

Construcción modular en hormigón: una tendencia al alza

Alejandro López Vidal. *Director Técnico de ANDECE.*

Desde que el arquitecto estadounidense Edward T. Potter registró a finales del siglo XIX la primera patente de edificio prefabricado mediante módulos tridimensionales en forma de cajones apilables en hormigón, se estima que actualmente existen unas 1.300 patentes de construcción modular en hormigón en todo el mundo. Sin embargo, no ha sido hasta ahora cuando esta metodología constructiva ha terminado por aceptarse, tanto por parte de arquitectos, constructores y, especialmente, usuarios finales.

Basada en la preconstrucción o en la prefabricación casi total de la construcción, y siguiendo un patrón de diseño modular, se fundamenta en trasladar a la planta industrial el mayor número de tareas para minimizar las que se llevarían a cabo en la obra. La construcción modular aparece como una de las claves para la industria de materiales en 2017, previendo además que en cinco años más de la mitad de todos los proyectos del sector utilizarán la construcción modular. Este artículo pretende recoger el estado actual de esta técnica, analizar las ventajas que ofrece frente a la construcción más convencional y exponer los retos a los que se enfrenta un sector dentro de la industria del prefabricado que está apostando firmemente por esta línea de negocio.

De las casas prefabricadas a la vivienda industrializada

Todavía hoy se suele aludir a este tipo de construcción como ‘casa prefabricada’, algo que conceptualmente no es correcto; sería así si toda la casa se preconstruyese en una fábrica, se transportase todo el conjunto y su instalación se limitase a colocarla en su posición definitiva. Y tampoco es recomendable desde el punto de vista de su promoción, ya que todavía hoy persiste cierta connotación de provisionalidad o baja calidad hacia el concepto ‘casa prefabricada’.

■ **Tabla 1. Principales diferencias entre los sistemas modulares basados en elementos 1D y 2D frente a celdas 3D.**

	Sistemas 1D/2D	Sistemas 3D
Diseño	Básicamente igual, aunque en el primer caso los mecanismos de conexión entre componentes adquieren mayor importancia.	
Fabricación	Pueden acometerla los mismos fabricantes que comercializan al mismo tiempo otros elementos prefabricados lineales y/o superficiales.	Requiere de moldes especiales. Actualmente, hay fabricantes que se han especializado en esta tecnología.
Transporte	Más sencillo al ser piezas más ligeras El transporte es más optimizable, ya que no hay volumen inerte como en los módulos.	Más complejo y costoso.
Instalación	Mayor número de tareas a realizar en obra.	Ejecución más simple y rápida.

El elemento básico es el módulo o celda tridimensional (3D), aunque por limitaciones de fabricación, transporte y/o instalación estos puedan ensamblarse en obra a partir de elementos más simples como pilares, vigas, pórticos (componentes lineales 1D) y/o forjados, paneles (componentes superficiales 2D), pero que en cualquiera de los casos siguen una configuración espacial modular.

El criterio fundamental de diseño es que de la fábrica debe salir un sistema lo más acabado posible, buscando siempre dimensiones optimizadas, con las mínimas juntas y que facilite la máxima rapidez de montaje y una solidez constructiva del edificio resultante. El objetivo final es conseguir conjuntos integrados que se conviertan en soluciones estandarizadas, pero sin limitar ciertos parámetros de personalización (acabados superficiales, dimensiones variables, distribución de juntas, equipamiento interior, etc.).

Según el grado de industrialización nos podemos encontrar con distintos modelos:

- **Enfoque integral:** construcción a partir de módulos completos, resultando un mayor grado de industrialización ya que las tareas de obra se reducen al mínimo posible (ensamblaje, remates, etc.). Los módulos resultantes son segmentos enteros de espacios, en los que los suelos, las paredes y los techos, con sus instalaciones, constituyen una única unidad. También es posible encontrarnos con otros elementos prefabricados de hormigón integrados (escaleras, mobiliario interior, etc.).

