

“EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADOS A BASE DE ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN”

Christian Escrig Pérez

Ingeniero Industrial

Departamento de Resistencia de Materiales y Estructuras a la Ingeniería

Tlf. 93.739.87.22. e-mail: christian.escrig@upc.edu

Resumen: Este análisis de la evolución de la construcción industrializada realiza una visión global de las tendencias de los sistemas de construcción, así como una imagen del estado actual y un diagnóstico de los hitos a alcanzar en un futuro a medio plazo.

Palabras clave: construcción industrializada, prefabricados de hormigón, evolución histórica, objetivos futuros.

1. Introducción

El presente documento tiene como objetivo realizar un análisis global de la evolución de los sistemas de construcción industrializada, también conocida por prefabricación, a lo largo de la historia, así como una visión actual de esta tecnología aplicada a elementos de hormigón y los retos que plantea para un futuro inmediato.

Por otro lado, dado el contexto actual de crisis económica que afecta principalmente al sector de la edificación, se ha creído conveniente realizar un diagnóstico crítico de los aspectos positivos y negativos que ofrece la prefabricación respecto a la construcción convencional.

Por último, el autor ha querido mostrar tres ejemplos singulares de la aplicación de esta tecnología de construcción en el ámbito de la edificación residencial. Estos ejemplos representan los primeros pasos hacia una construcción más eficiente, rápida y menos agresiva para el medio ambiente.

2. ¿Qué es la construcción industrializada?

Se conoce como construcción industrializada al sistema constructivo basado en el diseño de producción mecanizado de componentes y subsistemas elaborados en serie que, tras una fase de montaje, conforman todo o una parte de un edificio o construcción. En un edificio prefabricado, las operaciones en la obra son esencialmente de montaje y no de elaboración.

El grado de prefabricación de un edificio se puede valorar según la cantidad de elementos rechazables generados en la obra; cuanta mayor cantidad de residuos, menos índice de prefabricación presenta la construcción [1].

Existen cuatro sistemas diferentes de producción de elementos prefabricados [2]:

Sistemas cerrados: los elementos se fabrican conforme a especificaciones internas del propio sistema. Responden únicamente a reglas de compatibilidad interna y el proyecto arquitectónico ha de subordinarse a los condicionantes del sistema.

Empleo parcial de componentes: la gama de productos y prestaciones es más o menos fija admitiéndose ciertas variaciones dimensionales o de pequeña entidad. Su empleo no requiere un grado de industrialización determinado de sus realizaciones y pueden utilizarse en obras o proyectos claramente tradicionales.

Sistemas tipo mecano: son resultado de la evolución hacia una apertura “acotada” de los sistemas cerrados, preparados para combinarse en múltiples soluciones suministradas por distintos productores que respetan voluntariamente un lenguaje combinatorio definido y acotado.

Sistemas abiertos: constituidos por elementos o componentes de distinta procedencia aptos para ser colocados en diferentes tipos de obras, industrializadas o no, y en contextos diversos. Suelen valerse de juntas universales, gamas modulares acotadas y flexibilidad de proyecto prácticamente total.

3. Evolución histórica de la construcción industrializada

A lo largo de la historia hay varios precedentes de prefabricación debido al propósito de la sociedad de optimizar la eficiencia de los procesos productivos. El primer ejemplo significativo de construcción industrializada se remonta al siglo XVI, cuando Leonardo da Vinci recibió el encargo de planificar una serie de nuevas ciudades en la región de Loire. Su planteamiento consistió en establecer, en el centro y origen de cada ciudad, una

fábrica de elementos básicos que permitieran conformar a su alrededor un gran abanico de edificios. Dichas construcciones habían sido diseñadas previamente por él mismo para generar, de forma fluida y flexible, una gran diversidad de tipologías edificatorias con un mínimo de elementos constructivos comunes.

Otro ejemplo es el sucedido en ese mismo siglo durante la guerra entre franceses e ingleses, donde el ejército de Francisco I y Enrique II planificó las batallas contra Inglaterra construyendo pabellones de madera prefabricados que albergaran a sus soldados durante la ofensiva. Transportados fácilmente por barco, se montaban y desmontaban rápidamente por los propios soldados, de tal forma que los campamentos fueran, además de resistentes y confortables, ágiles en sus desplazamientos.

