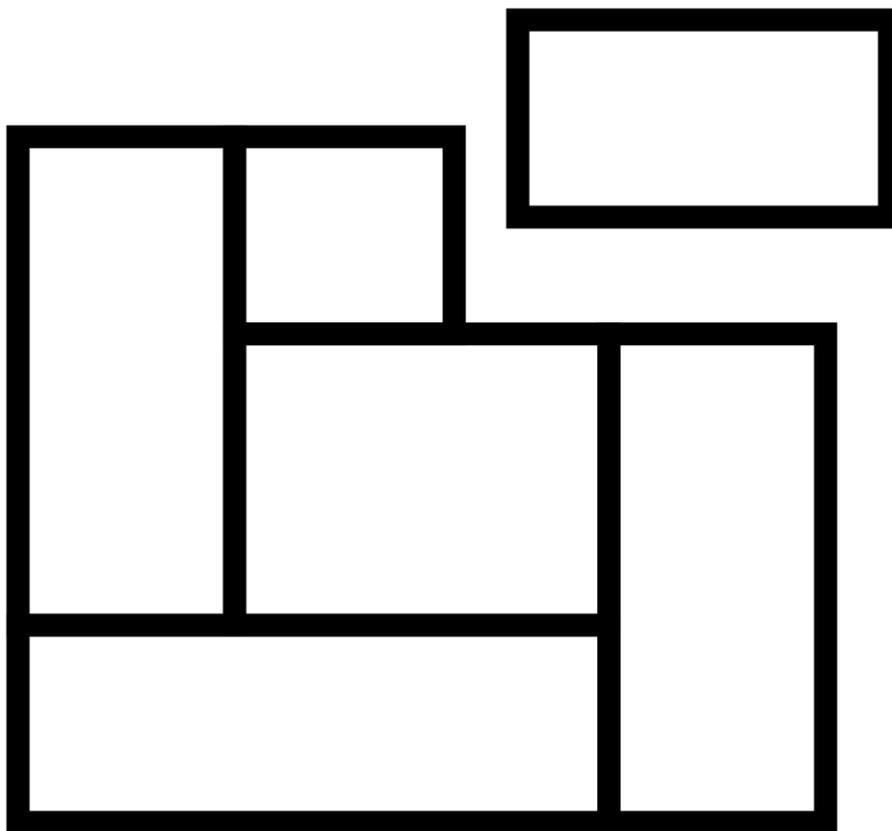


# PROYECTO FINAL DE GRADO

## Estudio de los sistemas de construcción prefabricada



GRADO EN ARQUITECTURA TÉCNICA  
ALUMNO: ANDREU CONESA MILIÁN  
TUTOR: ÁNGEL MIGUEL PITARCH  
CURSO 2022/2023





## Agradecimientos

Este PFG ha sido tutorizado por Ángel Miguel Pitarch Roig, por lo que, en primer lugar, me gustaría agradecerle a él su esfuerzo y dedicación que ha invertido en ayudarme a lo largo del grado.

También quiero expresar mi agradecimiento a mi familia. A María, mi hermana, por la paciencia inagotable que tiene conmigo. A mi padre y a mi madre, por vuestra sabiduría, experiencia y consejos siendo estos los pilares sobre los cuales he construido mi camino académico y personal, asimismo, por ser para mí un modelo a seguir, tanto en el ámbito personal como en el profesional. Gracias a los tres por animarme y motivarme a seguir adelante en los momentos de frustración y debilidad. Y como no, agradecer a mis “iaios” y abuelos por la confianza y estima que han tenido siempre en mí.



## Tabla de contenido

<b>1. Resumen</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Introducción y objetivos</b> .....	<b>6</b>
2.1.    Introducción.....	6
2.2.    Objetivos.....	6
2.3.    Objetivos de desarrollo sostenibles .....	7
<b>3. Antecedentes</b> .....	<b>9</b>
3.1.    Conceptos .....	9
3.2.    Historia de la Arquitectura Industrializada .....	10
3.2.1.    Origen de la construcción industrializada en Estados Unidos.....	10
3.2.2.    Frank Lloyd Wright y el American System-Built Houses.....	12
3.2.3.    Origen de la construcción industrializada en Europa .....	13
3.2.4.    Le Corbusier y las casas en serie .....	13
3.2.5.    Richard Buckminster Fuller y la Wichita House .....	15
3.2.6.    Gropius, Wachsmann y las Packaged Houses.....	16
3.2.7.    Jean Prouvé y las casas tropicales.....	17
3.2.8.    Las Case Study Houses .....	18
3.2.9.    Países Nórdicos.....	20
3.2.10.    Los sesenta y setenta .....	20
3.3.    Situación actual.....	23
<b>4. Sistemas constructivos prefabricados</b> .....	<b>25</b>
4.1.    Componentes lineales.....	26
4.1.1.    Entramados .....	26
4.1.2.    Sistemas pilar-viga.....	31
4.2.    Sistema bidimensional .....	34
4.2.1.    Sistemas de paneles .....	35
4.3.    Sistemas mediante componentes 3D .....	42
4.3.1.    Sistemas mediante construcción integrada.....	45
4.4.    Comparativa.....	48
<b>5. Ventajas e inconveniente de los sistemas prefabricados</b> .....	<b>49</b>
<b>6. Tecnologías en la prefabricación</b> .....	<b>52</b>
6.1.    Diseño .....	52
6.2.    Fabricación.....	52
6.3.    Logística .....	58
6.4.    Transporte .....	59
6.5.    Montaje in situ.....	60
<b>7. Oferta de casas mediante componentes 3D</b> .....	<b>61</b>