■ **Unidades de cubierta de la empresa Worldmetor preparadas para ser enviadas a obra.**

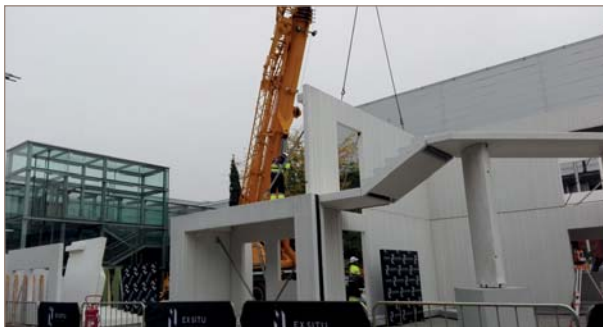


- **Por componentes:** construcción a partir de componentes prefabricados que conformarán el esqueleto principal del edificio (paneles de cerramiento exterior, divisiones interiores, forjado o solado) con menor grado de industrialización, pues resulta un número mayor de tareas en obra. Esta segunda tipología es probablemente la más habitual de lo que se ha denominado como edificación modular pesada, y que podemos asegurar casi como exclusiva de la realizada en hormigón.

En este caso, se distinguen dos sistemas de ensamblaje:

- Sistema estándar, se basa en la unión de tres elementos: pilares, jácenas y placas alveolares, formando la estructura principal. Es muy útil cuando se necesita resolver grandes luces, de espacios diáfanos, sin paredes, en los que la fachada actúa como piel del edificio. Se emplea sobre todo para la construcción de edificios de viviendas, oficinas, hospitales, escuelas, etc. De hasta 20 metros de altura, con o sin sótanos.

■ **Sistema EXSITU presentado durante la pasada feria CONSTRUTEC en 2016.**



- Mediante el ensamblaje de módulos a base de paneles de fachada, aprovecha la posición de las paredes de la fachada, que actúan como elemento estructural, los cuales pueden estar formados por paneles portantes de dos capas de hormigón separadas por un aislante que hace las funciones térmicas y acústicas. Este sistema simplifica el número de operaciones. Es una opción estructural clara en edificios donde su arquitectura permite que la envolvente tenga la suficiente solidez como para actuar como un elemento resistente, simplificando los requerimientos técnicos de la estructura.

Tipos de módulos según la aplicación

Unidades técnicas

Consisten en módulos sencillos para conformar espacios como la cocina, el baño o el garaje que se fabrican monolíticamente, pudiendo incorporar instalaciones como las de fontanería, electricidad, mobiliario, sanitarios, domótica, colectores solares en cubierta, etc., u otras más novedosas como aerotermia o geotermia, con sus respectivos acabados. Una vez terminados, se llevan a obra donde su montaje es relativamente fácil y ágil, pues van acoplados entre los forjados de la estructura del edificio y únicamente se requieren realizar las conexiones de agua, luz, desagüe, ventilación, etc.

Viviendas unifamiliares

Se trata de una tipología edificatoria en franca expansión, especialmente en países con potencial de crecimiento edificatorio. Será sobre la que entremos más en detalle a continuación. Las viviendas se realizan a partir de una serie de módulos que configuran los distintos espacios habitables (habitaciones, salón, etc. además de terrazas, huecos de ascensor, escaleras, distribuidores, etc.). Una de las grandes ventajas que ofrece es la posibilidad de proveer conexiones que permitan futuras ampliaciones, ya sea en planta o en altura, a medida que los propios usuarios puedan sufragarlas o haya necesidades espaciales en el futuro. También está teniendo especial aceptación en la construcción de bungalows en zonas hoteleras.

Edificios en altura

En los proyectos de edificios de varias plantas, las dificultades técnicas son obviamente mayores, habiendo observado construcciones de un máximo de 12 alturas. No por ello se han dejado de hacer bloques de viviendas, sector servicios y oficinas, centros educativos, centros sanitarios y residencias o centros penitenciarios, de los que hay fabulosos ejemplos en Estados Unidos, basados principalmente en enormes módulos 'campana' (con techo, pero sin suelo) de hormigón armado de 9x4 m aproximadamente, que consiguen reducir a la mitad los costes de construcción y los plazos de ejecución de un edificio completo.

Contenedores

Igualmente, este tipo de módulos, se emplean para otras aplicaciones fuera de la edificación como locales para alojar equipos, instalaciones o materiales; armarios de control; casetas para personal de vigilancia o control de accesos; garajes para vehículos, etc.

Un ejemplo ilustrativo es el relativo a las casetas para contener elementos de suministro eléctrico, como los centros de transformación, que cuentan con homologación previa de las compañías eléctricas de cada país.