Siguiendo una técnica muy similar, en 1578 también se ejecutó en Baffin (Canadá) una casa prefabricada de madera que había sido construida en Inglaterra. Asimismo, en 1624, la Great House, una casa de madera panelizada y modular, construida por Edward Winslow en Inglaterra, fue trasladada y montada en Massachussets, Estados Unidos. Aunque estos dos últimos ejemplos no se pueden considerar prefabricación en estado puro, ya que la construcción de elementos no fue en serie sino diseñados para edificaciones singulares, sí que se aprecia un significativo cambio de mentalidad aplicada a la construcción.

No sería hasta el final del siglo XVIII cuando empezó a ser tangible la posibilidad de industrializar la construcción. En Europa, se empezó a desarrollar la construcción de puentes y cubiertas con hierro fundido, material que sería después aplicado a la elaboración de pilares y vigas de edificios. Al mismo tiempo, en Estados Unidos, se llevó a cabo la construcción de edificios de tipología Balloon Frame, constituidos por listones de madera provenientes de fábrica y ensamblados mediante clavos fabricados industrialmente.

Habría que esperar hasta finales del siglo XIX para que se volviera a utilizar en edificación el hormigón (que apenas se había empleado desde la época de los romanos), que aplicado junto con entramados de alambres, constituía una materia prima ideal para prefabricados.

En 1889, aparecía en EEUU la primera patente de edificio prefabricado mediante módulos tridimensionales en forma de “cajón” apilable, ideada por Edward T. Potter (Fig. 1). Y en 1891 se prefabrican las primeras vigas de hormigón armado para la construcción del Casino de Biarritz.

A mediados del siglo XX, Le Corbusier, inspirado en el sistema productivo de Henry Ford para la industria automovilística, presenta en el Modulor los resultados de sus estudios basados en un trazado proporcional establecido por la medida humana, a usar como instrumento clarificador en

fase de proyecto. Según su concepción de la producción de edificios residenciales como “máquinas de vivir”, el Modulor representa un sistema “en el que se pretenden conciliar los deseos de orden y proporción típicos del renacimiento, basados en trazados reguladores geométricos y en series matemáticas que comportan composiciones musicales, con la nueva cultura moderna de la construcción industrializada”.

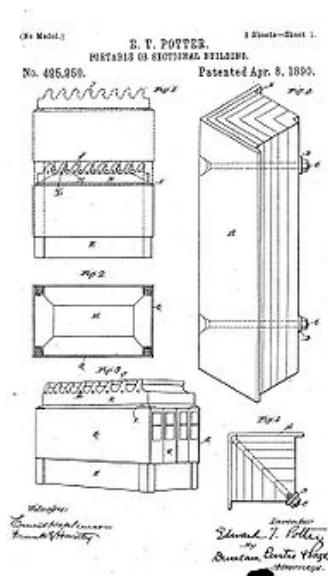


Fig. 1: Sistema de módulos apilables. Edward T. Potter

A lo largo de dos décadas, la prefabricación basada en sistemas de diseño cerrados, cuyos elementos representativos eran grandes paneles de hormigón (Fig. 2), se fue desarrollando en Europa, especialmente en los países del este y los países escandinavos. Este hecho fue debido a un contexto de gran demanda de edificación residencial y pocos recursos económicos consecuencia de la IIa Guerra Mundial.



Fig. 2: Edificio Lagutenko-Posokhin, Moscow. Construcción industrializada basada en diseños cerrados.

Las características de este sistema de construcción industrializada fueron las siguientes:

a) Exigencia de un mínimo del orden de mil viviendas agrupadas para intervenir con sistemas prefabricados.

b) Proyectos con mínimas variaciones formales para reducir el número de elementos diferentes.

c) Bloques de tipología lineal de gran frente, con el pretexto de evitar el cambio de las vías para las grúas-torre de montaje.

d) Luces mínimas de forjados, para cumplir con los gálibos de transporte que condicionaron las dimensiones máximas del tamaño de las habitaciones.

e) Nula flexibilidad de distribución en planta: la tabiquería también se ejecutaba con paneles portantes de hormigón en las tipologías estructurales cruzadas

En general, la industrialización se le imponía al proyectista como una herramienta de economía de construcción, y el sistema constructivo representaba un factor incompatible con la arquitectura (Fig. 3).

