

Prefabricación y diseño

GEMMA RODRÍGUEZ

Arquitecta, doctora y magíster. Profesora Titular del Instituto de la Construcción (FADU-UdelaR). Coordinadora de la Maestría en Arquitectura (área Tecnológica). Investigadora SNI (ANII) en Nivel II (2014–2022) y Nivel I (2009–2013). Ha escrito veintitrés artículos completos para revistas especializadas, tres libros, seis capítulos y setenta y siete trabajos para eventos. Posee una vasta trayectoria en el campo de la producción técnica (treinta y nueve productos de desarrollo tecnológico, procesos y otros).

En este trabajo nos referiremos, primeramente, a la prefabricación, luego a la prefabricación en la arquitectura y, finalmente, presentaremos algunos de los aportes realizados por investigaciones del Instituto de la Construcción [IC] para lograr que la prefabricación se convierta en un instrumento que permita al arquitecto sumar las ventajas de la prefabricación a las del diseño personalizado.

Si bien todos entendemos a qué remite el término «prefabricación» cuando se habla de él, decidí comenzar por la definición de dicha palabra y para ello recurrí al Diccionario de la Real Academia Española [DRAE]. Para mi sorpresa, la palabra no está en él. Sin embargo, sí ha encontrado cabida la palabra «prefabricado», donde aparece escrito lo siguiente: «adj. Dicho de una construcción: Formada por partes fabricadas previamente para su montaje posterior» (DRAE, 2018).

Por otro lado, cuando uno coloca en internet la palabra «prefabricación» aparece la expresión «acción de prefabricar», pero el término «prefabricar» tampoco pertenece al DRAE. Además de esa definición tan genérica, en internet encontramos que «[l]a prefabricación es un sistema de construcción basado en el diseño y la producción de componentes y subsistemas elaborados en serie en una fábrica fuera de su ubicación final y que se llevan a su posición definitiva para montar la edificación tras una fase de montaje simple, precisa y no laboriosa».

En dicha definición, tan extensa y compleja, es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

DISEÑO Y PRODUCCIÓN

La idea de que la prefabricación no es exclusivamente producción, ya que ella lleva implícita una serie de fases previas, igualmente importantes, como son la investigación, innovación, planificación, el diseño, etcétera. De allí que las principales ventajas que la prefabricación le otorga al arquitecto nacen de considerar al diseño y a la ejecución de la obra arquitectónica como un único proceso coordinado que permite abordar todas las condicionantes globalmente.

ELABORACIÓN EN SERIE

Si bien la gran mayoría de los productos prefabricados se ejecutan en serie, esto no siempre ocurre así. La prefabricación en serie aporta muchas ventajas —mayor calidad, facilidad de fabricación, menores costos, alta productividad, menor tiempo de producción, mano de obra más fácil de formar, etcétera—, pero la prefabricación de corto alcance, o incluso la de tiraje único, también puede ser rentable e interesante en nuestro país según las circunstancias, ya que permite un aumento de calidad, mejor control de producción, independencia de condiciones meteorológicas, ahorro de tiempos de ejecución con los ahorros de costos consecuentes, almacenamiento hasta el momento de la colocación definitiva, etcétera.

FÁBRICA FUERA DE LA UBICACIÓN FINAL

Este concepto origina que a la prefabricación se la considere como fabricación fuera de obra, ante lo cual cabe observar que las instalaciones en las que se realicen los componentes prefabricados pueden estar tan lejos o cerca como se quiera. Incluso a pie de obra. En este último caso, las condiciones de producción e incorporación de equipos de mayor calidad podrían ser más complicadas dado el carácter temporal del taller a pie de obra, pero esto tiene ventajas adicionales como pueden ser el ahorro en transporte, la necesidad de menor espacio de almacenamiento, la flexibilidad en función del avance de las obras, etcétera.

FASE DE MONTAJE SIMPLE, PRECISA Y NO LABORIOSA

Cuando una edificación es prefabricada las operaciones en el terreno son esencialmente de montaje, siendo una buena referencia sobre el grado de prefabricación la cantidad de residuos generados en la obra —cuanto mayor cantidad de escombros y suciedad menor es el índice de prefabricación—.