Pero también podemos incluir en esta categoría a los refugios o bunkers, entendidos como construcciones de uso esporádico que se emplean especialmente en regiones con un gran riesgo de que se desencadenen desastres naturales (vendavales, huracanes, tornados, tormentas, etc.), o incluso en zonas en conflic-

■ **Modelo Family de 3 habitaciones, superficie total construida 127,35 m². (APLIHORSA Modular).**



tos armados, a fin de poder ofrecer cobijo y protección segura a las personas del entorno más cercano mientras se produce el fenómeno. Pueden instalarse en exterior, o soterrarlas para conseguir un mayor nivel de protección.

¿Qué pueden aportar las soluciones prefabricadas de hormigón a esta 'nueva' técnica?

La construcción modular permite aprovechar al máximo las ventajas de prefabricar el hormigón en planta, permitiendo la creación de estructuras completas o parciales en plantas industriales de producción, es decir, la realización de módulos compuestos por varias unidades constructivas que llegan a obra ya terminadas y cuya gestión en obra se limita básicamente al ensamblaje de los mismos. Se ha tomado como modelo otros procesos productivos como las cadenas de montaje, de forma que los trabajadores desempeñan su labor en la factoría y no en la obra, adquiriendo un mayor grado de especialización.

Uno de los datos más reseñables que revelan la creciente aceptación de esta metodología constructiva, lo pone el hecho de que cada vez hay un mayor número de empresas que están apostando por esta línea de negocio. En España estimamos que hay en torno a 20 empresas que ofrecen esta tecnología en hormigón en edificación, siendo una cifra que sigue en aumento. Algunas de estas empresas se han creado únicamente para fabricar y comercializar sistemas modulares de hormigón, mientras que otras que prefabrican otros elementos completan su cartera de producto con un esquema de construcción modular.

Cabe destacar los rasgos característicos de algunas de las soluciones modulares de estas empresas para ilustrar las enormes posibilidades que ofrecen.

APLIHORSA Modular

Esta empresa ha lanzado al mercado un revolucionario sistema de construcción modular de casas, oficinas y locales comerciales. En el caso de aplicaciones residenciales, en lugar de diseñar una vivienda estática dispone de 24 módulos de diseño combinables entre sí, para que cada cliente pueda configurar cada

edificación en función de sus gustos y necesidades con costes cerrados en tres sencillos pasos:

- 1) Selección del modelo de vivienda: cuenta con 5 distribuciones estándar que configuran viviendas desde 2 hasta 5 dormitorios, más el resto de estancias necesarias (baños, cocina, zona de estar con comedor, lavandería, porche de entrada, vestidor, etc.) y de 1 ó 2 plantas de altura;
- 2) Personalización: pueden añadirse tantos módulos como desee (número de habitaciones, ampliaciones de algunas estancias, inclusión de garaje, configuración en altura).
- 3) Elección de los acabados.

También dispone de configuraciones orientadas a la creación de oficinas y cafeterías.

Se estima que el plazo medio de entrega de la vivienda está en torno a 14 semanas.

Bioclimática Modular Concept

El valor añadido de este otro sistema que se comercializa es su enfoque hacia la construcción bioclimática; buscando la máxima eficiencia energética y el menor impacto ambiental. El modelo constructivo requiere la utilización de marcos prefabricados de hormigón, cuyo campo de aplicación principal está en la obra civil. Este tipo de construcción está orientada fundamentalmente a la construcción de viviendas unifamiliares, oficinas, hoteles, bungalows, etc.

El concepto de vivienda bioclimática se aplica en todas las fases del proceso:

- Fabricación: en la elección de materiales de construcción respetuosos con el medio ambiente en todos sus aspectos, por ejemplo, mediante el empleo de cementos ecológicos.
- Transporte: se recurre al punto de fabricación o almacenaje más próximo a la ubicación del proyecto.
- Diseño bioclimático (sostenible):
 - 1) Se utiliza el mejor aislante térmico y acústico natural: la tierra.
 - 2) No eliminando espacios verdes en los proyectos.
 - 3) Integrando cada proyecto en el entorno que lo rodea.