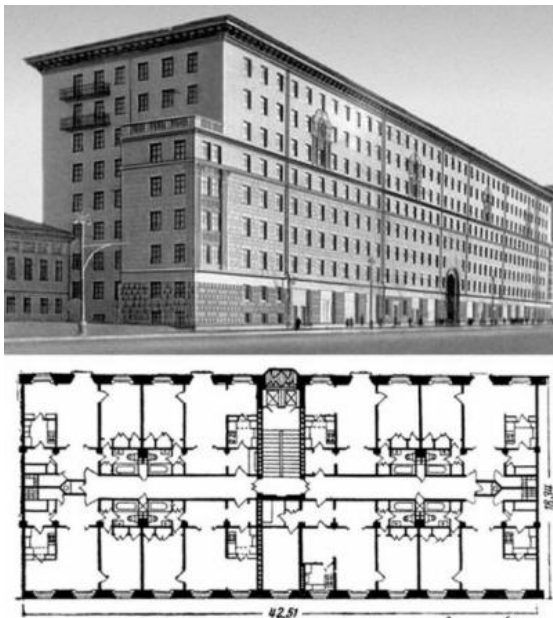


Fig. 3: Edificio Bolshaya Kaluzhskaya, Moscow. Construcción industrializada basada en diseños cerrados. Distribución en planta.

A partir de 1970, en los países de la Unión Europea, la demanda de viviendas en edificios en altura disminuyó, siendo sustituida por la edificación de viviendas unifamiliares de mayor calidad. La prefabricación a base de sistemas cerrados de viviendas trató de evolucionar, buscando en la fase de producción una mayor flexibilidad, elasticidad y variación, intentando hacer posible la consecución desde estas fábricas de series cortas y diversificación del producto. Este hecho sentó las bases para un futuro sistema de prefabricación abierto (Fig. 4).

A finales del siglo XX, la construcción industrializada con sistemas cerrados de diseño quedó obsoleta. Gran parte de los edificios

construidos con este sistema, fueron abandonados y demolidos, y la construcción de edificios de viviendas en altura se realizaba mediante sistemas tradicionales.



Fig. 4: Conjunto de edificios "La Grande Borne", Grigny-Paris. Construcción industrializada. Inicio de la prefabricación con diseño abierto.

En cambio, empezó a prosperar la prefabricación de edificios públicos (escuelas, hospitales, oficinas, etc.) y edificios industriales (Fig.5).

La industrialización de la construcción se desarrollaba a base de grandes elementos prefabricados de hormigón. Los avances tecnológicos aplicados a este material permitieron prefabricar elementos estructurales y constructivos de variedad de formas y calidades no conseguidas hasta el momento.



Fig. 5: Edificio industrial, Polígono Ind. Santiga-Provasa, Barberà del Vallès (Barcelona). Estructura y cerramientos de hormigón prefabricado.

4. Marco actual

Debido a la crisis económica actual, la demanda de edificación residencial ha sufrido un descenso significativo. Este hecho ha afectado principalmente a empresas del sector de la construcción, en especial aquellas que utilizan un sistema de construcción convencional.

En cambio, se ha abierto un abanico de posibilidades para las empresas que realizan prefabricados de hormigón. Estas dejaron apartado los sistemas cerrados de diseño y han apostado por una producción seriada o de catálogo de componentes o partes de edificios. Paulatinamente, los productores y la ingeniería han permitido una mayor flexibilidad en el diseño de edificios prefabricados, dando así respuesta a las demandas de calidad mínimas requeridas por el sector.

La evolución de los procesos de producción de elementos prefabricados de hormigón se ha realizado a partir de dos aspectos clave: mejorar los medios de producción y optimizar la organización de la misma.

4.1. Medios de producción

Los medios de producción han evolucionado substancialmente gracias a las mejoras tecnológicas aplicadas a los materiales y a los sistemas productivos.