Si bien la prefabricación presenta grandes ventajas como aumento de calidad, mayor seguridad laboral, reducción de mano de obra especializada, reducción de escombros y desechos, reducción de plazos de construcción, mayor organización y planificación, entre otras (Dave, Warson y Prasad, 2017; Lawson, Ogden y Bergin, 2012; Mao, Shen, Shen y Tang, 2013; Smith y Timberlake, 2010; Velamati, 2012), parece difícil que con ella se puedan levantar los denominados «mejores



FIGURA 1. CASA HEMEROSCOPIUM. FOTOGRAFÍA: ROLAND HALBE.

edificios». Sin embargo los hay y un ejemplo reciente de ello es la casa Hemeroscopium del arquitecto Antón García Abril y el estudio Ensamble, en Madrid, de 400 m² (fig. 1). Es una secuencia de 7 elementos estructurales que se unen entre sí de acuerdo a la naturaleza de sus esfuerzos, principalmente apoyos simples. Según el equipo del proyecto «la gravedad define los espacios, y los esfuerzos de los elementos estructurales que conforman el espacio se encuentran sometidos a un permanente equilibrio» mantenido por un bloque de granito de 20 t a modo de contrapeso. El proyecto llevó más de un año, mientras que la construcción y montaje solo 7 días debido al empleo de elementos prefabricados. La obra fue construida prácticamente con hormigón bajo un criterio de economía y durabilidad. Cada habitación está diseñada para obtener iluminación natural, abierta a un patio y a la piscina central, la cual está planteada como un elemento central en el diseño. Una segunda piscina se ubica en una viga en «U» sobre el nivel de suelo, tiene largo olímpico y es usada para practicar natación.¹ Esta casa es un ejemplo de que, para bien o para mal, la industria está transformando la manera de construir y ello también se está extendiendo a la arquitectura.

El objetivo prioritario es eliminar recursos que son generalmente malgastados: tiempo y dinero. La falta de detalles no contemplados en los planos, la elección de materiales inadecuados, la falta de mano de obra con formación adecuada y la escasa cooperación entre los diferentes profesionales y/o técnicos que

1. Al respecto, se puede obtener información en la página oficial del estudio Ensamble así como en distintos vídeos en la plataforma YouTube.



FIGURA 2. MONTAJE DE PANELES Y AVANCE DE CONSTRUCCIÓN EN VIVIENDA UNIFAMILIAR EN OCEAN PARK, URUGUAY. FOTOGRAFÍA: ANIELA SOLIÑO.

intervienen en un proyecto de arquitectura —arquitectos, calculistas, sanitarios, electricistas, carpinteros, etcétera— agravan la situación y elevan el precio del m² de construcción en nuestro país. Una posible solución puede ser personalizar la arquitectura con nuevos instrumentos para lograr rapidez, calidad, economía, lo que a simple vista parece imposible.

En la construcción tradicional es frecuente la falta de datos o indefinición, lo cual es fácilmente superable con la tecnología Building Information Modeling [BIM] que exige la realización de una pre construcción exacta del proyecto, aña-

diendo tiempo y costos como dimensiones del modelado en 3D. Con ello se puede conseguir que los diferentes profesionales y oficios trabajen conjuntamente de forma rápida, realizando una planificación real, ajustada y con compromisos de cada parte. El empleo de la BIM va encaminado a cambiar para siempre la construcción tradicional, introduciendo un método de planificación inteligente con el que la industria puede conocer exactamente qué productos debe fabricar y el arquitecto en qué orden colocarlos en la obra.

Cuando el diseño se adelanta, previendo los problemas que van a aparecer durante la construcción, se pueden sumar las ventajas de la prefabricación a las del diseño personalizado. Esto da la posibilidad de generar una nueva arquitectura que se dibuja sobre el plano pero se preelabora en la fábrica, limitando el impacto ambiental, disminuyendo costos y mejorando la calidad de la construcción (Kaisera, Larssonb y Girhammar, 2019; Piroozfar, Altan y Popovic-Larsen, 2012). Para conseguir esto, es necesario, al decir de Lucio Costa (1936),

que todos —arquitectos, ingenieros, constructores y público en general— comprendan las ventajas, posibilidades y belleza propia que la nueva técnica permite, para que entonces la industria se interese. No podemos esperar que ella tome para sí todos riesgos de la iniciativa, empeñándose en producir aquello que los únicos interesados todavía no le reclaman. (s.p.)