7.1.	Casa VIPP (2014), de Bo Jensen y VIPP .....	61
7.2.	Active House B10 (2014), de Werner Sobek.....	63
7.3.	Módulo estructural eMii-C, desarrollado por Compact Habit.....	64
7.4.	Las Viviendas Tapionsolu (1963) de Heikki y Kaija Siren .....	66
7.5.	Bauart homes .....	67
7.6.	Modulab.....	68
7.7.	Typenhaus (2002) de e2a .....	69
7.8.	Módulo estructural eMii-CS, desarrollado por Compact Habit.....	71
7.9.	Villa V (2004) de HŠH architekti.....	72
7.10.	KUB'S BY KIT'S .....	74
7.11.	InHAUS.....	76
7.12.	PORCELANOSA .....	78
7.13.	Neoblock.....	81
<b>8.</b>	<b>Caso de estudio .....</b>	<b>84</b>
<b>8.1.</b>	<b>Selección caso de estudio .....</b>	<b>84</b>
8.1.1.	Casa Esherick (Louis Kahn) .....	84
8.1.2.	Casa Stahl (Pierre Koenig) .....	87
8.1.3.	Casa Villa dall'Ava (Rem Koolhaas).....	90
8.1.4.	Casa Enso II en San Miguel de Allende (HW Studio).....	93
8.1.5.	Casa Paseo Encantado en Tesuque (Carlos Jiménez) .....	94
<b>8.2.</b>	<b>Descripción de la construcción seleccionada .....</b>	<b>96</b>
<b>8.3.</b>	<b>Propuesta de prefabricación .....</b>	<b>97</b>
8.3.1.	Sistema constructivo .....	97
8.3.2.	Diseño .....	99
8.3.3.	Transporte .....	101
<b>9.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>104</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>105</b>
<b>11.</b>	<b>Tabla de ilustraciones .....</b>	<b>109</b>
<b>12.</b>	<b>Índice de tablas.....</b>	<b>112</b>



## 1. Resumen

Este proyecto se ha centrado en el estudio de la vivienda industrializada, analizando su evolución histórica y examinando los diferentes sistemas de construcción prefabricada que se utilizan en la actualidad. Estos sistemas se han agrupado en tres categorías principales y posteriormente se ha llevado a cabo un análisis comparativo entre ellos para comprender sus ventajas y desventajas.

Además, se han investigado las tecnologías involucradas en la prefabricación, abordando aspectos como el diseño, la fabricación, la logística, el transporte y el montaje in situ. Del mismo modo, se ha realizado un estudio de mercado para evaluar la situación actual del sector de la construcción y conocer las diversas opciones ofrecidas por las empresas en la actualidad.

Finalmente, se propone la implementación de los sistemas de prefabricación modular para adaptar un proyecto que originalmente está proyectado para ser construido mediante métodos tradicionales. Asimismo, se ha determinado el sistema constructivo a emplear, se han realizado modificaciones en el diseño de la vivienda y se ha planificado el proceso de transporte de la vivienda hasta su ubicación final en el terreno.



## 2. Introducción y objetivos

### 2.1. Introducción

Para mí, la arquitectura no es simplemente una profesión, sino una forma de percibir el entorno que nos rodea. Esta perspectiva debe impulsarnos constantemente a explorar y buscar nuevos conceptos y desafíos.

Mi fascinación por la vivienda prefabricada surgió mientras buscaba inspiración en las redes sociales. Este concepto me pareció sumamente interesante y decidí investigarlo más a fondo. Por ello, en este Proyecto de Final de Grado, he recopilado información sobre el tema y he plasmado algunas de las ideas que han surgido durante mi investigación.

La idea de fabricar casas de la misma manera en que se producen la mayoría de los objetos cotidianos ha sido una aspiración presente en la mente de los arquitectos desde principios del siglo XX. A pesar de que influyentes arquitectos del movimiento moderno abrazaron la idea de casas producidas en serie por la industria, el sueño de la casa prefabricada todavía no ha sido completamente adoptado por nuestra sociedad.

La producción de casas en serie no se limita a la implementación de procesos eficientes y elementos prefabricados o industriales en distintas proporciones. Se trata de concebir la vivienda como un producto destinado a ser aceptado por las masas y de este modo se pueda escalar su producción convirtiéndose en una opción asequible para un mayor número de personas. Sumado a este, se debe llegar al punto de poder ofrecer numerosas opciones de calidad para que los consumidores puedan elegir.

### 2.2. Objetivos

Mediante este proyecto se pretende adquirir conocimientos acerca del sector de la construcción industrializada entendiendo su evolución a lo largo de la historia y el momento en el que se encuentra.

Del mismo modo se estudiarán los distintos sistemas de construcción prefabricada para desarrollar un criterio personal que permita la selección del sistema más oportuno para cada tipo de situación.

