

El hormigón armado.

Ya desde mediados del siglo XIX se realizaron algunas obras con hormigón armado. Al principio eran elementos parciales como terrazas¹, y macetas jardineras (Monier 1849) o hasta barcos (Lambot 1848). El primer forjado de vigueta metálica y placa armada, lo construyó Ward en 1875 y el mismo Monier patenta la primera viga en 1878. Hennebique edificó en 1900 el primer edificio construido completamente con hormigón armado: muros forjados y escaleras. Aunque es más conocido el edificio que construyó, en 1903, Auguste Perret en la calle Franklin de París con estructura de hormigón armado o el garaje Ponthieu de 1905.

A partir de entonces se suceden los proyectos de puentes, chimeneas, depósitos y edificios. Pero quizá lo más significativo de la construcción en hormigón fue que tendría siempre el soporte de una intensa investigación de nuevas técnicas y sistemas que mejoraban aspectos parciales y complementarios: desde la formación de los sistemas auxiliares de encofrado hasta la composición química del propio material.

La ciencia de la construcción estuvo también aportando avances en los métodos de cálculo de la estabilidad de los edificios. Y en este terreno el uso de computadoras representó un gran salto adelante desde mediados del siglo XX.

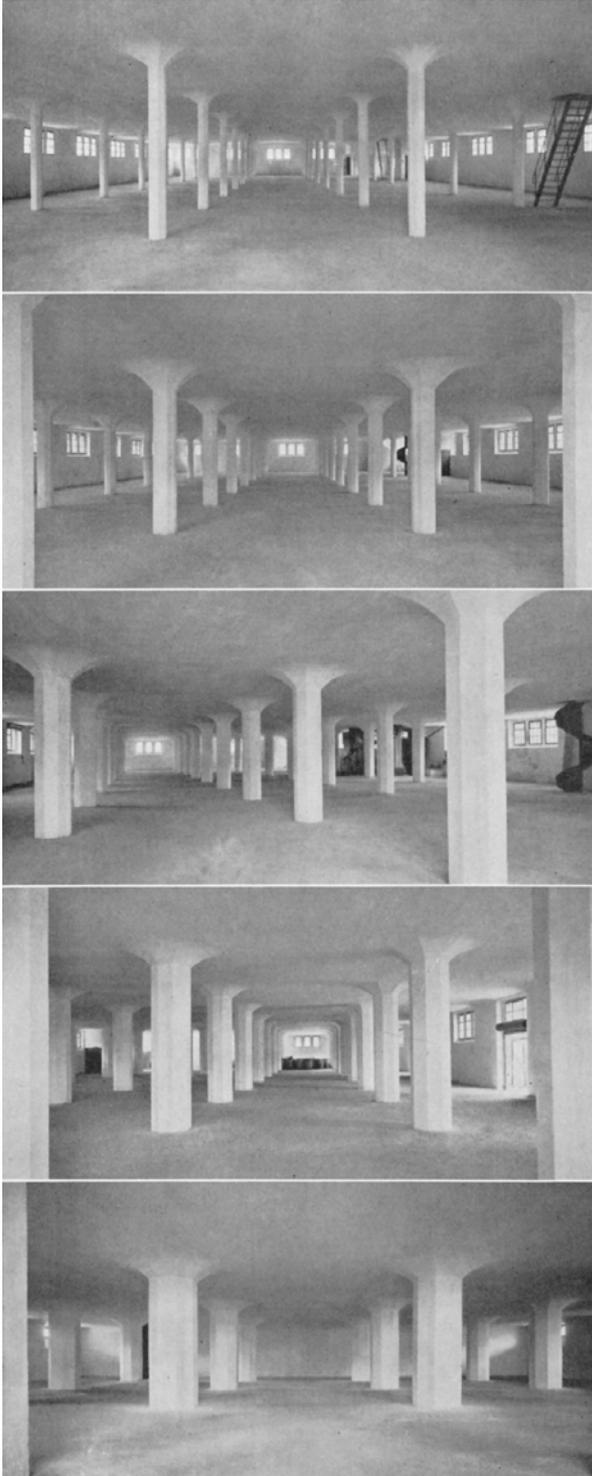
La apuesta de estos pioneros por todo un sistema constructivo y el empuje de los avances técnicos y científicos, hizo que en muy poco tiempo se hicieran grandes progresos. Nombres como Freyssinet, Maillart, Boussiron, Le Corbusier, Eduardo Torroja o Frank Lloyd Whright irán alternándose en el candelero de los primeros en hacer una propuesta o en construir una novedad técnica: la primera cúpula, el primer encofrado con apertura en la clave, la primera casa prefabricada, la primera lámina plegada o el primer rascacielos, sistemas nuevos de encofrado, desencofrado, armado u hormigonado².

