

APROXIMACIÓN HISTÓRICA A LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS MODERNOS

CARLOS FLORES ESPINO

ISBN: 978-607-484-648-5

INTRODUCCIÓN

Un sistema constructivo se entiende como el conjunto de elementos, materiales y técnicas que son características para un tipo de edificación en particular. A lo largo de la historia los constructores han adaptado su conocimiento y práctica en el uso de los materiales constructivos a las solicitaciones funcionales, estilísticas y estructurales de la arquitectura propia de su contexto histórico y regional.

El avance del conocimiento científico y el resultado tangible de su aplicación tecnológica han quedado plasmados a través de los tiempos en los inmuebles que conforman el legado arquitectónico de las civilizaciones. Fue especialmente en las naciones industrializadas durante el siglo XIX que los sistemas constructivos sufrieron cambios radicales en su concepción estructural, lo cual resultó principalmente del despertar de las ideas científicas del siglo XVIII, sumado al auge de la producción a gran escala de los “nuevos” materiales de la era industrial, tales como el ladrillo, el hierro, el acero, el vidrio y el concreto reforzado.

Este texto conforma una reseña cronológica de los eventos clave que marcaron la evolución de las prácticas constructivas y detonaron la más notable transición tecnológica en la historia de la arquitectura, probablemente desde la construcción de las primeras estructuras góticas en el siglo XII.

Cabe aquí precisar mi interés personal como expositor del presente tópico, el cual no forma parte en la actualidad de alguna línea de investigación histórica desarrollada por mí; en todo caso, presento una interpretación parcial de algunos textos que me han resultado de gran interés a lo largo de mi profesión. La sucesión de hechos históricos aquí descritos pueden consultarse extensivamente en Addis (2007) y Hart-Davis (2012), mientras que para una explicación en términos accesibles de la evolución del razonamiento estructural, recomiendo ampliamente la lectura de las obras de Heyman (2001, 2004), Gordon (1978) y Torroja (2007).

ANTECEDENTES: LA ERA DE LA RAZÓN

Antes de que las matemáticas y la ciencia fueran aplicadas de manera racional al diseño de estructuras arquitectónicas,

los proyectos constructivos se basaban principalmente en reglas que provenían de la experiencia y la tradición. Muchas de estas reglas consistían en proporciones o relaciones geométricas con las que se establecían límites a lo que podía ser construido sin correr peligro. Estas reglas se determinaban frecuentemente por prueba y error, y su desarrollo involucraba frecuentes colapsos. No obstante, bajo este enfoque se llegaron a producir magníficas estructuras desde las épocas clásicas (incluyendo las impresionantes catedrales góticas y los monumentos del Renacimiento), de las cuales han sobrevivido un gran número hasta nuestros días.

Ese tipo de reglas fueron ideales para construcciones a base de mampostería, un sistema constructivo donde los esfuerzos actuantes son generalmente bajos y cuya estabilidad depende más de la geometría de la estructura que del comportamiento y la resistencia de sus materiales. Bajo esta condición, si una estructura construida resulta ser satisfactoriamente estable, se esperaba que también lo fuera en caso de edificarse a una escala mayor.

Durante la Ilustración europea (comprendida aproximadamente entre 1650 y 1780), se llevó a cabo una gran

revolución científica, la cual dio vida al concepto moderno de “fuerza” en la astronomía y la mecánica, facilitando el camino para las modernas ciencias de la estática y la resistencia de materiales. Resulta fundamental iniciar esta reseña mencionando al precursor, Galileo Galilei (1564-1642), y posteriormente a Isaac Newton (1642-1727), como los científicos que más influyeron en la formulación de un nuevo marco teórico dentro del cual se desarrollaron los más importantes aportes al entendimiento humano de la física, por lo menos hasta la primera mitad del siglo xx.

Dos de los primeros pensadores que aprovecharon aquellos conocimientos de mecánica y estática aplicados a la construcción fueron los ingleses Robert Hooke (1635-1703) y Christopher Wren (1632-1723). Hooke, un físico célebre por formular la Ley de la Elasticidad, descubrió que la curva que describe una cadena colgante (catenaria) es inversamente análoga a la geometría más estable que puede tener un arco de piedra. Por su parte, el arquitecto Wren aplicó por primera vez este modelo para diseñar y construir la gran cúpula de la Catedral de Saint Paul en Londres, terminada en 1711 (Figura 1). A partir de este acontecimiento se

considera el inicio de la aplicación del razonamiento científico al diseño arquitectónico; hasta ese momento en la historia, todas las edificaciones previas habían sido concebidas estructuralmente a partir de criterios empíricos, derivados a lo largo de siglos de observación de casos exitosos (y de fracasos) de estabilidad constructiva.

El mismo concepto de la catenaria de Hooke fue aplicado en Italia en 1748 por Giovanni Poleni (1683-1761), un académico de la Universidad de Padua, quien realizó por encargo del Papa Benedicto xiv un dictamen técnico para solucionar el problema de agrietamiento que presentaba la cúpula de la Basílica de San Pedro. Dicho estudio fue sistemáticamente documentado y es la primera memoria de análisis estructural publicada con fundamentos propiamente científicos. Para nosotros tiene una importancia particular, por ser el primer estudio racional aplicado a la conservación de un inmueble histórico.