El desarrollo de hormigones especiales (HAR, HAC, etc.) ha permitido a las plantas de hormigón ofrecer una amplia gama de dosificación con una notable precisión. Este hecho ha permitido el diseño y producción de diversas gamas de productos de hormigón prefabricado con diferentes usos, tamaños y acabados.

Por otro lado, el desarrollo de la red de transporte y la proliferación de plantas de hormigonado, ha supuesto reducir los recorridos del hormigón fresco, así como, mantener la oferta de productos prefabricados en caso de grandes demandas puntuales de elementos constructivos.

Des del punto de vista del propio sistema productivo, los avances realizados se concentran en el tratamiento del hormigón en el proceso de fabricación de la pieza prefabricada. Estos consisten principalmente en realizar una distribución homogénea del hormigón en el molde, utilizar procedimientos capaces de reducir al máximo el tiempo de fraguado del hormigón y concentrar la fase de curado en una o varias zonas aisladas para evitar pérdidas de calor.

Por último, cabe destacar el creciente uso de hormigones autocompactantes para prescindir de la fase de vibrado. Este hecho aumenta de manera significativa la vida útil de los moldes de las piezas prefabricadas.

4.2. Organización de la producción

La optimización del sistema organizativo de las empresas productoras de elementos prefabricados ha sido clave en el desarrollo actual de la construcción industrializada. Aspectos como dotar las plantas de fabricación de la flexibilidad necesaria para realizar productos que aportan soluciones a distintas partes de la vivienda, así como productos adaptables a

diferentes tipos de construcciones, han sido determinantes para la evolución del sistema abierto de diseño.

Este hecho ha sido posible gracias mejora de la disposición funcional de los medios productivos, la automatización de tareas y al empleo de medios susceptibles de usos alternativos. De esta manera ha sido posible de dotar a los productos de un alto valor añadido, con el consecuente aumento de la calidad, tanto del elemento prefabricado, como del servicio prestado.

5. Construcción industrializada vs construcción convencional

El sector de la construcción, actualmente, es la actividad productiva menos eficiente que existe. El modo artesanal de producción origina graves consecuencias negativas: siniestralidad elevada, baja especialización, precariedad de las condiciones de trabajo, dilatados plazos de obra, altos costes por el elevado impacto de la mano de obra y defectos reiterados en la ejecución.

La alternativa a la construcción convencional es la externalización de los elementos constructivos en centros de producción, o lo que es lo mismo, la prefabricación. Con tal de justificar la evolución histórica de este proceso constructivo y sus retos para el futuro, se realiza una comparativa de las ventajas e inconvenientes que ofrece respecto al modo de construcción artesanal.

5.1. Ventajas

La industrialización implica optimizar la edificación des de una óptica industrial: construir por módulos y mediante rutinas de trabajo estandarizadas, y con un mayor grado de participación tecnológica.

La principal ventaja que ofrecen los productos prefabricados respecto a los elementos ejecutados "in situ", es la notable calidad de los materiales y los acabados. Esto se debe a que los elementos prefabricados se producen en una planta con unas condiciones exhaustivas y estrictos controles de calidad [3]. En obra únicamente se montan las piezas y los únicos problemas que pueden surgir son desperfectos derivados del transporte de dichos elementos.

De esta manera, se reduce significativamente el espacio necesario para acopio y producción de piezas en obra, así como el tiempo de ejecución del edificio. Este hecho conlleva que los costes globales de la obra también se reduzcan.

Por otro lado, al externalizar la producción de los elementos a una industria se reducen los equipos de trabajo en obra. De manera general, los operarios de la industria de prefabricados son obreros con mayor

especialización y calificación que las cuadrillas de trabajos de construcción “in situ”. Eso deriva en una reducción significativa de los accidentes laborales de los trabajadores.

Finalmente, como la producción se realiza en un espacio dónde las condiciones de contorno están controladas, la gestión de los residuos generados es substancialmente más eficaz. Si a este factor, añadimos el hecho que el consumo energético es menor, se puede afirmar que la construcción industrializada es menos perjudicial para el medio ambiente.