Las dos primeras décadas del siglo XX fueron un tiempo de búsqueda, de innovación, de estudio y prueba. En los años veinte, treinta y cuarenta aparecieron construcciones interesantes que junto con una solución ajustada al cálculo y al coste, tenían una innegable elegancia. Sobre todo las construcciones laminares de los años 40 y 50 que redujeron a hojas las bóvedas de las cubiertas.

¹En 1852, Coignet construye el primer encofrado para una terraza en Saint Denis a base de hormigón en masa reforzado con perfiles metálicos. Según Fernando Cassinello Pérez en su libro *Hormigonería*. Editorial Rueda, Madrid 1996. Del Instituto Juan de Herrera.

²CASSINELLO PÉREZ, Fernando: *Hormigonería* Editorial Rueda, Madrid 1996. Del Instituto Juan de Herrera.

La continuidad y el monolitismo de las formas del hormigón



Una aportación que es especialmente interesante en lo que se sucederá para el diseño de las formas construidas es la continuidad entre elementos distintos del edificio. Desde que Maillart creó el forjado fungiforme en 1908, que anulaba los ángulos aristados entre el fuste de las columnas y el plano del forjado, se inicia un camino que tendrá gran implicación en el diseño de las forma construidas.

La continuidad está en concordancia con el sistema portante. Las estructuras monolíticas hiperestáticas permiten reducir grosores en los forjados porque los nudos de las estructuras de barras provocan una transmisión de esfuerzos entre vigas i pilares. Esta característica será un gran estímulo para que aparezcan propuestas con diseños ricos en superficies curvas que resuelvan la continuidad entre arco y pilar. Si la columna es la técnica y el arco es el arte³, el hormigón armado integra en un solo elemento las dos componentes de la arquitectura, una vez superada la separación formal y casi ideológica del Movimiento Moderno, entre pilotis y forjado. Para Nervi la ventaja más destacable del hormigón armado es el monolitismo que puede tener un edificio construido con esa técnica.

La propiedad más característica de las estructuras de hormigón armado es el monolitismo y es también de donde pueden nacer sus más brillantes y específicas soluciones estáticas.⁴

Edificio de cinco plantas donde se utilizó el forjado fungiforme de Maillart.

³Torroja, Eduardo: *Razón y ser de los tipos estructurales*. Instituto Eduardo Torroja. Madrid 1976. Pág. 101 (4ª edición)

⁴NERVI, Pier Luigi; *Costruire Coerrettamente. Caratteristiche e possibilità delle strutture cementizie armate*. Editore Ulrico Hoepli. Milano 1965. Pág. 17 (segunda edición). La traducción es mía.

Nuevas tipologías estructurales

Con los sistemas constructivos de piedra y cerámica, las estructuras debían seguir necesariamente la trayectoria de las resultantes del peso para asegurar la estabilidad. En la época del hierro la tracción se pudo incorporar a la construcción en elementos lineales superando las dimensiones de la madera. La técnica del hormigón permitiría la flexión en elementos superficiales.

Quizá fuera la estrecha colaboración que se dio en la época entre arquitectos e ingenieros de la construcción lo que favoreciera el uso de superficies cuya geometría permitiera comprender los cálculos estructurales, como también es cierto que las dimensiones de las obras (propias de edificios de equipamiento con grandes salas de reuniones, palacios de congresos, pabellones de deportes, sedes de instituciones internacionales..) obligaban a racionalizar la construcción, haciendo a veces más importantes los procesos constructivos -como los encofrados o la prefabricación en serie- que el propio resultado final. La geometría posibilitó construir edificios-artefactos que serían extraordinarios o curiosos alardes de equilibrio para el usuario.

Así, obras que no son más que una concha autoportante apoyada en tres o dos o incluso un punto; o extensas superficies que cubrían grandes áreas sin apoyos intermedios con ligerísimas losas; o insensatos voladizos que parecían llevar escrito "más difícil todavía" fueron posibles por la audacia de los arquitectos pero también por la aportación de las ingenierías, las empresas constructoras, los avances en el cálculo estructural y el empeño económico de los clientes (en muchos casos entidades públicas).