Para 1747, se funda en Francia la Escuela de Puentes y Caminos, primera academia en donde la ingeniería como profesión comenzó una transición desde el ámbito meramente militar hacia la aplicación de la ciencia en obras de

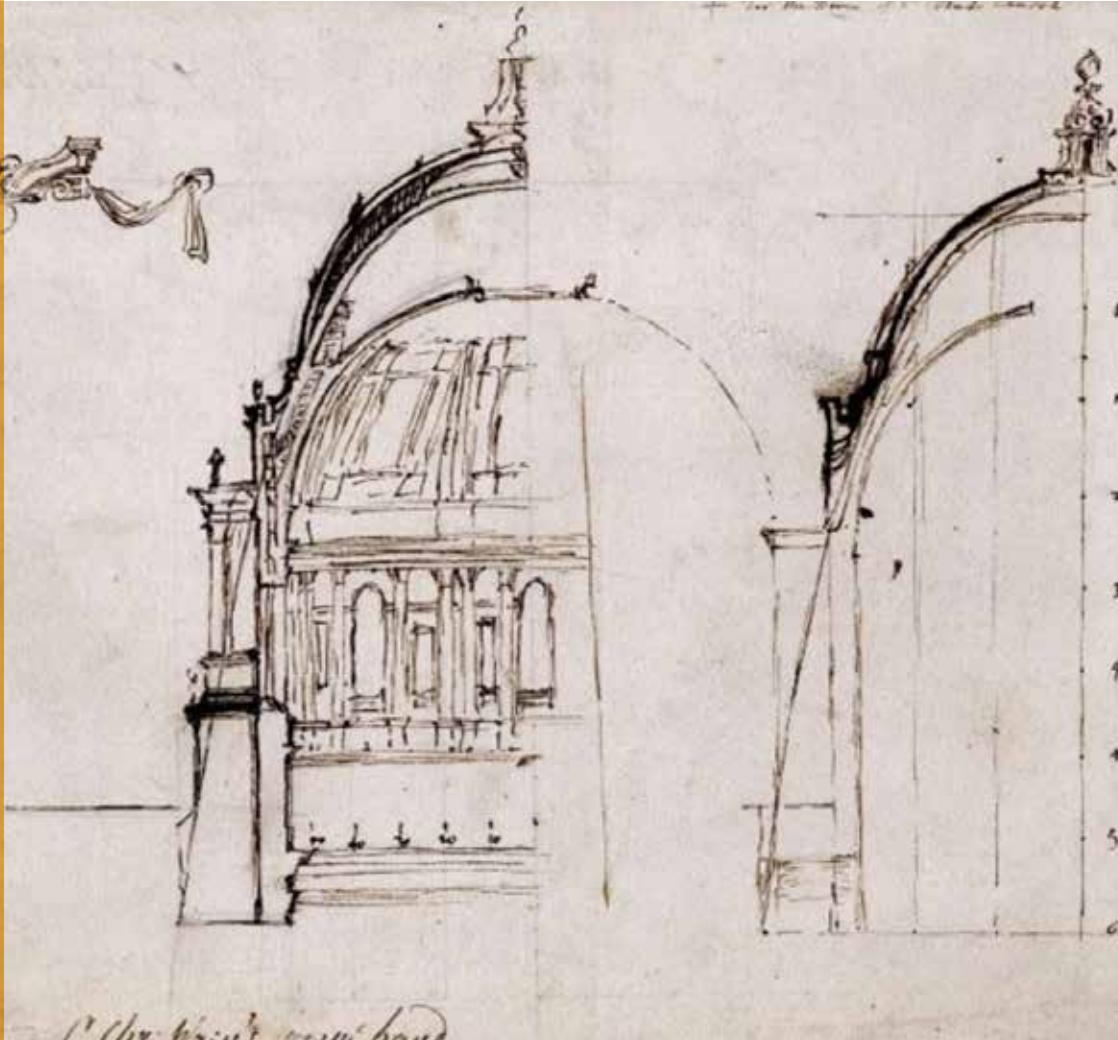


Figura 1. Croquis para el diseño de la cúpula de St. Paul, Londres por C. Wren. (c. 1690).

uso civil. Uno de los más importantes ingenieros-científicos de esta generación fue Charles-Augustin de Coulomb (1736-1806) quien publicó en 1773 un fundamental artículo de investigación en el cual abordó metódicamente los principales problemas de la ingeniería constructiva del siglo XVIII: la resistencia de las columnas, el empuje y la estabilidad de los arcos, la resistencia de las vigas, la resistencia de los suelos y el empuje de éstos hacia los muros de contención.

Para finales del siglo XVIII en la Escuela de Puentes y Caminos comienzan a enseñarse otras disciplinas distintas a las matemáticas y la mecánica, como fue el estudio de la química y las propiedades de los materiales constructivos como las mamposterías, la madera y el hierro. En 1794 la prestigiosa academia de ingeniería cambió su nombre a Escuela Politécnica, enfocada a establecer una armonía entre la teoría y la práctica, fomentando el desarrollo de la investigación en las áreas más trascendentes del conocimiento tecnológico de la época, incluyendo tópicos como la termodinámica y posteriormente el electromagnetismo. Tal modelo de formación profesional fue a su vez replicado en las

naciones más desarrolladas de Europa; siendo por estos mismos años que se fundaba en la Nueva España el Real Seminario de Minería, el cual a su vez constituyó la primera institución académica científica de nuestro continente.