5.2 Inconvenientes

Aunque los progresos en la cuestión han sido notables, el mayor inconveniente que tiene en la actualidad la construcción industrializada respecto a la construcción convencional sigue siendo la rigidez que provocan los elementos prefabricados en el diseño del proyecto. Por mucha versatilidad que tenga la planta de producción, es inviable que ofrezca la misma gama de formas y acabados que la construcción artesanal.

De todas formas, si se tiene en cuenta esta desventaja desde el inicio del proyecto, actualmente las empresas prefabricadoras ofrecen una suficiente oferta de productos que, generalmente, satisfagan las exigencias de los proyectistas.

Además de la rigidez en el diseño, existe la problemática modular. En una construcción industrializada es complejo diversificar los componentes en diferentes industriales debido a la incompatibilidad entre las distintas marcas comerciales.

Por otro lado, todavía existen cuestiones técnicas no resueltas satisfactoriamente. En el campo estructural, los elementos resistentes de un edificio deben resistir las acciones a que está sometido de forma conjunta. Las soluciones actuales de uniones entre diferentes elementos estructurales de hormigón prefabricado no garantizan en su totalidad el monolitismo, con lo que no resultan eficaces sin realizar intervenciones “in situ”, especialmente en zonas sísmicas (Fig. 6).



Fig. 6: Colapso de edificios prefabricados por los efectos de un terremoto. 1988, Spitak (Armenia).

Otro inconveniente, desde el punto de vista económico empresarial, es que la inversión inicial para desarrollar una industria de prefabricados es significativamente mayor que la de una constructora convencional, cuyo principal “modus operandi” es la subcontratación de los servicios.

Finalmente hay un aspecto negativo que es propio de este país. La realidad cultural en España es reacia a realizar edificación industrial mediante la construcción industrializada. Ya sea por el rechazo del consumidor último o por intereses económicos de las constructoras que defienden el modo tradicional de construcción, el desarrollo y aplicación de los sistemas prefabricados de hormigón es significativamente menor que en el resto de los países europeos.

6. Objetivos a medio plazo

El principal objetivo que tienen los partidarios de la construcción industrializada es aplicar a la edificación residencial los mismos procedimientos de estandarización, modularidad, industrialización y tecnología, que se aplican en todos los demás campos de la actividad humana. Esto es, en definitiva, desarrollar la construcción industrializada abierta.

Para ello se debe conseguir que componentes complejos de distintas procedencias y generados con diferentes formas de producción, bajo directrices de proyecto redactadas de forma lógica y con disciplina industrial, tengan como resultado, espacios construidos mayoritariamente a base de componentes producidos por empresas distintas.

Por otro lado, es necesaria, en el contexto de la industrialización de la construcción, una renovación de formas, materiales, métodos de fabricación, resolución de juntas, etc. En este sentido, el objetivo es minimizar las actuaciones en la obra para garantizar el buen funcionamiento de los elementos prefabricados, ya que la construcción industrializada en seco minimiza el acopio de material y optimiza el tiempo de ejecución de la obra.

Finalmente, el desarrollo de la prefabricación debe comportar una disminución de la siniestralidad laboral en el marco de la construcción.

7. Aplicaciones representativas

Para ilustrar el estado de la prefabricación, el autor ha creído conveniente adjuntar tres ejemplos representativos (dos nacionales y uno internacional) de las tendencias actuales en el ámbito de la construcción industrializada con elementos de hormigón.

7.1 Casa Kyoto

La Casa Kyoto es la primera vivienda unifamiliar, a nivel nacional, construida a partir de elementos prefabricados de hormigón basada en criterios de edificación sostenible (Fig.7).



Fig. 7: Casa Kyoto

Desarrollada por el equipo de arquitectos Pich-Aguilera y producida por la empresa Prefabricats Pujol, destaca por un sistema de construcción industrializada abierta, que sintetiza calidad y funcionalidad en sus elementos.

Es un edificio residencial de 250 m² distribuidos en tres plantas. Tiene un coste garantizado desde la firma del proyecto y un plazo de entrega determinado en un máximo de cuatro meses. La solución constructiva modular industrializada permite la flexibilidad de espacios y evolución de la vivienda a nuevos usos, así como posibles readaptaciones y una personalización de los materiales (Fig.8).