- 4) Utilización de energías renovables para climatización y ACS, empleando biomasa como combustible (balance de CO₂ neutro).
- 5) Grandes superficies acristaladas y utilización de dispositivos Leds, contribuyen al ahorro energético en iluminación.
- 6) Mantenimiento de una temperatura interior constante entre 18 y 22 °C durante todo el año, sin ayuda mecánica, evitando consumos innecesarios de energía por calefacción o refrigeración, con las emisiones de CO₂ asociadas.
- 7) Incluso la empresa tiene como misión la concienciación de los futuros usuarios en el uso y mantenimiento de su vivienda respetando el medio ambiente.

Con estos criterios de diseño bioclimático, se estiman unos ahorros energéticos en calefacción y refrigeración del 87%, electricidad entre el 20 y 30% y agua entre el 20 y 30%.

- Diseño funcional:

- 1) Creación de espacios singulares.
- 2) Personalidad de los diseños de cada proyecto, con la utilización de líneas rectas de trazo simple, creando modelos modernos y atractivos.

Cuenta actualmente con 6 modelos de distribución básicos, que combinan números de habitaciones con otras estancias (cocina, salón, baño/s, garaje), de 1 ó 2 plantas, ya sea integradas en el terreno circundante o cubiertas en todo su contorno superior por una cubierta verde.

Dragados S.A. - Caracola

Ha llevado a cabo multitud de edificios modulares, cubriendo las demandas de los mercados tanto nacionales como internacionales, para múltiples usos:

- Educación: colegios, institutos, escuelas infantiles.
- Sanidad: hospitales, centros de salud, laboratorios.
- Viviendas.
- Oficinas.
- Restauración.
- Ferias y exposiciones: Expo Sevilla 1992, Expo Zaragoza 2008.
- Comisarías, cárceles.
- Centros de tratamiento de extranjeros.
- Etc.

Prefabricados Pujol

Se trata por lo general de viviendas de alto "standing" que tienen un diseño de autor, es decir, cada modelo de vivienda ha sido encargado a un arquitecto especializado que lo ha estudiado y desarrollado con el asesoramiento del equipo técnico de la empresa prefabricadora.

Como muchas empresas de este segmento, esta empresa puede dar al cliente final todos los servicios que necesita para construir su casa: redacción del anteproyecto, proyecto básico, proyecto ejecutivo, geotécnico, topográfico, dirección de obra de aparejador y arquitecto, asesoramiento en la elección de

■ Durante el montaje de las viviendas y el edificio ya terminado. Esta obra se diseñó y fabricó con software plenamente adaptado a la metodología BIM. (Roura Anglada).



los materiales, decorador, gestiones administrativas, e incluso ayudarle a encontrar financiación, o encontrar terrenos donde construir la casa, constituyendo un auténtico servicio de construcción 'llave en mano'.

Las casas *prêt a porter* son mucho más versátiles y libres en las distribuciones que las viviendas prefabricadas modulares, que están limitadas en las geometrías a las medidas de los módulos. En este sistema se puede llegar hasta luces de 10 m, dejando espacios muy libres para distribuir sin limitaciones.

Un aspecto interesante es que la empresa cuenta con acuerdos comerciales con otras empresas de reconocido prestigio para el equipamiento interior de las viviendas (cocinas, baños, sanitarios, etc.).

■ *Instalación de un módulo y viviendas ya terminadas. (Worldmeter).*



Uno de los mejores ejemplos recientes de construcción modular es el siguiente edificio. Se trata de un edificio con tres volúmenes sin alineación e integrados en la pendiente de la montaña. El prefabricado utilizado ha sido el siguiente:

- Forjados con placa alveolar, incluso el forjado sanitario.
- Muros de contención de tipo sándwich.
- Los muros que conforman los cerramientos de los 3 volúmenes sirven también de contención en la parte que queda enterrada. Estos muros tienen su parte vista con acabado coloreado negro y textura con imitación de madera.
- Las separaciones interiores también han sido resueltas con paneles prefabricados de hormigón.
- Todos los muros y separaciones incluyen ménsulas de soporte de forjado.
- Las escaleras también son prefabricadas.

Cabe destacar la Casa Kyoto, vivienda bioclimática que marcó hace más de 10 años, un punto de inflexión en esta técnica. Los muros de contención, fachadas, pilares, jácenas y placas de techo están resueltas con elementos prefabricados de hormigón armado o pretensado, según el caso.

Roura Anglada

Esta empresa fabricante de numerosos elementos prefabricados de hormigón para estructuras, ha evolucionado hacia la consecución de la máxima industrialización de la edificación con el objetivo de reducir los plazos de ejecución y los costes, potenciar la calidad del producto, optimizar los recursos y conseguir un mayor ahorro energético minimizando los residuos.

