agua caliente bajo suelo, método que reinventan del incomparable legado recibido de los romanos, incorporando aperturas de ventilación perimetrales en el arranque de la cúpula, con el fin de evitar condensaciones.

La Palm House o Casa de las Palmeras en el Real Jardín Botánico de Kew (1844-1848), construida por Decimus Burton y el ingeniero Richard Turner, es uno de los primeros palacios de cristal construidos, donde la transparencia y ligereza son dignas de estudio.

Este nuevo tipo arquitectónico va más allá del uso de invernadero, cuando Joseph Paxton crea sobre la experiencia del invernadero, el nuevo palacio de exposiciones de Londres con motivo de la Exposición Universal de 1851, y lo hace en unas dimensiones colosales, que lo convierten en un símbolo de los nuevos tiempos.

Nuestro país también se hizo eco de esta tendencia con El Palacio de Cristal del Retiro, construido en 1887 en Madrid, con motivo de la Exposición de las Islas Filipinas, por el arquitecto Ricardo Velásquez Bosco. Este edificio nació con la finalidad de servir para exposición de plantas y flores procedentes de Filipinas, lo que originó que en aquella época fuese denominado popularmente como pabellón estufa. Con esta construcción se pretendía conseguir una proyección internacional siguiendo las corrientes arquitectónicas de la época. En su diseño se tomó como referencia el Palacio de Cristal de Paxton y el mercado de Les Halles de París.

Actualmente el Palacio de Cristal del Retiro ha sufrido modificaciones y reformas, para devolverle su aspecto original, pero no así su uso. Resulta paradójico que existiendo edificios específicos destinados en su origen a dicha finalidad, sean otros los que se reinventen y asuman su función, como es el caso del invernadero de la estación de Atocha, realizado por Rafael Moneo. Sin duda con esta reforma pretendía volver al espíritu de la Revolución Industrial, albergando en la monumental estructura de acero que Alberto de Palacio concibió en 1888 el uso que definiría una época.

De nuevo nos encontramos con otro de los grandes ejemplos de la nueva edificación que nos aportaría la Revolución Industrial.

La imagen más determinante de modernidad de las ciudades industriales fue el ferrocarril y así nació una nueva mitología arquitectónica; la estación. En estos edificios es donde se verán los principales logros estéticos y tecnológicos de la época. En la construcción de estaciones se partiría de unos principios funcionalistas y sencillos en los primeros embarcaderos, hasta los complejos hangares estructurales de hierro de finales del siglo XIX. Como edificio de nueva creación, permitía a los ingenieros la innovación espacial y formal, sin atender a cánones preestablecidos.

No solo tenemos como ejemplo de este tipo de edificios la magnífica estación de Atocha, también de la misma época data la estación de Delicias de Madrid en 1880, realizada por el ingeniero Emile Cachelievre. Un año más tarde el ingeniero Mercier terminó la estación del Norte también en Madrid. Estas estaciones marcaron tendencia en muchas otras, que surgieron en años posteriores en el resto de España.

Pero el desarrollo del ferrocarril trajo también la construcción de puentes, a partir de su puesta en marcha comenzaron a construirse verdaderas obras de ingeniería. El empleo de hierro significó una transformación radical en su construcción, hasta entonces los puentes que se habían construido eran utilizados fundamentalmente para el paso de peatones y de carruajes no excesivamente pesados.

Palacio de Cristal en el Parque del Retiro de Madrid. Construido en 1887, este pabellón diáfano de planta rectangular y techos abovedados es un claro ejemplo de síntesis del hierro y el vidrio.



El puente de Coalbrookdale, sobre el río Severn en Inglaterra (1775-1779), es el primero de los puentes metálicos, cuenta con una estructura poco clara, heredada de los materiales de piedra y madera, con los que hasta entonces se construían. El hierro forjado sería el material de los puentes de la segunda mitad del siglo XIX, época de los grandes viaductos de ferrocarril. De este material son también las vigas de los arcos de la torre Eiffel de París.