Una vez entendidos los distintos sistemas de construcción prefabricada más comunes actualmente, considero necesario estudiar las tecnologías que se emplean en el proceso de fabricación de la vivienda. Por lo tanto, es de especial interés el análisis del diseño, fabricación, logística, transporte y montaje in situ.



Asimismo, mediante el estudio del mercado se pretende entender la situación actual para hacer una previsión de cómo éste puede desarrollarse durante los próximos años.

Finalmente, se desea emplear los conocimientos adquiridos a lo largo de la investigación para llevar a cabo un caso de estudio. En éste se implementarán los sistemas de prefabricación modular a un proyecto originalmente proyectado para ser construido mediante métodos tradicionales.

### 2.3. Objetivos de desarrollo sostenibles

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son un conjunto de metas propuestas por las Naciones Unidas para dar continuidad a los Objetivos del Desarrollo del Milenio. Estos ODS comprenden 17 objetivos diversos con un total de 169 metas específicas.

En el contexto de mi Trabajo de Fin de Grado (TFG), que se enfoca en la arquitectura prefabricada, se han considerado estos ODS como una guía importante. A continuación, se detallarán qué objetivos y metas específicas están relacionados con el tema de mi trabajo.

En este Trabajo de Fin de Grado (TFG), se investiga y se proporciona información sobre un enfoque diferente en la construcción que tiene como objetivo la industrialización del proceso de edificación de viviendas. Esta innovación tiene el potencial de reducir significativamente los costos de producción de las viviendas, lo que a su vez podría facilitar el acceso a la vivienda para sectores económicamente desfavorecidos, contribuyendo así al logro del Objetivo 1 de las Naciones Unidas, que busca erradicar la pobreza.

La particularidad de este enfoque radica en que la mayor parte del proceso de producción de viviendas se lleva a cabo en entornos controlados de fábrica. Esto proporciona un mayor control sobre la ejecución de la construcción y el uso de materiales, lo que resulta en una reducción de los riesgos de accidentes y en la capacidad de supervisar de cerca la utilización de elementos potencialmente tóxicos.

En última instancia, este método busca no solo optimizar la eficiencia en la construcción de viviendas, sino también mejorar la seguridad y la calidad de estas, con el objetivo de hacer que la vivienda sea más accesible y sostenible para un público más amplio.

Por otro lado, la prefabricación de viviendas también generaría empleos especializados que serían más seguros para la salud de los trabajadores. Se reducirían las largas jornadas laborales en condiciones climáticas extremas, ya que la mayor parte del proceso se llevaría a cabo en recintos cerrados, protegiendo a los empleados de estas condiciones.

Esto se alinea con los Objetivos 3 (Salud y Bienestar) y 8 (Trabajo Decente y Crecimiento Económico).

A pesar de que la prefabricación implica una mayor industrialización del proceso, no necesariamente excluye a los trabajadores artesanales. Gran parte del proceso todavía requeriría trabajo manual. Además, la industria de la prefabricación sigue innovando para encontrar nuevas formas de producción que reduzcan costos, tiempos y residuos, lo que coincide con el Objetivo 9 (Industria, Innovación e Infraestructuras).

En términos del Objetivo 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles), la prefabricación agiliza significativamente el proceso de construcción, lo que puede ser crucial en casos de viviendas de necesidad inmediata o en el acceso rápido a viviendas y servicios básicos después de desastres. También se enfoca en construir viviendas con un alto nivel de eficiencia energética, lo que reduciría el consumo de energía necesario para climatizar los espacios.

Además, al llevar a cabo gran parte de la construcción en entornos industriales, se reduciría la generación de residuos y se facilitaría su reciclaje, lo que se alinea con el Objetivo 12 (Producción y Consumo Responsable).

Considerando el Objetivo 13 (Acción por el Clima), las nuevas construcciones deberían adaptarse al cambio climático. La prefabricación permite la incorporación de materiales reciclados y sostenibles en la construcción, reduciendo la producción de residuos y contribuyendo a la acción climática.



*Ilustración 1 Objetivos de desarrollo sostenible relacionados con la arquitectura prefabricada.*



## 3. Antecedentes

### 3.1. Conceptos

Cuando pensamos en arquitectura industrializada, solemos asociarla con tecnología e innovación. Sin embargo, la construcción industrializada tiene raíces más antiguas de lo que se suele pensar, y su historia es rica y variada.

El término "prefabricación" o "industrialización" abarca un amplio espectro, desde la fabricación en fábrica de componentes específicos hasta la construcción completa de unidades habitacionales que luego se transportan con un alto grado de acabado.

La industrialización se refiere a la organización del proceso productivo de manera racional y automatizada, utilizando tecnologías avanzadas en todas las etapas, desde el diseño y la producción hasta la fabricación y la gestión. Este enfoque busca aumentar la productividad al emplear materiales, transporte y técnicas mecanizadas en serie de manera eficiente.

Conforme pasa el tiempo surgen nuevas necesidades. En el caso de la construcción, la tipología de inmuebles se va modificando a medida que evoluciona el estilo de vida de las personas, de esta forma, se abren nuevas posibilidades, un ejemplo serían las casas prefabricadas. Estas se caracterizan porque parte de ellas o su totalidad es producida en una fábrica y con un montaje posterior in situ.