Un elemento nuevo que trae la prefabricación es el montaje en la obra, ya que los componentes realizados en los talleres deben transportarse hasta allí. Esto es válido para componentes no solo metálicos, de madera o resina sintética, sino también para el hormigón. Resultan ejemplares, en este sentido, los detalles correspondientes a la construcción de la vivienda unifamiliar en Ocean Park (fig. 2), Uruguay, de la arquitecta Aniel Soliño —estudiante de la Maestría en Construcción de Obras de Arquitectura—, realizada totalmente con componentes prefabricados de hormigón hechos a medida y cuyo montaje tuvo una duración de 3 semanas.

No hay que olvidar que al final de la Segunda Guerra Mundial, en la reconstrucción de muchas ciudades europeas, la prefabricación fue adoptada como principal solución a la necesidad urgente de miles de viviendas. Más recientemente, el incremento de los costos de la mano de obra calificada motivó el encargo de componentes de calidad a la industria y ello condujo a la construcción en seco, que es, por naturaleza, prefabricada. En la actualidad, tanto esta como la prefabricación en general ya son hechos consumados y no se puede volver al pasado.

En Uruguay, las mayores experiencias en la materia se basaron en sistemas de prefabricación pesada, cuyo desempeño ha sido variable. La experiencia local en variantes livianas es reciente y abarca componentes constructivos aislados cuando se trata de hormigón —losetas, antepechos, canaletas, escalones, etcétera—, pudiendo llegar a ser casi total en el caso de otros materiales como la madera. El material utilizado en nuestro país, en la mayoría de los casos, es el hormigón convencional, que determina características técnicas de los productos finales y condiciona aspectos productivos de fabricación y montaje.

En los últimos años, la optimización de la calidad de los prefabricados se ha basado en el desarrollo de nuevos materiales. La experiencia internacional en prefabricación liviana ha demostrado las ventajas de su utilización y por ello ha pasado a un segundo plano la de tipo pesada.

La versatilidad de las aplicaciones de la prefabricación liviana de alto desempeño convierte a esta tecnología en una alternativa de máximo interés para nuestro país, así como el desarrollo de nuevos materiales y componentes representa la base técnica para alcanzar los requisitos esperados en resistencia, durabilidad y estética. Estos motivos hicieron que el grupo del IC dedicado al desarrollo y aplicación de nuevos materiales y componentes para la construcción abordara la temática de la prefabricación en hormigón a los efectos de transformarla en liviana, mediante el uso de micro-hormigón de alto desempeño [MHAD] en lugar del hormigón convencional, en un proyecto financiado por la Agencia Nacional de Innovación e Investigación en el marco del Fondo María Viñas de investigación aplicada (ANII FMV 2009-1-2717).

Cabe observar que el micro-hormigón no contiene agregado grueso y para ser de alto desempeño, excediendo las prestaciones del micro-hormigón empleado habitualmente y a los efectos de poder usarse en espesores pequeños —2 o 3 cm—, requiere de una elección y un control adecuado de los materiales constitutivos así como métodos de dosificación y elaboración acordes a los materiales y equipos disponibles en nuestro medio, todo lo cual fue estudiado en el proyecto. A los efectos de viabilizar su aplicación, en el marco del proyecto se desarrolló, además, un micro-hormigón de alto desempeño autocompactante [MHAC], añadiéndole a las ventajas del MHAD las de los hormigones autocompactantes [HAC].

Al mismo tiempo, una empresa uruguaya de mediano porte estaba elaborando paneles para prefabricación liviana tipo sándwich, en poliestireno expandido y micro-hormigón convencional en las caras externas, de 2,40 m de altura, 1,20 m de ancho y alma de 10 cm de espesor. En la planta de la misma se realizaron paneles con el MHAC desarrollado en el proyecto, que luego fueron transportados al laboratorio del IC para ser ensayados junto con una serie de paneles elaborados con el micro-hormigón habitual fabricado por la empresa. Los resultados obtenidos en los ensayos relativos a la resistencia estructural de los paneles realizados con MHAC mostraron casi una duplicación de la carga máxima alcanzada y una gran disminución de la desviación estándar —76,675%— y del coeficiente de variación —88,26%— cuando se compararon con los paneles de la empresa. Se estudiaron los costos de los materiales empleados en ambas series de paneles, puesto que el proceso de ejecución y el personal eran los mismos. El m³ del MHAD desarrollado en el marco del proyecto era un 16,28% más caro que el usado habitualmente por la empresa para realizar sus paneles sándwich prefabricados; pero comparando el costo por daN de resistencia de los paneles realizados con el MHAC se obtenía una disminución del 41,17%, mostrando las ventajas de su empleo en lugar del micro-hormigón convencional. En relación a los resultados de resistencia al impacto de cuerpo duro, cumplieron con los requerimientos de la normativa. Los paneles realizados con el MHAC de-