A finales de este siglo se impondría el acero sobre el hierro forjado en la construcción de puentes. El puente de Brooklyn (1883) es uno de los símbolos arquitectónicos de esta época y de la ciudad de Nueva York. Este puente de 1.843 metros es el resultado del empeño de John Roebling, constructor y fabricante de cables, que ya antes había diseñado otros puentes en suspensión. Su construcción duro 15 años y en ella murieron más de 200 trabajadores, incluido el propio Roebling.

Desde que el puente de Brooklyn se terminó, los arquitectos sabían que tenían un nuevo campo por explorar, los ingenieros habían puesto en sus manos nuevos conceptos e instrumentos. Así arquitectos como Wright, Le Corbusier o Aalto desarrollaron sus visionarias propuestas.

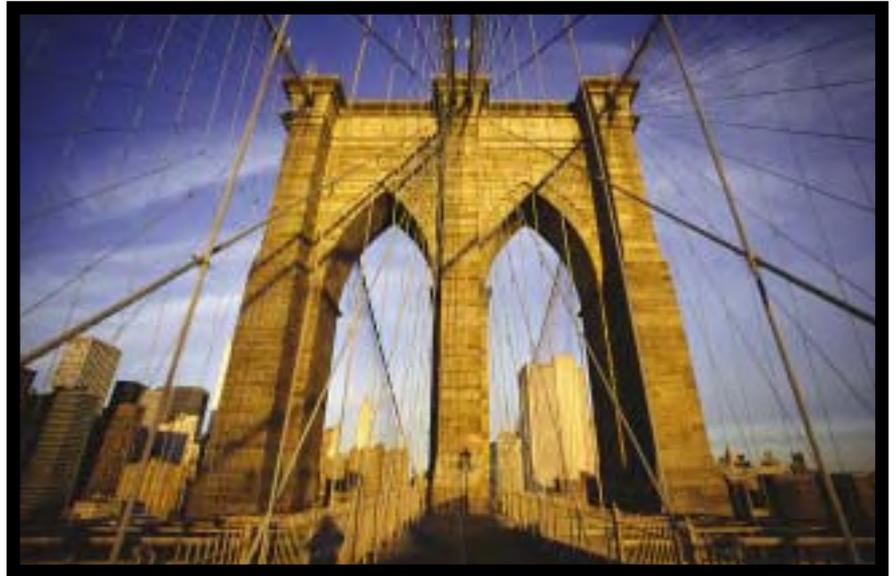
HORMIGÓN ARMADO: EL LADRILLO DEL INGENIERO

Con la llegada del siglo XX, al hierro y el vidrio se unió un nuevo material: el hormigón armado. La evolución técnica del hormigón armado pertenece por derecho propio a la ingeniería y especialmente a los puentes. La arquitectura verá pronto las grandes posibilidades de este material, adaptándolo a la edificación, lo que significará un cambio radical en la arquitectura del siglo XX.

Si el siglo anterior se vio definido por la nueva tipología arquitectónica, en el siglo XX serán determinados nombres los que aportarán carácter al uso del hormigón.

Le Corbusier contó en la Escuela parisiense de Bellas Artes, en 1909:

“El profesor de obras públicas había caído enfermo, sustituyéndole el ingeniero jefe del metro. Cuando anunció su intención de tratar en sus lecciones las posibilidades del hormigón armado, los alumnos, indignados, lo abuchearon. Para los artistas de la época, el hormigón era un material con el que podían construirse



Los puentes, una de las obras públicas más antiguas del mundo, ostentan el privilegio de ser las favoritas, tanto para los ingenieros como para los arquitectos, quienes ven recompensados sus esfuerzos con un trabajo que perdurará en el tiempo como símbolo de técnica e invención humana, frente a los desafíos de la naturaleza



Arriba, el puente de Brooklyn, en Nueva York, construido entre 1869 y 1883. Abajo, el puente de El Alamillo, en Sevilla, un ejemplo más moderno de singular morfología.

túneles, muros de contención y plantas industriales, pero jamás obras serias y artísticas”.