Ambos términos acostumbra a causar confusión y es comprensible, ya que a menudo se utilizan indistintamente. Cuando se piensa en el concepto "prefabricado" se debe concebir como un término general y utilizarlo para referirse a todo aquello que se construye fuera de su ubicación final. Actualmente, en todos los proyectos de construcción existen elementos que llegan en un grado de prefabricación. Un ejemplo sería las ventanas, las ventanas modernas que conocemos hoy en día, consisten en la combinación de docenas de piezas. El ensamblaje de cada una de las piezas en obra sería un proceso muy costoso propenso a errores. Esto tuvo como resultado el crecimiento de muchos fabricantes de ventanas a inicios del siglo XX. Después de que estos fabricantes demostraran la eficiencia, el ahorro tanto de costes como de tiempo y el aumento de la calidad de sus ventanas, otras compañías empezaron a comercializar "kits para hogares". De la misma forma, otras compañías empezaron a comercializar elementos "paneledos" como paramentos verticales y forjados, facilitando de esta forma el montaje en el sitio. A esto hoy en día se le conoce como construcción prefabricada, pero no modular.

El término "modular" hace referencia a un grado de prefabricación mucho más alto. "Modular" se refiere a unidades más grandes que combinadas entre ellas, forman el edificio completo. Este tipo de arquitectura demanda menos ensamblaje, por lo tanto,



menos trabajo en la ubicación final de la construcción, ya que cada módulo se adapta a un patrón previamente definido.

Para entender mejor la diferencia entre prefabricado y modular se puede recurrir al ejemplo de IKEA, este es un proveedor de kits de muebles prefabricados, que al llegar a casa constan de cientos de piezas que debes ensamblar para obtener el mueble. Por otra parte, un mueble modular, llegaría en pocas piezas que se unirían de una forma sencilla y el tiempo de ensamblaje sería inferior con respecto al de un mueble de IKEA.

## 3.2. Historia de la Arquitectura Industrializada

### 3.2.1. Origen de la construcción industrializada en Estados Unidos

La vivienda industrializada se originó con el propósito de proporcionar refugio para las personas en grandes cantidades de forma, económica, rápida y precisa. Sus orígenes datan de antes de la revolución industrial; surgió de las necesidades de la sociedad y en un principio se desarrolló en situaciones ajenas a la propia vivienda. Sin embargo, la revolución industrial actuó como catalizador del desarrollo en este campo, proporcionando nuevas técnicas y materiales.

En Norteamérica, se puede considerar que la prefabricación de las viviendas se originó en el siglo XVIII cuando los colonos necesitaban construir edificaciones transportables y fáciles de montar en grandes extensiones de terreno con mano de obra poco cualificada. Fue entonces cuando surgió el sistema constructivo *Balloon Frame*, este consistía en la realización de estructuras *off-site* mediante listones de madera más finos, prescindiendo de elementos pesados como vigas y columnas, importados por las colonias europeas. Este nuevo sistema servía de gran utilidad ya que, utilizada materiales propios del lugar, era rápido, económico, ligero y se podía realizar con mano de obra no cualificada. Tal fue su éxito, que, a finales del siglo XIX, representaba entre el 60 y el 70% de las edificaciones totales en Norteamérica; incluso se sigue utilizando esta técnica constructiva hoy en día.

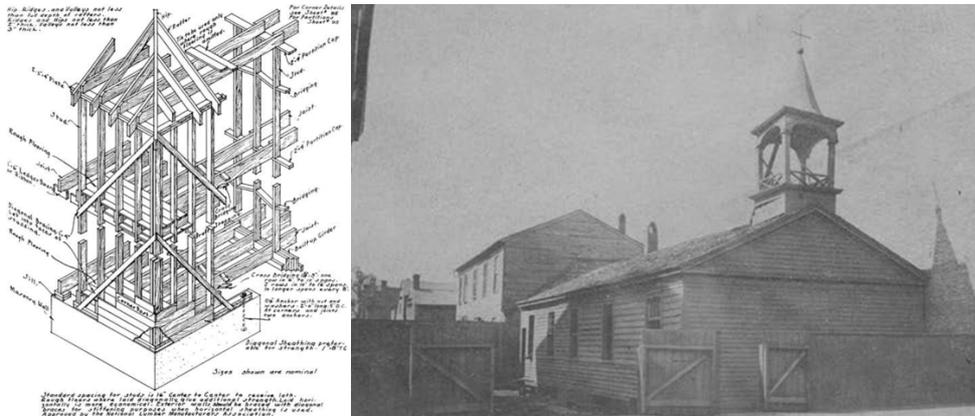


Ilustración 2 Axonometría constructiva del sistema Balloon Frame (The American Institute of Architects) e Iglesia de Santa María de Chicago (Chicago Historical Society), considerado el primer ejemplo de edificación utilizando la técnica de Balloon Frame.