Con este sistema, por el hecho de no tener pilares y jácenas, los espacios interiores quedan libres, facilitando las distribuciones en las plantas y la circulación y distribución de plazas para los coches en el subterráneo.

Worldmeter

La característica principal es el monolitismo estructural de cada módulo, consiguiendo aunar en un sólo elemento las partidas de cimentación, estructura y albañilería que en la construcción tradicional se ejecutarían de forma independiente. Con este sistema sale de fábrica una vivienda totalmente terminada, dejando apenas alguna tarea sencilla de remate en la obra. Este procedimiento presenta un grado de industrialización máximo

■ Viviendas modulares de hormigón con acabado en imitación madera. (Studio Sculp IT).



que aúna todas las ventajas que proporciona la edificación modular pesada.

Se basa en módulos cerrados de seis caras que aportan una gran robustez mecánica y que ofrecen la posibilidad de apilarse unos con otros para crear edificios de mayor envergadura. Cada módulo se produce en fábrica y se compone de la estructura, instalaciones, aislamiento, carpinterías y acabados.

- Las dimensiones de los modelos pueden variar de forma infinita, ya que el sistema se puede adaptar perfectamente a la geometría del terreno. Las medidas máximas vienen restringidas por el transporte y llegan hasta los 11.000 mm largo x 5.000 mm ancho x 4.000 mm alto. A esto hay que añadir que los ángulos de las caras del módulo pueden ser mayor o menor a 90°.
- Los cerramientos están compuestos por una hoja exterior de espesor mínimo 100 mm de hormigón armado y que puede incrementarse si los requisitos estructurales lo requieren, una capa de aislamiento térmico (determinada según las necesidades energéticas que establezca la reglamentación del lugar de uso) y una hoja interior de 50 mm de espesor de hormigón armado.
- El suelo, el techo y la tabiquería se componen de losas de hormigón armado de espesor variable, según cálculo.
- La resistencia a compresión del hormigón utilizado es 30 Mpa, muy superior a los 25 Mpa del usado en la construcción convencional.

Una vez fabricados los módulos en planta, se transportan en camiones hasta su ubicación definitiva y se instalan mediante grúas de gran tonelaje. Previamente a la ubicación, se ejecutan *in situ* una solera de hormigón que servirá de cimentación para los módulos y la red de saneamiento y las arquetas para los distintos suministros. Las conexiones entre módulos de cada instalación se realizarán mediante cajas o arquetas, y en construcciones.

Ventajas de la construcción modular en hormigón

Como ya se ha indicado, este concepto edificatorio aúna todas las ventajas de la industrialización, maximizadas por utilizar el hormigón como material base:

- Rapidez de ejecución y mejora de los rendimientos globales de la obra, incluso influyendo positivamente en otras unidades de obra (instalaciones, carpinterías, etc.) con un mejor y más ágil solapamiento de oficios.
- El control de calidad se hace en fábrica, mucho más fiable y riguroso que si se hace en obra.
- Coordinación dimensional: este tipo de construcción exige asegurar una total precisión, impidiendo así correcciones posteriores en obra que ocasionan desviaciones en tiempo y coste.
- Capacidad del hormigón (sistemas modulares pesados) frente a otros materiales (sistemas modulares ligeros): durabilidad, resistencia al fuego, mayor aislamiento acústico, ahorro energético (inercia térmica), mayor estabilidad y re-

sistencia estructural (reducción de movimientos, deformaciones dinámicas y vibraciones, ideal para ubicaciones con riesgo sísmico).