FIGURA 3. APLICACIÓN DE MHAC
EN MOBILIARIO URBANO.
FOTOGRAFÍA: LUCÍA VILLAYERDE.



sarrollado en el marco del proyecto estaban aptos, entonces, para su uso como elementos estructurales en cualquier ubicación —fachadas, interior de edificios, etcétera—, garantizando una producción de mayor calidad técnica, durabilidad y facilidad de montaje, con plazos de obra reducidos y menores costos.

Con el MHAC desarrollado, Lucía Villaverde realizó la tesis de grado de la Escuela Universitaria Centro de Diseño [EUCD] bajo la tutoría de Irene Maldini y la autora de este artículo. Villaverde se presentó a un llamado a prototipos y proyectos de fin de carrera con potencial emprendedor y obtuvo financiación para desarrollar la aplicación del MHAC en mobiliario urbano, también con la tutoría de quien escribe este artículo. El MHAC le permitió explorar el potencial estético del material, dotando de texturas, basadas en cuadros de artistas plásticos uruguayos, a los prototipos de papeleras que desarrolló en el marco del proyecto (fig. 3).

Posteriormente, en el proyecto titulado *Aplicación de nuevos hormigones para premoldeados* (ANII FMV_1_2014_1_104566) se estudió el empleo de fibras estructurales a los efectos de sustituir parcial o totalmente las armaduras en elementos prefabricados realizados con hormigón convencional y autocompactante. Como referencia se tomó un hormigón empleado en elementos prefabricados locales. En el programa experimental, las variables analizadas fueron el tipo de fibras estructurales —dos: metálicas y sintéticas— y su cuantía —tres para cada tipo de fibra—. Se estudió primeramente el material en sí, o sea, las propiedades de los hormigones desarrollados en el marco del proyecto, tanto en estado fresco como endurecido, comparándolas con las del hormigón empleado habitualmente. Los resultados obtenidos mostraron claramente las diferencias de comportamiento en estado fresco y endurecido entre los hormigones estudiados (Rodríguez de Sensale, Segura-Castillo, Rodríguez Viacava, Rolfi y Fernández, 2016 y 2018). Se hicieron paneles a escala real en una empresa de premoldeados de gran porte, con hormigón convencional y la armadura empleada habitualmente en ellos. Luego se substituyó parte de la armadura por fibras y para



FIGURA 4. ARENA DE ZAGREB. FUENTE: DE [HTTPS://WWW.ARCHITECTURAL.COM/UPI-2M-ARENA-ZAGREB](https://www.architectural.com/upi-2m-arena-zagreb). FOTOGRAFÍA: VANJA SOLIN.

ello se seleccionaron porcentajes de cada tipo de fibra apropiados a la aplicación según los resultados obtenidos en la etapa de estudio del material. Los paneles fueron transportados al IC, donde se ensayaron y compararon los resultados. En los paneles realizados quedó comprobado que es posible sustituir las armaduras superiores e inferiores por fibras, obteniéndose mejores resultados empleando fibras metálicas que sintéticas (Rodríguez de Sensale et al., 2017).

Los resultados obtenidos en este proyecto convirtieron el empleo de fibras estructurales en una alternativa de gran interés para su aplicación en nuestro país como sustitución parcial de la armadura tradicional, lo que facilita enormemente la realización de prototipos, disminuye los tiempos de ejecución, elimina problemas tanto de durabilidad como estructurales —debidos a la corrosión de las mallas de armadura que ocasiona problemas estéticos y estructurales en paneles—, etcétera.

Los proyectos mencionados anteriormente mostraron las ventajas del empleo de nuevos materiales para realizar elementos prefabricados en empresas de nuestro país de diferente envergadura, así como las posibilidades que ellos tienen tanto para prefabricación pesada como liviana.