La fiebre del oro de mediados del siglo XIX también contribuyó a la fabricación de casas en serie, debido a la necesidad de asentamientos rápidos en territorios vírgenes. Pero sobre todo fue el impulso propiciado por Agustine Taylor (1872-1928), a quien se le atribuye la invención del sistema constructivo *Balloon Frame* y quien trabajó en métodos racionales de producción eficiente, esto permitió un gran desarrollo de la producción en serie. A partir de este punto, grandes cadenas de almacenes como la cadena Sears, se dedicaron a ofrecer a sus clientes viviendas por catálogos. Incluso el gran inventor estadounidense Thomas Alba Édison llegó a patentar y construir barrios enteros con un sistema de prefabricados de hormigón.



Ilustración 3 Los bestsellers perennes eran versiones suburbanizadas de la casa colonial del centro-pasillo, repletas con buhardillas de ancho completo y nombres americanos, como el Martha Washington (mostrado aquí). (Foto: James C. Massey)

### 3.2.2. Frank Lloyd Wright y el American System-Built Houses

Frank Lloyd Wright, uno de los grandes maestros de la arquitectura moderna del siglo XX, desarrolló entre 1911 y 1917 un sistema innovador para la firma Richards Company: *The American System-built Houses*. En un anuncio publicado en un periódico de Chicago, el sistema se promocionaba con el eslogan "*You Can Own an-American Home*". A través de cientos de planos detallados, Wright diseñó un método para producir partes de edificios de forma industrial y eficiente, permitiendo variaciones personalizadas en el diseño de cada vivienda para reducir el tiempo y los costos de construcción. Aunque el sistema no tuvo éxito en su momento y se abandonó su producción, la fabricación de casas económicas en serie continuó siendo un tema de interés para Wright durante muchos años. En los años treinta, los esposos Jacobs le solicitaron una vivienda que no sobrepasara los 5.000 dólares; para Wright esta limitación se convirtió en un gran reto. ¿Cómo construir una vivienda digna con tan poco dinero?

Según las declaraciones de Wright (1938, citado por Allison y Bryan, 2002):

The house of moderate cost is not only America's major architectural problem but the problem most difficult for her major architects [...] As for me, I would rather solve it with satisfaction to myself and Usonia, than to build anything I can think of at the moment. (p. 19)

Para Frank Lloyd Wright, la vivienda económica tenía una doble importancia: por un lado, permitía a personas con pocos recursos acceder a una vivienda digna; por otro, ofrecía la oportunidad de expresar la individualidad en un contexto de democracia. Esta visión quedó plasmada en las casas usonianas, construidas en serie a partir de componentes prefabricados, que Wright desarrolló en las décadas de 1930 y 1940. Estas viviendas eran un laboratorio de experimentación tanto económico como social, y reflejaban la creencia de Wright de que la arquitectura podía contribuir a una sociedad más justa e igualitaria.

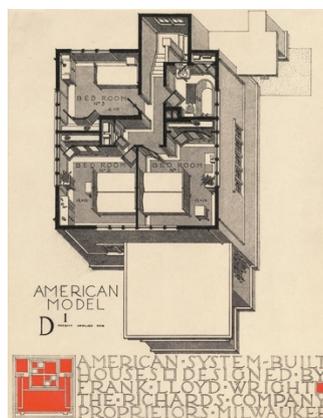
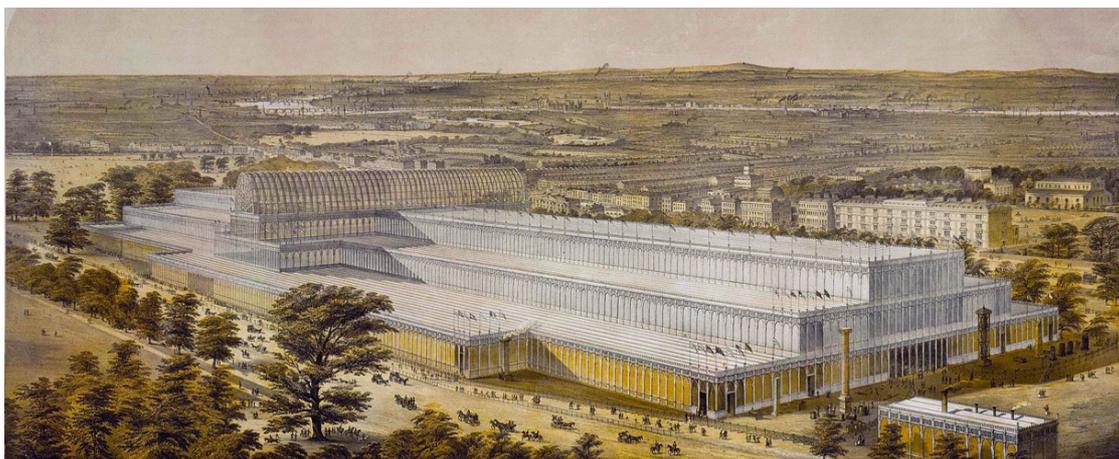


Ilustración 4 Proyecto American System-Built Houses para The Richards Company, 1915 – 1917.