Auditorio del Instituto de Tecnología en Massachussets (Eero Saarinen). Marquesina en voladizo de una escuela en Cataguazes, Brasil (Oscar Niemeyer).

Pero lo más decisivo en cuanto a la irrupción del hormigón armado en el panorama arquitectónico fue que el avance en varios frentes se produjo de una manera simultánea. Por un lado los adelantos de la ciencia con nuevos métodos de cálculo y especialmente con nuevas máquinas como los computadores; por otro lado la constante investigación en los componentes químicos del material -cementos, aditivos y áridos- la sucesión imparable de patentes de nuevos métodos o elementos colaborantes o auxiliares del sistema como encofrados, desencofrantes, camiones hormigoneras, y las mejoras en la industria auxiliar en general como talleres de prefabricación.

Todo se puso al servicio de poder experimentar nuevas posibilidades con planteamientos estructurales nuevos. No se puede tampoco olvidar que esto ocurre en un momento en que los clientes potenciales de este tipo de encargo apuestan por lo novedoso, como una manera de acercarse al futuro. La voluntad de compartir la

aventura de nuevas propuestas con los técnicos haría posible que las propuestas más imaginativas se hicieran realidad.

La arquitectura de los años cincuenta ni siquiera se asocia con ese material de manera inmediata y exclusiva. En esa época aparecen edificios prismáticos, de estuco y cristal, de estructuras metálicas que entroncan con su tiempo y lo caracterizan incluso. Sin embargo si se piensa al revés, si se intenta situar la arquitectura del hormigón armado parece que ese período es lo más parecido a su mejor momento.

Ludovico Quaroni sitúa sintéticamente lo que el hormigón ha supuesto en la evolución de la arquitectura como material y como medio expresivo:

..., el aspecto tosco del hormigón no revocado, no tratado, pudo expresar mejor que cualquier otro material la angustia del hombre moderno ... (...)

Terminada la guerra vuelve la estructura vista, con Perret, (...), y posteriormente con Le Corbusier, que robustece y refuerza su línea, (...), trazando el camino a todos sus seguidores, buenos y malos: desde Kenzo Tange a Oscar Niemeyer y Félix Candela, mientras que Maillart, Nervi y Morandi parten solos para conducirnos a la cruda potencia de los pilares de los viaductos de las autopistas o la elegancia de los prefabricados de Mangiarotti.

El hormigón a la vista trata de rescatar ciertos valores de masa y de muralla, ciertos juegos de luces toscas y de sombras profundas que habían quedado atrás en la prehistoria. Las posibilidades plásticas de este material son infinitas, porque es posible producirlo en componentes simples, como paneles paredes o paneles de cobertura, como pilastras o pilotes, como parasoles: pero también es posible echarlo en moldes de cualquier forma y dimensión. (...)

Al contrario que el hierro, que goza de la explicitación de los comportamientos estructurales, (...), el hormigón armado (...) pretende ser el único en caracterizar, en su sustancia táctil, las construcciones modernas: y esta ruda fascinación sirve mejor que el hierro para caracterizar la pesadumbre de la situación actual, los impedimentos para hallar una solución elegante de los problemas, la poca confianza en nosotros mismos, en nuestra civilización, en la misma cultura tecnológica que lo ha creado. La falta de refinamientos, el rechazo del acabado, de los revoques y de las decoraciones que no broten de lo vivo del molde caracterizan, después de tanta esterilización racionalista, el grueso de la edificación de esta última posguerra, en la que la crisis de la civilización burguesa debe ajustar cuentas con las poquísimas esperanzas de un futuro mejor.⁵

Estos dos últimos párrafos resumen, escuetamente y con gran precisión, lo que representó el material en esa época. También de la cita se desprende que las circunstancias del momento favorecieron un tiempo de “esplendor” para el material.