LA REVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

A partir de la segunda mitad del siglo XVIII, en Inglaterra se inició la mayor transformación de las condiciones socioeconómicas, tecnológicas y culturales de la historia de la humanidad. La revolución industrial comenzó con la mecanización de la producción de textiles y el desarrollo de los procesos del hierro.

En 1779, el maestro herrero Abraham Darby III (1750-1789) construyó un modesto puente de 30 metros de claro diseñado por el arquitecto y decorador Farnolls Pritchard (1723-1777) en Coalbrookdale, Inglaterra. El icónico Iron Bridge es significativamente importante por ser la primera estructura construida totalmente en hierro. No es un ejemplo de la aplicación del estado del arte en ingeniería, ya que se utilizaron técnicas constructivas propias de los puentes de madera y mampostería de la época. Sin embar-

go, aún se mantiene conservado, gracias a lo cual contamos con un símbolo del inicio de la modernización en la historia de la arquitectura.

Existen otros ejemplos aislados del uso de hierro como material constructivo durante esa misma época, como las columnas y vigas que soportan el techo de la gran cocina en el Monasterio de Alcobaça, cerca de Lisboa; los anclajes y tensores metálicos que unen la portada de piedra del Panthéon en París, y las armaduras empíricas que sostienen la mansarda en la gran galería del Palacio del Louvre. Estas dos últimas obras ejecutadas por el arquitecto neoclásico Jacques-Germain Soufflot (1713-1780) se llevaron a cabo de igual manera, con muy limitado sustento científico (no obstante con gran éxito).

Sin embargo, la verdadera revolución de los sistemas constructivos surgió en el contexto de la industria textil británica. Las primeras máquinas de hilar seda fueron introducidas en 1722 a Inglaterra gracias a John Lombe (1693-1722), un espía industrial que copió la tecnología de los talleres textiles italianos en el Piamonte. Las máquinas eran impulsadas individualmente por molinos de tracción fluvial.

La aportación tecnológica de Lombe al sistema de producción fue utilizar una sola gran rueda hidráulica para mover varias maquinas a la vez, lo que requirió construir un edificio de varios niveles para colocar las enormes maquinarias unidas a un mismo eje motriz (Figura 2). Lombe murió joven (y acaudalado) ese mismo año, y sin llegar a saberlo había iniciado toda una revolución constructiva: durante los siguientes 150 años se edificaron miles de edificios similares en todas las localidades industriales de la Gran Bretaña.

Hasta 1790, la forma estándar de construcción de estas fábricas de múltiples niveles consistía en pisos y vigas de madera apoyados sobre muros perimetrales de mampostería, con columnas también de madera a cada 3 o 4 metros apuntalando las vigas de entrepiso. Para esta época era evidente que el sistema constructivo desarrollado para dichos edificios era extremadamente vulnerable al fuego.

Los incendios en las fábricas eran muy comunes debido al manejo de materiales como fibras de algodón y polvo de la harina, por las chispas que producían las máquinas metálicas o el uso del fuego para la iluminación y las

nuevas máquinas de vapor. Peor aún, el uso de columnas de madera al interior en lugar de muros de carga de mampostería, aumentaba el riesgo de un colapso progresivo del edificio entero en el caso de que tan sólo un elemento fallara por fuego.

En 1793 William Strutt (1753-1830) –otro ingenioso empresario textil– diseñó el primer sistema constructivo exitoso resistente a incendios para edificios industriales, consistiendo en series de pequeños arcos de ladrillos (o bovedillas), soportados por vigas de madera que a su vez se apoyaban en columnas sólidas de hierro colado; las vigas estaban recubiertas en su parte inferior por una capa de argamasa para protegerse del fuego.

Alrededor de 1805, después de una década en la evolución de los sistemas a prueba de fuego, ocurrieron varios cambios importantes en la construcción: el hierro colado reemplazó a la madera en columnas y vigas; se probaron distintas secciones para los elementos con la finalidad de reducir la cantidad de hierro utilizada, y se crearon vigas para cubrir claros individuales, sustituyendo a aquellas vigas continuas que cubrían varios claros.