Ingenieros, como el suizo Robert Maillart, fueron destinados a encontrar el camino desde la habitual construcción a base de soportes y vigas hasta las nuevas formas, que llegaron a realizarse en hormigón. Partiendo de la herencia cons-

tructiva y formal del siglo XIX, Maillart creó la tradición del que ha sido el material de la primera mitad del siglo XX, renunciando a los cánones de perspectiva tradicional y rompiendo la asociación entre ingeniería y clasicismo.

En 1930 terminó la construcción del puente de Salginatobel, que sería el puente con el vano más largo que

construyó, como todas sus obras se ubicó en un entorno espectacular. Uno de los mayores aciertos de Maillart es el de lograr la integración de un elemento artificial en un magnífico entorno natural. El puente de Salginatobel fue el primero al que se considero como hito histórico internacional de la ingeniería civil.

Maillart al igual que otros muchos ingenieros del momento, no solo construyó puentes, también proyectó la estructura de gran número de edificios, siendo sus descubrimientos esenciales para el desarrollo de la técnica constructiva del hormigón. Es el caso de su estructura de hormigón fungiforme para resolver el techo de los almacenes Giesshübel, en Zurich (1920), que le permitió renunciar al uso de vigas.

Otro de los grandes ingenieros de esta época fue Eduardo Torroja, alumno de José Eugenio Ribera, el introductor del hormigón armado en España, sus obras siempre se han situado en la vanguardia tecnológica de la construcción. Torroja hizo uso del hormigón armado con una conjunción de las técnicas más avanzadas en el empleo de este material, y de unas formas revolucionarias. Sus trabajos se encuentran repartidos tanto por Europa como América o Asia, entre ellos cabe destacar la cubierta estructural para el Hipódromo de la Zarzuela (1934) o el Viaducto de Martín Gil en Zamora (1934-1942), en el que destaca su ejecución técnica y su bellaza estética, convirtiéndolo en la obra de ingeniería europea más importante de su tiempo.

La inclusión definitiva de este material en la edificación, correría a cargo del arquitecto e ingeniero italiano Pier Luigi Nervi, que con sus innovaciones técnicas en la construcción con hormigón armado, hizo posible la resolución de complicados problemas estructurales con soluciones elegantes y expresivas. Nervi decía considerarse antes que arquitecto, ingeniero y técnico, vinculándose al estructuralismo que había surgido con Eiffel o Maillart. Partía de la base de que la elegancia estética de sus edificios reside en la corrección estructural y la homogeneidad de un único material. Algunas de sus obras más destacadas son el Palacio de Exposiciones de Turin, (1948-1949) o el Palacio de la UNESCO en Paris (1953-1957).

En la actualidad, Santiago Calatrava es el heredero de estos grandes pioneros de la ingeniería. Con él la arquitectura

y la ingeniería se han fusionado uniendo la belleza de la estructura con las prescripciones de una función.

Si nos remontamos al concurso convocado por la Academia Francesa de Arquitectura sobre la unión o separación entre arquitectos e ingenieros, en el trabajo ganador realizado por Davioud, uno de los arquitectos del Trocadero, podemos leer lo siguiente:

“ El acorde no llegará nunca a ser real, completo y fructífero hasta el día en que el ingeniero, el artista y el hombre de ciencia estén fundidos en una misma persona. Durante mucho tiempo hemos vivido dominados por la disparatada idea de que el arte era una forma de actividad distinta de todas las restantes actividades de la inteligencia humana, teniendo su única fuente y origen en la personalidad del propio artista y, en ella, su caprichosa fantasía”.

El siglo XIX se caracterizó por los nuevos conceptos de edificios como la estación de ferrocarril, en el siglo XX, el aeropuerto será la nueva construcción que surja del progreso y que no cuenta con referentes históricos

Con una formación en artes, arquitectura e ingeniería, Calatrava materializa los requerimientos del arquitecto francés.