### 3.2.3. Origen de la construcción industrializada en Europa

Los inicios de la industrialización de la vivienda en Europa se diferencian significativamente de lo que ocurrió en América. En el siglo XIX, el arquitecto francés Eugène-Emmanuel Viollet-le-Duc incorporó delgadas estructuras metálicas prefabricadas en varios de sus proyectos, creando un contraste con los gruesos muros de piedra. Otra figura importante en la industrialización arquitectónica europea fue el paisajista inglés Joseph Paxton, quien en 1851 construyó el Cristal Palace, un enorme invernadero de 72.000 m<sup>2</sup> para la Exposición Universal de Londres. Este edificio fue un hito gracias al uso de materiales íntegramente industrializados, lo que permitió reducir su tiempo de construcción a solo 6 meses. En su interior, se combinó la estructura metálica con cerramientos de vidrio para crear grandes luces. El Crystal Palace se puede considerar como el primer edificio prefabricado de gran volumen y fue desmontado y vuelto a montar en numerosas ocasiones en diferentes lugares.

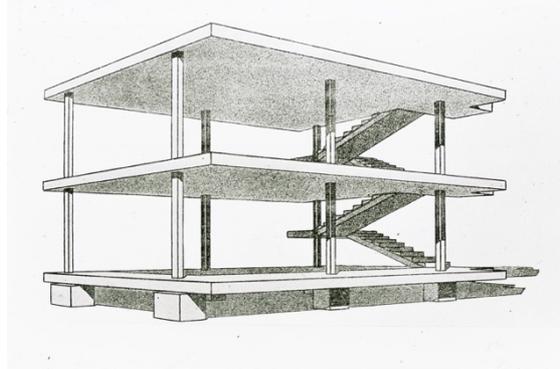


*Ilustración 5 Crystal Palace, 1851, de Joseph Paxton.*

### 3.2.4. Le Corbusier y las casas en serie

Uno de los arquitectos más influyentes del siglo XX, tanto a nivel europeo como a nivel mundial, y que más aportó al entorno de la arquitectura industrializada, fue Charles Édouard Jeanneret-Gris, más conocido como Le Corbusier. En 1914 patentó lo que llamó Maison Domino, un entramado estructural de losas y pilares pretendía que este sistema reemplazara al sistema tradicional de muros de carga. En este sistema se podían ver reflejados los cinco puntos de su arquitectura: la estructura sobre "pilotis", la planta libre, la fachada libre, la ventana longitudinal y la terraza jardín. El sistema Maison Domino posibilita la conexión, el crecimiento, la adaptabilidad y la variedad del conjunto mediante unas piezas regulares. Un ejemplo en el que Le Corbusier utilizó este sistema es el conjunto habitacional de Pessac en Burdeos, consistía en todo un barrio formado a partir de módulos rectangulares subdividibles y aparejables de diversas maneras, conformando bloques de edificios. A lo largo de su vida, plasmó en numerosos escritos

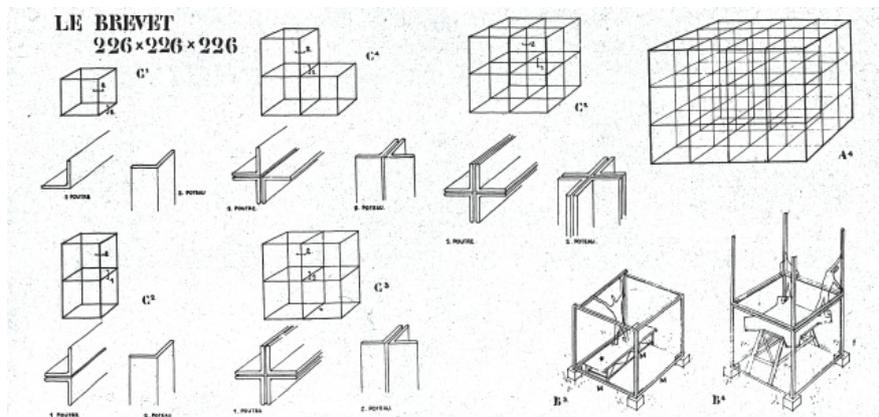
su preocupación por hacer de la vivienda industrializada un motor de transformación de la sociedad.



*Ilustración 6 Maison Domino*

Para Le Corbusier, la industria debía ser el gran aliado para actualizar la arquitectura de principios del siglo XX, en particular la vivienda. “Pour Bâtir: standarisier et tayloriser”, afirmó insistiendo en la necesidad de estandarizar y producir de manera industrial los componentes constructivos. El entendía la casa como una “máquina para habitar”, su obsesión no fue la de convertir la casa en un mecanismo complejo; más bien trataba de convertir la casa en un instrumento eficiente que dignificara la expresión humana, pues para él, la arquitectura era el medio por el cual pretendía emocionar al ser humano.

Durante su extensa carrera realizó numerosos proyectos de casas en serie, un ejemplo con sus propuestas habitacionales Roq et Rob en Cap Martin (1949), donde empleando un sistema de estructuras metálicas al que denominó Brevet 2,26 x 2,26. Este sistema consistía en armar una parrilla tridimensional a partir de perfiles industriales, esta parrilla serviría como soporte de los cerramientos y entresuelos. La propuesta habitacional Roq et Rob se quedaría en proyecto; pero el sistema de perfiles metálicos fue la base para la construcción de otros proyectos como la Maison de L’Homme en Zúrich (1967) o el Pabellón Suizo en la Ciudad Universitaria de París (1931) y la Unité d’Habitation de mediados de 1950, en esta, Le Corbusier se inspiró en dos grandes buques trasatlánticos, con una propuesta de habitabilidad novedosa: en el interior de los edificios se reunía la vida doméstica con otras actividades como el trabajo, el comercio, la educación e incluso el ocio. La Unité se puede llegar a considerar como un micro mundo o un experimento social.