Fig. 8: Interior Casa Kyoto

Los elementos estructurales de hormigón prefabricado de la Casa Kyoto (pilares, jácenas, paneles de fachada y placas de forjado) tienen un montaje en seco y hacen posible también su deconstrucción. Esta solución permite ahorrar hormigón, energía y agua en el proceso constructivo.

7.2 Zabalanga

Actualmente, en el barrio de Zabalanga (Vitoria), se están construyendo 156 viviendas íntegramente moduladas. A nivel nacional, representa uno de los primeros edificios que intenta recuperar la construcción industrializada en altura (Fig. 9) con el objeto de avanzar en criterios de sostenibilidad, industrialización y estandarización en el campo de la vivienda.



Fig. 9: Construcción de edificio plurifamiliar con elementos prefabricado de hormigón. Barrio de Zabalanga, Vitoria.

La redacción del proyecto y la dirección de obra de la promoción son a cargo del mismo equipo de trabajo que la Casa Kyoto, Pich-Aguilera arquitectos.

El proyecto consiste en la construcción de un edificio plurifamiliar de planta baja, ocho plantas tipo y ático, destinado a albergar viviendas sociales. El programa se completa con locales en planta baja y aparcamiento en dos plantas de sótano. El edificio se dispone dividido en tres unidades edificatorias por encima de la cota de planta baja, en las que todo está modulado, optimizando al máximo luces estructurales, módulos de fachada, disposición y tipologías de cuartos húmedos, con objeto de simplificar y estandarizar el proceso de fabricación. De esta manera el proceso constructivo en obra se simplifica, favoreciendo la seguridad de los trabajadores, reduciendo tiempos de construcción y alcanzando niveles de calidad elevados (Fig. 10).



Fig. 10: Proceso constructivo de viviendas en altura. Barrio de Zabalanga, Vitoria.

7.3 Woolverhampton student hall

El Woolverhampton student hall será, cuando finalice su construcción en Septiembre del 2010, el edificio prefabricado más alto de toda Europa (Fig. 11).



Fig. 11: Edificio Woolverhampton student hall. Woolverhampton, Reino Unido.

Ha sido diseñado por O'Connell East Architects. Con un uso de residencia para estudiantes, tiene 805 módulos habitables repartidos en 24 plantas.

El tiempo de construcción es de, aproximadamente, 6 meses, mientras que si se hubiese construido de forma convencional, el tiempo de entrega sería de 30 meses.

8. Conclusiones

Con las aplicaciones representativas mostradas anteriormente, queda patente que la construcción industrializada está significativamente más desarrollada en el resto de países europeos que en el territorio español. La desconfianza injustificada hacia los edificios prefabricados hace que los avances en la materia sean lentos y tortuosos.

La industrialización abierta es una meta en cuya implementación deben estar implicados todos los agentes participantes: proyectistas, empresas constructoras, empresas productoras, administraciones y usuario final.

El desarrollo de la prefabricación [4] debe estar basado en una profunda coordinación dimensional, camino obligado para dotar la construcción de una movilidad e intercambiabilidad, así como de un mayor aprovechamiento de los recursos disponibles, premisas todas ellas fundamentales para resolver los

problemas económicos y medioambientales de la edificación actual.

Agradecimientos

A CVO por su ayuda en la búsqueda de bibliografía.

Referencias

- [1] Aguiló Alonso, M., et al. Prefabricación: Teoría y práctica. Editores Técnicos Asociados. Barcelona, 1974.
- [2] Salas, J. "De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico". Informes de la construcción, Vol. 60, 512, 19-34. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC). Madrid, Octubre-Noviembre 2008.
- [3] Gómez Muñoz, D., Tutores: Aguado de Cea, A. y Fernández Lillo, C. "Estudio comparativo entre distintas metodologías de industrialización de la construcción de viviendas". Tesina de especialización. Departamento de Ingeniería de la Construcción (UPC). Barcelona, Junio 2008.
- [4] Nissen, H. Construcción industrializada y diseño modular. Ed. Blume. Barcelona, 1976.