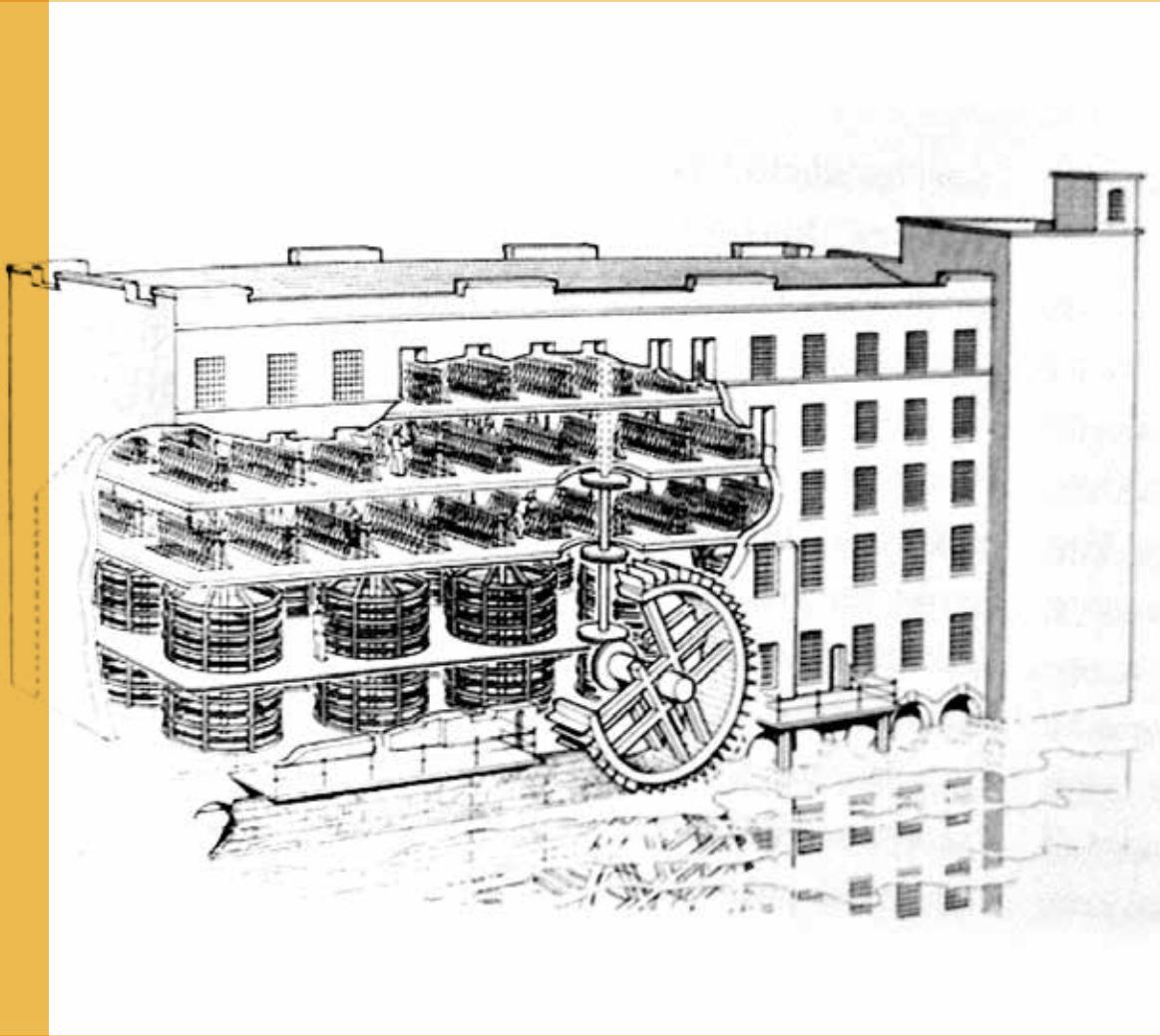


Figura 2. Configuración típica de una fábrica textil británica del siglo XVIII.
(Addis, 2007)

El desarrollo en el uso del hierro colado estableció la pauta para la construcción de edificios industriales durante gran parte del siglo XIX. Las principales razones por las que el hierro colado predominó sobre el forjado fueron su alta resistencia a la compresión, así como su economía de manufactura y producción en serie.

El hierro forjado, sin embargo posee una capacidad muy superior a resistir fuerzas de tracción, por lo que su gran resistencia y versatilidad fue rápidamente descubierta y aprovechada, especialmente para estructuras de cubierta ligeras y arquitectónicamente complejas. A partir de 1840 el hierro colado fue sustituido gradualmente por hierro forjado como el material constructivo de vanguardia.

La primera mitad del siglo XIX fue probablemente el periodo más significativo de la historia de la ingeniería. Fue en esta época que los ingenieros constructores aprendieron a dar un uso práctico a los modelos aparentemente abstractos de estabilidad estructural desarrollados por los científicos. Uno de los ejemplos más sobresalientes de este proceso fue el desarrollo de la armadura (o cercha) estáticamente determinada.

A manera de explicación: una estructura estáticamente determinada (o isostática) es aquella cuya magnitud de fuerzas actuantes depende únicamente de la forma en que los componentes estructurales se encuentran colocados y puede ser calculada de forma relativamente sencilla utilizando mecánica estática (simples ecuaciones de equilibrio). Estas fuerzas no dependen de las propiedades de los materiales de los cuales está hecha la estructura. Opuestamente, el cálculo de una estructura indeterminada (o hiperestática) no puede lograrse sólo considerando el equilibrio de fuerzas, sino que deben tomarse en cuenta también las propiedades elásticas de los materiales y las condiciones mecánicas de los apoyos y conexiones.

Una forma tangible de entender la diferencia entre una estructura isostática de una hiperestática es que las primeras no aceptan la excepción o falla de ninguno de sus elementos ya que se produciría un colapso total; las segundas, en cambio, pueden sufrir modificaciones o fallos de alguno o varios de sus elementos y permanecer estables, dado que la configuración de sus fuerzas sería inmediatamente redistribuida entre los elementos re-

dundantes, por lo cual las estructuras hiperestáticas son capaces –en principio– de resistir mayores exigencias. Sin embargo, dependiendo el grado de indeterminación estática (o redundancia de componentes y conexiones), el análisis de este tipo de estructuras puede llegar a ser demasiado complejo e incluso impredecible la potencialidad de un colapso.