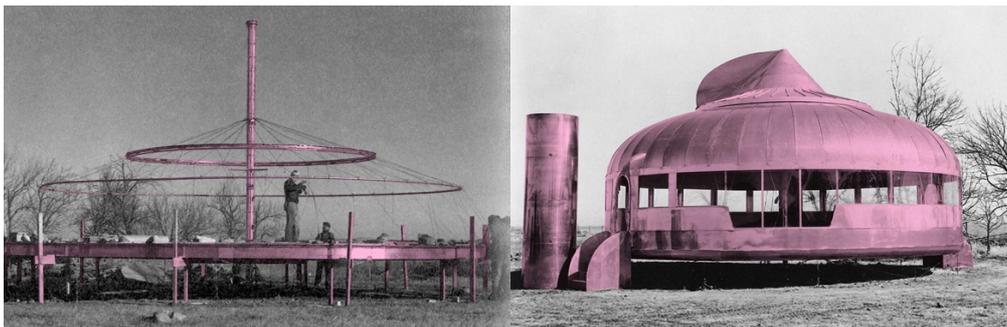
Il·lustració 7 Sistema Le Brevet 2,26x2,26x2,26. Costa azul (Francia). Esquema del sistema, constitución de un volumen habitable alveolar, empleando un solo tipo de angular.

### 3.2.5. Richard Buckminster Fuller y la Wichita House

Richard Buckminster Fuller, un destacado diseñador, arquitecto e inventor estadounidense, hizo importantes contribuciones a la historia de la vivienda industrializada. En la década de 1930, Fuller presentó un sistema conocido como la "Dymaxion House". Esta innovadora vivienda se basaba en una estructura ligera de elementos sometidos a compresión y atados mediante cuerdas que trabajaban a tracción, de manera similar a un puente colgante. Este enfoque revolucionario buscaba abordar las deficiencias percibidas en las técnicas de construcción convencionales de la época.

Más adelante, en 1945, Fuller rediseñó y rebautizó su concepto como la "Wichita House". Su enfoque en la industrialización de la construcción y la optimización de los procesos de fabricación representaron una perspectiva visionaria en la evolución de la vivienda prefabricada.

La contribución de Richard Buckminster Fuller a la vivienda industrializada destacó por su enfoque en la eficiencia estructural y la reinención de las prácticas constructivas tradicionales, lo que marcó un hito importante en la historia de la arquitectura y la construcción.



Il·lustració 8 Dymaxion House

### 3.2.6. Gropius, Wachsmann y las Packaged Houses

Walter Gropius, el arquitecto alemán y fundador de la Bauhaus, introdujo durante sus años como director una formación que combinaba arte y técnica. En 1927, la asociación de arquitectos, artistas e industriales "Werkbund" organizó el certamen de la Weissenhof en Stuttgart, donde los mejores arquitectos europeos presentaron sus diseños. Gropius propuso una vivienda modular construida con materiales secos y una estructura de metal revestida con paneles de fábrica.

La contribución más importante de Gropius a la vivienda prefabricada se presentó en Estados Unidos, mientras dirigía la Escuela de Arquitectura de Harvard. En colaboración con el arquitecto alemán Konrad Wachsmann, desarrolló las llamadas Packaged Houses a principios de los años cuarenta. Estas casas se construían con paneles de madera ensamblados mediante pletinas metálicas en forma de L, T y X, lo que permitía una gran flexibilidad en el diseño y adaptación a distintas situaciones, este sistema se conoce como *General Panel*. Aunque no tuvieron una gran aceptación en Estados Unidos y se vendieron menos de 200, estos diseños mostraron la importancia de procesar industrialmente los materiales, mejorar el diseño de los componentes y establecer mecanismos de modulación para aumentar la rapidez y eficiencia en el proceso de montaje.

A pesar de los fracasos, Gropius y Wachsmann demostraron la necesidad de procesar industrialmente los materiales, mejorar el diseño de los componentes y establecer mecanismos de modulación para aumentar la rapidez y eficiencia en el proceso de montaje de las viviendas.

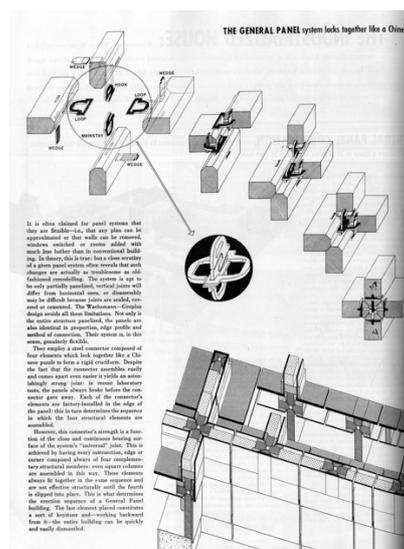


Ilustración 9 "El sistema GENERAL PANEL se traba como un rompecabezas chino." A partir de (Architectural Forum, febrero de 1947): 116.