Junto a esa componente psicológica del estado de ánimo cultural de la gente se dieron las condiciones para que se pudiera no sólo proyectar en el tablero, sino construir esa arquitectura. Los encargos por parte de instituciones públicas, entes internacionales de nueva creación, sedes de asociaciones y la retahíla de grandes

⁵Quaroni, Ludovico: *Proyectar un edificio ocho lecciones de arquitectura*. Madrid, Xarait ediciones, 1980; pp.121 a 128.

empresas privadas, que las buenas perspectivas mundiales favorecen, abundaron en ese tiempo de recuperación económica y anímica.⁶

Es en ese momento, al final de la primera mitad del siglo XX, que el uso del hormigón armado se transforma en cierto modo. Si primero se usó el hormigón como refuerzo escondido de la piedra, luego como sustituto o sucedáneo de la madera y el hierro (con las estructuras de barras que posibilitaron su uso generalizado), en ese tiempo se asumió por fin, en la concepción formal de la arquitectura, que el hormigón podía ofrecer su propio proceso de elaboración. Siempre se había construido en hormigón siguiendo la secuencia propia del material: una mezcla de áridos y aglomerante vertida en un recipiente donde antes se han colocado unos refuerzos metálicos de manera que resuelvan las posibles tensiones. Cuando por fin se comprende que ese recipiente es molde, se incorpora una visión escultórica (en cuanto al proceso) del posible resultado formal.

Por su parte el problema estructural se concentra en los nudos, en los enlaces. Aparecen maneras distintas de afrontar el cálculo estructural que implican tomar los elementos superficiales como estructurales. Ya no son sólo las barras y cables, que se pueden asimilar matemáticamente a un elemento lineal, o los arcos que se pueden analizar en el mismo plano en que se plantean los esfuerzos. Los elementos arquitectónicos superficiales deben calcularse como caparazones que responden a las sollicitaciones de manera conjunta y se debe estudiar la trayectoria que las tensiones siguen por ellas para apurar el cálculo hasta donde se pueda. Los apoyos y las articulaciones pasan a ser empotramientos, de modo que las tensiones se reparten por todo el esqueleto contribuyendo a un monolitismo general para todo el edificio. La posibilidad de este empotramiento en los nudos permitió fusionar la viga al pilar y pensarlos a la vez. Se iba configurando una “nueva” arquitectura para un “nuevo” material, una arquitectura que permitiría formar conchas, cáscaras, esbeltas estructuras con continuidad real entre pilares y vigas, concavidades y convexidades y una plástica de la línea curva y las superficies continuas que ofrecía una nueva expresividad.

Este cambio en la concepción de la arquitectura de la mano del cambio en los procesos de construcción y el tipo de cliente favorece una madurez del proyecto en hormigón.

El inevitable paralelismo entre esta arquitectura y la que se produjera de la mano de la piedra obliga a una reflexión. Por un lado, es cierto que los edificios de hormigón “rescatan (según Quaroni) ciertos valores de masa y muralla y ciertos juegos de luces toscas y sombras profundas”; pero sólo eso. No reviven todos los conceptos arquitectónicos que subyacen en la arquitectura de piedra, en lo que atañe a la construcción y a los principios estructurales, ni siquiera a los diversos conceptos espaciales que el Románico y el Renacimiento construyen en piedra.



Vista cenital de la capilla de los Reyes en Santo Domingo. Interior del restaurante Los manantiales en México.

⁶Casos como la ONU (1945), UNESCO (1946), UNICEF (1946), OIT (1946), Consejo de Europa (1949), CARITAS (1950) son algunas de las organizaciones que se crearon en los años de posguerra y cuya consolidación se plasmó en la construcción de sus sedes en diferentes ciudades del mundo occidental.

No se trata sólo de un nuevo material para un “revival” arquitectónico, con la facilidad de formar las piedras en fábrica (lo que ha ocurrido con la llamada piedra artificial), sino de una nueva posibilidad plástica que permite a la modernidad dar otro uso a aquellas formas curvas que, resolviendo problemas estructurales, adquirieron una gran carga simbólica y una gran potencia espacial.

También desde la llamada “piedra artificial” se pudo haber llegado, en la lógica evolución técnica, a lo mismo; puesto que la posibilidad de formar “sillares” artificiales, en taller, está en el arranque de la prefabricación que acompañó a la arquitectura del hormigón armado. Sin embargo el interés que tiene hablar de una arquitectura de hormigón situada en el centro del siglo veinte, radica en la capacidad de la producción de obras que ofrecieron un referente arquitectónico, y por tanto artístico, a su tiempo. En este sentido hay que entender que el interés de la prefabricación no está en la posibilidad de fabricar sillares con la forma deseada, sino de estructurar el propio proceso de ejecución a través del diseño de formas descomponibles en fragmentos que se acoplan, como procedimiento alternativo al vertido “in situ”.