Si bien la seguridad estructural ha sido el objetivo principal del desarrollo histórico de los sistemas constructivos, una de las mayores ventajas que representa para los constructores la posibilidad de conocer con precisión el comportamiento de una estructura, ha sido sin duda la económica. A partir de 1820, ingenieros de Alemania, Francia, Rusia e Inglaterra buscaron racionalizar la forma de construir grandes cubiertas a base de armaduras utilizando la mínima cantidad de hierro. Algunos de ellos, entre los que destaca Camille Polonceau (1813-1859), desarrollaron modelos matemáticos que concluyeron en la construcción de armaduras isostáticas a base triángulos y uniones articuladas que minimizaban las flexiones en los elementos, actuando en ellos tan sólo fuerzas axiales de tracción y compresión.

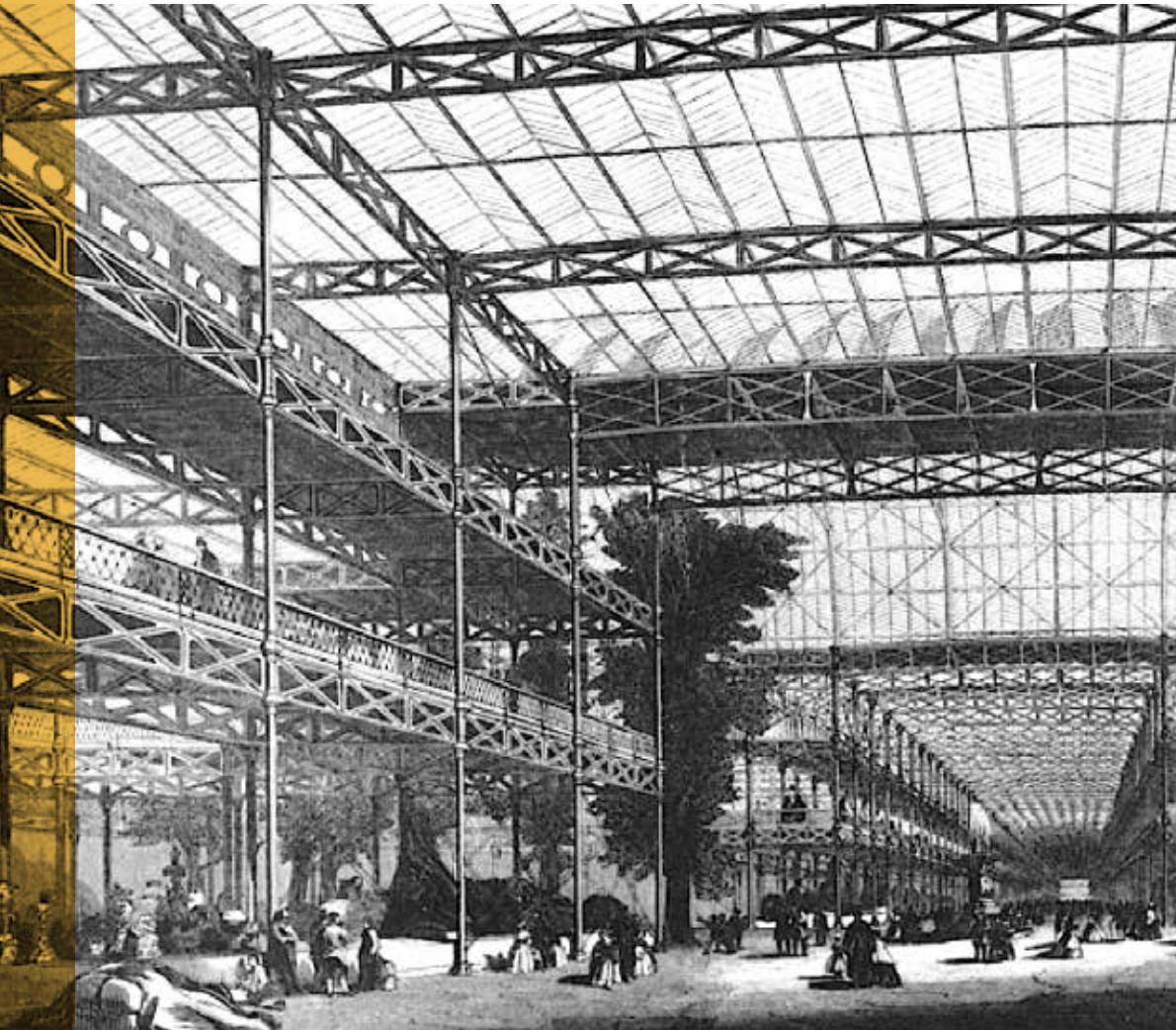


Figura 3. Vista interior del Palacio de Cristal en Londres, de J. Paxton. c. 1851.

El uso de las ligeras cerchas racionalmente optimizadas se popularizó entre los constructores gracias a los aportes de matemáticos como James Clerk Maxwell (1831- 1879) y Karl Cullmann (1821-1881), entre otros, quienes simplificaron el procedimiento de análisis de estructuras desarrollando elocuentes procedimientos para calcular las fuerzas axiales actuantes en cada elemento estructural por medio del trazo de figuras geométricas recíprocas. A este método se le conoce como estática gráfica y por su relativa simpleza fue ampliamente utilizado por los ingenieros a partir de 1860 para el diseño de incontables estructuras de grandes claros como puentes, almacenes, mercados y estaciones ferroviarias, por mencionar algunos.