Los puentes son una de sus obras más características, en su diseño parte de la sencilla función de un puente, que transforma la naturaleza creando orden. A través de sus estructuras intenta redescubrir el potencial de este tipo de construcciones y convertirlo en un símbolo de la modernidad de las ciudades.

Son muchas las obras que podríamos citar de este ingeniero-arquitecto-escultor, en las que la fusión de la técnica y la forma armonizan perfectamente, entre ellas destaca el Puente del Alamillo. Este puente le fue encargado por la Junta de Andalucía con motivo de la Exposición Universal de 1992, su espectacular mástil de 142 metros cuenta con una inclinación de 58 grados, igual que la pirámide de Keops y una luz de 200 metros sobre el meandro de San Jerónimo, un afluente antiguo del Guadalquivir. Como parte de su proceso de diseño Calatrava utiliza sus propias esculturas, en el Puente del Alamillo se inspiró en una de ellas que había realizado con anterioridad: *Torso en movimiento*. Esta es una de sus obras que recuerda al estilo más puro de Nervi.

A pesar de que a Calatrava se le asocia frecuentemente con los puentes, su trabajo también es reconocido en la construcción de edificios, donde como le es característico hace uso de la técnica con asombrosas estructuras. Esto le ha valido el encargo de lo que se ha denominado como una estación alada, que construirá en la Zona Cero. Para su diseño ha partido de la idea de un niño soltando una paloma y así ha concebido una estructura que recuerda a un pájaro que despliega sus alas.

HIGH TECH: LA ARQUITECTURA COMO MAQUINA

Si la ingeniería había contribuido a lo largo de los años con sus aportaciones técnicas y con nuevos materiales a la construcción, su influencia no sería solo

técnica, hasta el punto que en los años 70 los arquitectos comenzaron a diseñar con un estilo de ingeniería. Así Richard Rogers, Renzo Piano o Norman Foster crearon un nuevo movimiento que se denominó *High Tech*.

En ese tema se construyeron obras de ingeniería estructural con conductos y tuberías, utilizadas como parte integral del diseño del edificio. Estos edificios-máquina, son la fusión de ambas disciplinas, arquitectos e ingenieros trabajan unidos.

Este es el caso del Centro Pompidou de Paris, construido en 1977 por un grupo de arquitectos e ingenieros entre los que destacan Rogers y Piano, y el ingeniero Peter Rice. Dedicado a múltiples usos como el de Museo de Arte Moderno, Biblioteca, Centro de Diseño Industrial, Centro para la Música e Investigaciones Acústicas, cuenta también con una de las más famosas zonas de ocio y comercio de la capital francesa.

La principal característica de este edificio es que su interior es mostrado al exterior. Peter Rice diseñó una red de conductos y tubos de colores vivos que discurren por todo el centro. La escalera mecánica se encuentra dentro de un tubo de vidrio ubicado en el exterior





A la derecha, el Washington Dulles International Airport, en Virginia (Estados Unidos). A la izquierda, el centro Pompidou en París, construido en 1977 por un grupo de arquitectos e ingenieros entre los que destacan Rogers y Piano, y el ingeniero Peter Rice.

del edificio. Este museo no solo exhibe obras en su interior, sino que el propio edificio en una obra de arte.

De este proyecto surgieron colaboraciones futuras que contribuyeron al desarrollo de este nuevo estilo, así Renzo Piano y Peter Rice se asociarían, juntos realizaron grandes proyectos como el Museo Menil Collection en Houston, Texas (1981-1986). Richard Rogers actualmente está culminando la ampliación del aeropuerto de Barajas.