- Mejor aseguramiento de los requisitos prestacionales (térmica, acústica, etc.), ya que vienen resueltos por una única empresa de fábrica, al contrario de lo que suele suceder en obra donde interactúan distintos agentes y en fases diferentes (ejecución más complicada, mayor riesgo de puentes térmicos o acústicos, etc.).
- Precio cerrado: control de costes.
- Cumplimiento de plazos: además de la rapidez que es sustancialmente superior a los procesos *in situ*, la influencia de las condiciones climatológicas apenas tiene incidencia (paradas imprevistas).
- Aprovechamiento máximo de los materiales: nula o mínima existencia de escombros, ejecución en seco, resultando un menor impacto ambiental.
- Mayor seguridad laboral: la reducción de oficios elimina en gran medida los riesgos asociados; además, las plantas se van cerrando completamente según se avanza.
- Requerimientos formales: hay empresas con una variedad de acabados, dimensiones, módulos adicionales (sótanos, formación de patios interiores, etc.) que permiten a los futuros usuarios (clientes) personalizar a su gusto la construcción y adaptarse a los condicionantes del entorno donde se instale (flexibilidad en el diseño). Por tanto, posibilidad de compatibilizar la economía de la producción en serie con la personalización del diseño.
- Versatilidad para configurar numerosas construcciones: desde unidades simples (contenedores), pasando por apartamentos de una sola habitación (un módulo) a edificios mayores o también ampliaciones futuras en planta o en altura.
- Por último, uno de los grandes atractivos que lleva a la gente a construir una vivienda modular es su flexibilidad. Estas construcciones evolucionan junto con las necesidades o capacidades financieras de sus propietarios, ya que se pueden ampliar o reducir, añadiendo o eliminando módulos.

Retos a resolver

Las obras son cada día menos una 'fábrica de edificios únicos' y más una extensión de los talleres de montaje. Podemos referirnos al dato de los edificios de la empresa Broad Sustainable Building que solo realiza en obra el 7% de las horas de trabajo totales, que además traslada a sus operarios desde el taller para terminar el trabajo *in situ*.

En algunos ámbitos todavía persiste una percepción errónea sobre los sistemas modulares, vinculándolos a viviendas económicas y de dudosa calidad, cuando es justo lo contrario. Un ejemplo lo ilustra Estados Unidos donde coexisten dos industrias paralelas. Por un lado, empresas de muy alto nivel técnico con elementos tridimensionales configurados por componentes que desarrollan viviendas prefabricadas de excelente imagen y calidad y que admiten la personalización del cliente, convirtiendo la vivienda industrializada

en un producto competitivo en el mercado; y por otro lado, empresas fabricantes de vivienda de poca calidad y alcance local, que apenas han mejorado su producto en las últimas décadas. Esto último puede explicar cierto grado de rechazo social al vincular equivocadamente a construcciones provisionales, baratas o de baja calidad, cuando en realidad se diseñan construcciones de auténtico lujo a un coste razonable. Aquí la industria debe seguir incidiendo en la labor promocional para romper con algunos de estos mitos (por ejemplo, poniendo el acento en el impacto medioambiental de las mismas, cada vez más reducido).

Otro elemento clave es que el alto grado de industrialización de esta metodología de construcción, requiere de altas dosis de I+D+i en búsqueda de soluciones constructivas que permitan optimizar el proceso industrial (mejora de la productividad global), aumentar la calidad final del proyecto (mayor valor añadido), para lo que es fundamental reforzar los lazos de colaboración entre las empresas prefabricadoras y los criterios de diseño de los proyectistas. Al ser elementos voluminosos, el peso puede ser un hándicap para el transporte y/o el montaje, por lo que algunas de las líneas de innovación actuales están encaminadas al uso de módulos fabricados en hormigón de baja densidad, sin armadura metálica y con fibras de carbono, con áridos en base de arcilla expandida, etc.

En conclusión, es tal el grado de perfeccionamiento que se está consiguiendo con esta tipología de construcción que una vez terminadas no se aprecia apenas la diferencia frente a metodología convencional.

Referencias útiles

- [1] Robótica, construcción modular y rendimiento, claves para la industria de materiales en 2017. Alimarket. <http://bit.ly/2in0yNL>
- [2] Módulo 5 Proyectos de edificación modular. Curso de Especialización – Especialidad en Proyectos con prefabricados de Hormigón o Concreto. Maestría Internacional en Soluciones Constructivas con Prefabricados de Hormigón o Concreto. <http://bit.ly/28V7C2g>
- [3] Aplihorsa Modular. <http://aplihorsamodular.com/>
- [4] Bioclimatica Modular Concept. <http://www.modularconcept.es/>
- [5] Dragados S.A. – Caracola. <http://www.caracolaconstruccion.com/cabeceracaracola.html>
- [6] PMP Pret-A-Porter (Prefabricados Pujol). <http://pretaportercasas.com/>
- [7] Roura Anglada. <http://roansa.cat/habitatges.php>
- [8] Worldmetor. <https://www.worldmetor.com>