En 1850, el paisajista y experto en invernaderos Joseph Paxton (1803-1865) iniciaba la construcción del Palacio de Cristal en Hyde Park, Londres para la primera “Gran Exhibición Industrial” de 1851 (Figura 3). El pabellón, de 580 m de largo por 137 de ancho y 34 de altura, fue la primera estructura prefabricada de hierro y vidrio, y una de las construcciones clave para el desarrollo del sistema constructivo a base de marcos (o pórticos) espaciales con uniones rígidas entre cerchas y columnas en las tres direcciones (x, y, z).

La innovadora configuración estructural permitió el desarrollo de edificios de múltiples niveles con estructura de “esqueleto” metálico que prescindían de muros exteriores de carga, dado que las uniones rígidas proporcionaban la estabilidad lateral necesaria. Una idea que posteriormente impulsaría mayores posibilidades constructivas (rapidez, economía, altura); sin embargo, antes de ganar suficiente popularidad entre los constructores, el sistema de marcos rígidos supuso un nuevo reto para los teóricos estructurales, quienes debieron desarrollar métodos prácticos para encontrar soluciones aproximadas al complejo comportamiento hiperestático.

LOS ORÍGENES DEL EDIFICIO MODERNO

Consecuencia del auge industrial, durante la segunda mitad del siglo XIX los centros de población comenzaron un crecimiento sin precedente, mientras que las sociedades urbanas se volvieron cada vez más complejas y dinámicas. Surgieron las ciudades modernas con edificios de oficinas y el uso del transporte urbano abrió oportunidades comerciales para lugares de entretenimiento masivo, como las exposiciones, los museos, los teatros y las salas de conciertos.

La modernidad constructiva trascendió del ámbito industrial y productivo, hacia el bienestar humano. Los crecientes requerimientos de vivienda, infraestructura y equipamiento urbano impulsaron el desarrollo de sistemas constructivos cada vez más versátiles, prácticos y económicos. Quizá el más importante progreso tecnológico constructivo de este periodo fue el desarrollo del concreto reforzado (igualmente llamado hormigón armado); en la actualidad su uso a nivel mundial es considerablemente mayor que el de cualquier otro material de edificación, principalmente debido a su bajo costo y excepcional resistencia.

Los orígenes del concreto se remontan a los antiguos romanos, quienes utilizaron una mezcla de arcilla volcánica (puzolana), cal y agregados de piedra pómez para producir un concreto que fraguaba con la adición de agua, y en estado sólido era resistente a ésta misma. El sistema, llamado *opus caementitium*, fue utilizado ampliamente en la construcción de muros, arcos, bóvedas y cúpulas que han persistido hasta nuestros días sin contar con refuerzo alguno. Por razones aún no totalmente esclarecidas, esta tecnología fue prácticamente olvidada durante más de un milenio.

En 1824 Joseph Aspdin (1778-1855), un maestro de obra británico, patentó un proceso químico para la fabricación de un cemento cuya apariencia era similar a la cantera de la isla de Portland (Dorset, Inglaterra). La producción del cemento Portland implica la sinterización de una mezcla de arcilla y piedra caliza aproximadamente a 1400° C. El producto obtenido, llamado Clinker, se muele hasta obtener un polvo fino que posteriormente debe ser mezclado con agua, arena y grava para producir un concreto con cualidades de fraguado hidráulico muy similares al concreto romano.

En sus inicios, el concreto de cemento Portland tuvo muchas limitaciones en su efectividad como sistema constructivo. El principal problema que presentó fue que, a pesar de ser un material versátil y resistente cuando es sometido a compresión, su resistencia es prácticamente nula ante esfuerzos de tracción y cortante, por lo que su uso se restringía a sustituir a la mampostería en elementos de apoyo. Aun así, entre 1830 y 1870 se construyeron miles de casas de concreto sin refuerzo en Francia y Gran Bretaña.

Debieron transcurrir algunas décadas antes de que detonara el verdadero potencial de este revolucionario material

constructivo. En 1844, Joseph Louis Lambot (1814-1887) patentó el uso de varillas de hierro en el concreto para fabricar tanques y recipientes impermeables; Lambot incluso llegó a construir una pequeña embarcación con este mismo sistema. Sin embargo, no fue sino hasta 1855 que François Coignet (1814-1888) construyó los primeros elementos de concreto reforzados por vigas de hierro, aprovechando la gran resistencia a la tracción que aporta el metal al sistema constructivo.

En 1878 un emprendedor jardinero francés, Joseph Monier (1823–1906), patentó los primeros elementos estructurales de concreto reforzados con barras de hierro, por lo cual se le ha reconocido como el padre de este sistema constructivo. No obstante, el criterio de diseño de Monier fue muy empírico, pues la distribución del refuerzo no llegaba a ser coherente con los esfuerzos que la estructura debía soportar. En todo caso, fue el sistema de edificación de concreto reforzado patentado en 1892 por el constructor François Hennébiq (1842-1921) el que logra el verdadero éxito comercial a nivel mundial (Figura 4). Dicho sistema fue introducido a México por el ingeniero Miguel