La tendencia actual de adecuar edificios, que originalmente han sido concebidos con una finalidad industrial, para un uso totalmente distinto, ha venido influenciada por este movimiento. Así una antigua fábrica de energía se ha convertido en el museo más vanguardista de Europa, la Tate Gallery de Londres. O una antigua cervecería es uno de los mejores auditorios de Reino Unido y uno de los más divertidos centros comerciales de San Francisco, era una antigua fábrica de chocolates. En nuestro país nos encontramos con casos como el mercado del Borne o la fábrica de Cervezas el Águila, rehabilitados con fines culturales.

La arquitectura industrial no solo se ha de reconvertir para otros usos, ya que la UNESCO ha iniciado una política para preservar los edificios y las máquinas de la industrialización, declarando Patrimonio de la Humanidad fábricas como la siderúrgica Völklingen en Alemania, que fue construida en 1873 y que sólo renovó su equipamiento en 1928, lo que la convierte en un monumento de la historia de la tecnología y de la cultura industrial.

LA ARQUITECTURA ESPECTACULO

Desde que un el Museo Guggenheim marcara un antes y un después en la ciudad de Bilbao, todas las ciudades quieren crear su propio sello de identidad, a través de iconos urbanos realizados por renombrados arquitectos. Para ello requieren obras que sorprendan y que las diferencien, se dedican a coleccionar Foster, Perrault o Nouvel como si fuesen museos. Los arquitectos se han convertido en las estrellas del momento, han hecho del mundo el mejor escaparate para exhibir sus obras, son su tarjeta de presentación.

En sus creaciones prima la modernidad y la forma por encima de materiales u otras características. El Museo Guggenheim es un ejemplo claro de esta situación; la forma es su principal atractivo. Frank Gehry utilizó para su diseño y construcción, el programa Catia, de diseño tridimensional desarrollado en un principio para la industria aeroespacial, con objeto de trazar superficies curvas mediante control numérico finito.

Eduardo Torroja, comentó en una ocasión a propósito de la forma:

“...infinitas posibilidades de formas permanecen en la oscuridad a la espera del ojo del artista que sepa comprenderlas... ninguna obra pasará a la posteridad por la perfección de sus cálculos. Solamente la forma, la nueva forma, continuará impresionando...” .

Probablemente cuando el gran ingeniero pronunció estas palabras estaba vislumbrando el futuro de la nueva arquitectura. No sabemos si alguno de

nuestros grandes arquitectos podrá visionar de nuevo el futuro, como lo hizo Eduardo Torroja, porque no sabemos si se podrán concebir obras más poderosas.

Bibliografía

- Juan Sobrino. *Arquitectura Industrial en España, 1830-1990*. Ediciones Cátedra. Madrid. 1996.
 Philip Jodidio. *Santiago Calatrava*. Editorial Taschen. Köln. 2003.
 Peter Gössel y Gabriele Leuthäuser. *Arquitectura del siglo XX*. Editorial Taschen. Köln. 2001.
 Henry-Russell Hitchcock. *Arquitectura de los siglos XIX y XX*. Ediciones Cátedra. Madrid. 1998.
 José Benito Rodríguez Cheda y Antonio Raya de Blas, "La arquitectura del vidrio", en la *Revista Tectonia, Vidrio (I)*. ATC Ediciones. Madrid. 1996.
 Ramón Araujo, "Hormigón prefabricado y construcción en altura", en la *Revista Tectonia, Hormigón(II)*. ATC Ediciones. Madrid. 2003.
 José Jurado Egea, "La historia de aquí", en la *Revista Tectonia, Hormigón(II)*. ATC Ediciones. Madrid. 2003.
 Ramón Araujo, "Construir en acero: forma y estructura en el espacio continuo", en la *Revista Tectonia, Acero(I)*. ATC Ediciones. Madrid. 1998.

Internet

- Unesco: www.unesco.org
 El Correo: www.elcorreo.com
 El País: www.elpais.com
 Todo Arquitectura: www.todoarquitectura.com
 ArteHistoria: www.artehistoria.com
 Monografías.com: www.monografias.com
 Universidad Complutense de Madrid: www.ucm.es
 Universidad Politécnica de Valencia: www.upv.es