Finalmente, cabe señalar que desde la prefabricación se puede personalizar a la arquitectura con nuevos instrumentos que permitan abrir nuevas fronteras para lograr rapidez y abaratamiento de costos. La evolución de la tecnología permite hoy asociar la precisión de la producción industrial con las características del proyecto arquitectónico, por lo que se debe tratar en Uruguay, al igual que se está haciendo en otros países, de personalizar la producción industrial. Por ejemplo, los paneles verticales para fachadas podrán ser distintos tanto en altura, anchura, como terminación superficial, pudiendo incluso haber una hibridación de los materiales empleados, lo cual no impedirá su fabricación en serie. Ello es posible con un costo razonable y se puede usar en grandes proyectos (fig. 4) así como en pequeños (fig. 5).



FIGURA 5. VIVIENDA UNIFAMILIAR TERMINADA EN OCEAN PARK, URUGUAY. FOTOGRAFÍA: ANIELA SOLINO.

Bibliografía

- Costa, L. (1936). Razoes da nova Arquitetura. *Revista de la Diretoria de Engenharia da Prefeitura do Distrito Federal*, III (1), s.d. Recuperado de: https://aprender.ead.unb.br/pluginfile.php/188916/mod_resource/content/3/Razoes_da_nova_arquitetura.pdf
- Dave, M., Warson, B. y Prasad, D. (2017). Performance and perception in prefab housing: An exploratory industry survey on sustainability and affordability. *Procedia Engineering*, (180), pp. 676-686, doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.227
- Ensamble Studio. (2008). *Hemeroscopium House*. Disponible en: www.ensemble.info/hemeroscopiumhouse (consultado en julio de 2019).
- Ensamble Studio. (2011). *Hemeroscopium House / ENSAMBLE STUDIO*. Disponible en: <https://www.archdaily.com/16598/hemeroscopium-house-ensemble-studio> (consultado en julio de 2019).
- Ensamble Studio. (2010). *Casa Hemeroscopium / Ensamble Studio*. Disponible en: <https://www.plataformaarquitectura.cl/dl/02-41486/casa-hemeroscopium-ensemble-studio> (consultado en julio de 2019).
- Kaisera, A., Larssonb, M. y Girhammar, U.A. (2019). From file to factory: Innovative design solutions for multi-storey timber buildings applied to project Zembla in Kalmar, Sweden. *Frontiers of Architectural Research*, 8 (1), pp. 1–16. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095263518300761>
- Mao, C., Shen, Q., Shen, L. y Tang, I. (2013). Comparative study of greenhouse gas emissions between off-site prefabrication and conventional construction methods: Two case studies of residential projects. *Energy and Buildings*, (66), pp. 165-176.

- Piroozfar, P., Altan, H. y Popovic-Larsen, O. (2012). Design for sustainability: A comparative study of a customized modern method of construction versus conventional methods of construction. *Architectural Engineering and Design Management*, 8(1), pp. 55-75.
- Prefabricado*. (s.f). En el Diccionario de la Real Academia Española (23ª ed.). Recuperado de: <https://dle.rae.es/?id=TyhI7pZ> (consultado en julio de 2019).
- Rodríguez de Sensale, G., Segura-Castillo, L., Rodríguez Viacava, I., Rolfi, R. y Fernández, M.E. (2018). Hormigón autocompactante con fibras para premoldeados. *Hormigón y Acero*, 69(284), pp. 69-75.
- Rodríguez de Sensale, G., Segura-Castillo, L., Rodríguez Viacava, I., Rolfi, R. y Fernández, M.E. (2017). Nuevos hormigones para premoldeados: aplicación en prototipos. *Construcción* [revista oficial de la Cámara de la Construcción del Uruguay], (42), pp. 64-65.
- Rodríguez de Sensale, G., Segura-Castillo, L., Rodríguez Viacava, I., Rolfi, R. y Fernández, M.E. (2016). Nuevos hormigones para premoldeados: el material en sí. *Construcción* [revista oficial de la Cámara de la Construcción del Uruguay], (38), pp. 82-84.
- Smith, R. y Timberlake, J. (2010). *Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- UPI-2M, (2009). Arena de Zagreb. Disponible en: <https://www.architectural.com/upi-2m-arena-zagreb>
- Velamati, S. (2012). *Feasibility, Benefits and Challenges of Modular Construction in High Rise Development in the United States: A Developer's Perspective*. Tesis de maestría. Massachusetts Institute of Technology: Cambridge, MA, USA. Disponible en: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/77129>.