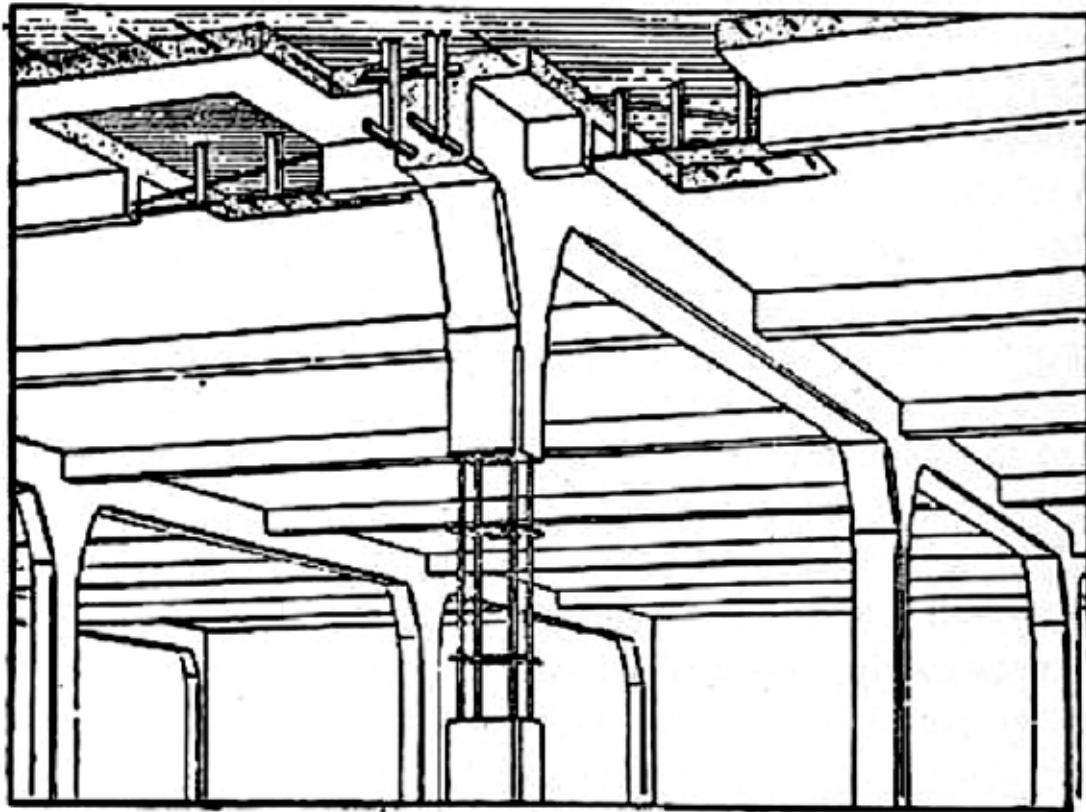


Figura 4. Sistema de construcción Hennélique en concreto reforzado. c. 1900)

Rebolledo (1868-1962) en 1902, siendo pocas las estructuras que actualmente se conocen sobrevivientes de aquella época. Entre éstas, la más destacada es la parroquia de la Sagrada Familia, edificada en 1910 en la Colonia Roma de la Ciudad de México.

A la par de la evolución del concreto y del redescubrimiento de sus posibilidades constructivas, los sistemas de edificación precedentes continuaron su desarrollo. Para finales del siglo XIX los incendios permanecían siendo la mayor causa de muertes y daño en los edificios. Mientras la industria de la construcción se expandía en Europa y América, el número de patentes de sistemas de entrepiso “a prueba de fuego” proliferaba; la mayoría de estos sistemas eran desarrollados por contratistas por la simple razón de evitar pagar el uso de alguna otra patente, pero en principio casi todos fueron muy similares.

Uno de los sistemas resistentes al fuego que realmente destacó por su gran versatilidad, economía y excepcional valor estético, fue el desarrollado en Estados Unidos por el arquitecto catalán Rafael Guastavino (1842-1908) en los años 1880. El sistema de “construcción cohesiva” de Guas-



Figura 5. Construcción de bóvedas para la Boston Public Library, por R. Guastavino. 1889)

tavino fue una adaptación de las tradicionales bóvedas tabicadas (o catalanas) que se han construido por siglos en algunos países mediterráneos, consistente en capas de losetas de ladrillo colocadas sin cimbra alguna, mediante el uso de morteros de fraguado rápido (Figura 5). El sistema tuvo gran éxito: sólo en Nueva York, la Guastavino Company participó en alrededor de 240 obras entre 1889 y 1935, construyendo bóvedas tabicadas que llegaron a cubrir claros libres hasta de 45 m con espesores mínimos de 10 cm.

Invariablemente, el fuego se mantuvo como protagonista en la historia de la evolución constructiva. En octubre de 1871 un terrible incendio arrasó con el centro de la ciudad de Chicago, destruyendo alrededor de 18,000 edificios y dejando unas 100,000 personas sin hogar. Cuando finalizó la Guerra Civil estadounidense (1861-1865), se produjo en la ciudad una gran demanda de edificios de todo tipo, pero especialmente para uso comercial y de oficinas. Esta demanda creó una enorme presión por construir cada vez más barato y rápidamente de lo que era posible con mampostería tradicional, a la vez que se

creara la posibilidad de generar mayores rendimientos financieros para los inversores del capital inmobiliario.

Fue necesario entonces maximizar el espacio útil rentable en planta; esto se logró aumentando el número de niveles de los edificios, disminuyendo la proporción del espacio que ocupaban los gruesos muros de carga, e incrementando el tamaño de las ventanas para permitir la iluminación natural a una mayor profundidad interior. La solución estructural idónea fueron los marcos rígidos (o esqueletos) metálicos, similares a los utilizados previamente para las exposiciones industriales.

En 1885 se construyó en Chicago el primer “rascacielos”: el Home Insurance Building, diseñado por el arquitecto William LeBaron Jenney (1832-1907), contaba con 12 niveles alcanzados en 55 metros de altura. Fue también el primer edificio en que se utilizaron viguetas de acero rolado, aunque predominaban los elementos estructurales de hierro. Rápidamente proliferaron inmuebles similares en las mayores ciudades de los Estados Unidos, mientras se desarrollaban modernas tecnologías que permitían construir edificios cada vez más altos sin perder funcionalidad

(entre éstas: ascensores, acondicionamiento ambiental, iluminación eléctrica, etcétera). Al innovador estilo arquitectónico se le conoce como Escuela de Chicago y representa para la historia constructiva el surgimiento definitivo del edificio moderno en las inmediaciones del siglo xx. (Figura 6).

El remplazo del hierro forjado por acero estructural se llevo a cabo paulatinamente. La mayor ventaja del acero fue su menor costo de producción comparado con el hierro, por lo que fue utilizado al principio (c. 1860) en la producción de rieles para la industria ferroviaria. Sin embargo el acero tiene la desventaja de oxidarse más rápidamente que el hierro por lo que no fue aceptado de inmediato por los constructores. Conforme fue mejorando la calidad en la producción, el acero ganó aceptación debido a sus propiedades estructurales, principalmente su mayor resistencia, ductilidad y facilidad para soldar. En 1890 se erigió en Chicago el Rand McNally Building, el primer edificio con estructura totalmente de acero. A partir del éxito de esta obra, el uso del hierro como material estructural fue desplazado en pocos años.



Figura 6. El New York Life Insurance Building en Chicago, de W. L. Jenney. 1894/1900)

REFLEXIÓN FINAL

El objetivo principal de este texto ha sido abordar el contexto histórico dentro del cual se desarrollarán los temas del presente Seminario de Sistemas Constructivos con Metales organizado por un comprometido grupo académico de la ENCRYM del cual surgió un genuino interés por participar en el conocimiento de los procesos de deterioro y conservación de los metales utilizados en el patrimonio construido.

Compartiendo dicha motivación, apporto mi personal interés por los temas de ingeniería aplicados a la conservación de las estructuras históricas, para sumarme a una extensa invitación hacia nuestra comunidad académica a involucrarnos en el estudio de los sistemas constructivos modernos.

Somos bastantes los que coincidiremos en que debemos empezar a observar y entender cómo se desarrollan los mecanismos de deterioro en los edificios modernos y contemporáneos, ya que estos formarán un reto cada vez mayor para los profesionales de la conservación, en quienes recaerá inminentemente la competencia y responsabili-

dad de preservar estos inmuebles, que a la fecha podemos considerar parte de la arquitectura vigente, pero que sin duda un gran número de ellos permanecerá como un legado de nuestro tiempo hacia la posteridad.

FUENTES CONSULTADAS

- Addis, B. 2007. *Building: 3000 years of design engineering and construction*. London, New York: Phaidon Press.
- Gordon, J. E. 1978. *Structures, or why things don't fall down*. Boston: Da Capo Press.
- Hart-Davis, A. (Ed.). 2012. *“Engineers. From the great pyramids to the pioneers of space travel”*. London: Dorling Kindersley Ltd.
- Heyman, J. 2004. *Análisis de estructuras, un estudio histórico*. Madrid: Instituto Juan de la Herrera.
- Heyman, J. 2007. *La ciencia de las estructuras*. Madrid: Instituto Juan de la Herrera.
- Torroja Miret, E. 2007 *Razón y ser de los tipos estructurales*. Madrid: Editorial CSIC.

REFERENCIAS

- Coulomb, Ch. 1776. “Essai sur une application des regles de maxims et minims à quelques problèmes de statique, relatifs a l'architecture”. París: Académie Royale des Sciences.
- Culmann, K. 1866. “Die graphische Statik”. Zurich: Meyer & Seller.
- Galilei, G. [1638] 2011. “Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze”. Verona: Cierre-Simeoni.

- Hooke, R. [1676] “A description of helioscopes, and some other instruments”. Biblioteca Nacional de Austria. Viena. Digitalizado en 2012
- Newton, I. [1687] 1993. “Principios matemáticos de la Filosofía natural”. Grandes Obras del Pensamiento, 21. Barcelona : Ediciones Altaya.
- Poleni, G. [1748] 1991. “Memorie istoriche della Gran Cupola del Tempio Vaticano”. Roma: Edizioni Kappa.

CARLOS FLORES ESPINO

Ingeniero Civil por el ITESM Campus Monterrey, Maestro en Ciencias en Análisis Estructural de Monumentos y Construcciones Históricas por la Universidad de Padua, Italia y la Universidad del Minho en Portugal. Asimismo es egresado de la Maestría en Arquitectura con Especialidad en Restauración de Monumentos de la ENCRYM. Su experiencia se ha desarrollado en los campos del diseño estructural y la conservación del patrimonio edificado, participando en diversos proyectos de conservación arqueológica. Desde 2008 imparte clases de sistemas constructivos en la Licenciatura en Restauración de la ENCRYM.