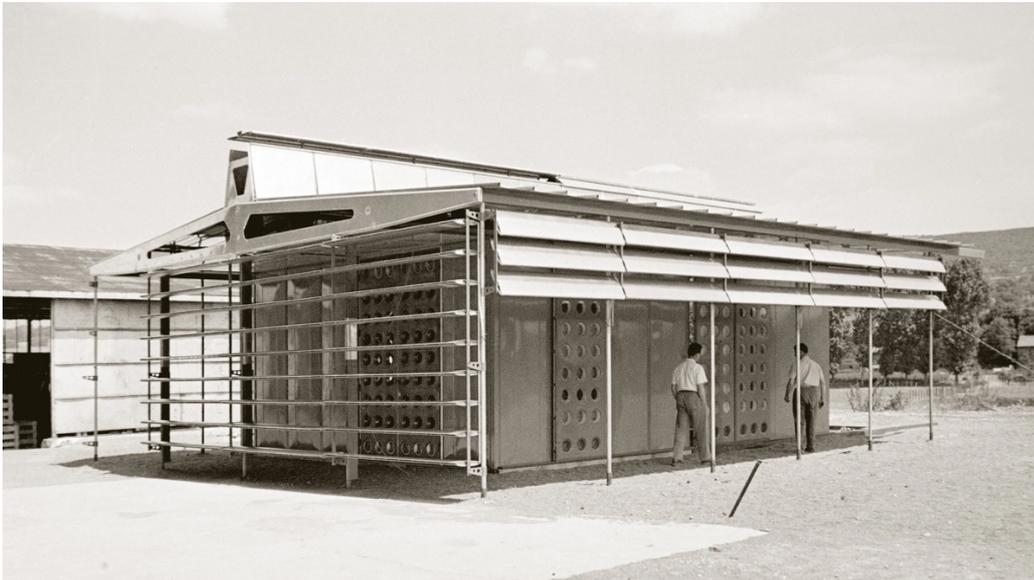
### 3.2.7. Jean Prouvé y las casas tropicales

Arquitecto y metalúrgico francés, coetáneo de Le Corbusier. Dedicó gran parte de su vida al diseño y producción de mobiliario, al desarrollo constructivo de proyectos que le facilitaban reconocidos arquitectos, entre ellos Le Corbusier, y a resolver el gran dilema de la construcción industrial, en particular de la vivienda.

A pesar de que Prouvé no contaba con una formación como arquitecto, sí que poseía un amplio conocimiento de la técnica, especialmente en el campo de la metalurgia, ya que poseía una fábrica donde podía hacer experimentos y desarrollar prototipos para comprobar sus ideas.

En 1949, el Ministerio de Reconstrucción Francés le encargó la realización de 14 viviendas en Meudon, una pequeña ciudad cerca de París. Se trataba construcciones realizadas a partir de un entramado metálico con pórtico central y cerramientos de paneles sándwich, pudiendo ser estos de madera o metal, todo ello elevado del suelo, sobre muros de mampostería.

Entre 1949 y 1951, Prouvé realizó las casas tropicales, estas estaban completamente elaboradas en metal y con unas consideraciones técnicas para poder ser llevadas y ensambladas en el trópico. Pues al igual que las viviendas Meudon, también fueron un encargo del gobierno francés, pero en este caso para ser edificadas en las antiguas colonias del norte de África. Las particulares condiciones meteorológicas presentes en el trópico hacen que Prouvé adopte una serie de medidas para dichas viviendas, tales casas estarían levantadas del suelo con el fin de evitar las posibles filtraciones producidas por la humedad presente en el suelo, tener grandes aleros alrededor de toda la edificación con la finalidad de dar sombra a la vivienda atenuando el sol tropical, generando a la vez unos espacios protegidos de las lluvias, las paredes metálicas estaban perforadas con ventanas ojos de buey, con la finalidad de permitir la refrigeración de los espacios interiores de la estancia. En estas viviendas se puede apreciar un gran interés por parte del arquitecto en resolver las situaciones climatológicas del lugar, lo que da a pensar que Prouvé tenía una gran consideración bioclimática y sostenible.



*Ilustración 10 Casa Tropical de Jean Prouvé*

A pesar de que Prouvé terminó fuertemente endeudado debido a sus propios experimentos, construyó su propia casa en Nancy, donde demostró que los componentes de fábrica podían ser intercambiables y que sus ideas de prefabricación eran completamente aplicables. En definitiva, la carrera de Jean Prouvé muestra su gran interés por resolver las situaciones climatológicas y por la bioclimática y la sostenibilidad.

### **3.2.8. Las Case Study Houses**

En 1945 surgieron edificaciones a partir de la iniciativa de la revista Arts & Architecture, la cual convocaba concursos para diseñar casas modernas de bajo presupuesto utilizando materiales industrializados. Estos concursos buscaban vincular el arte, la arquitectura y la industria de la vivienda. Se presentaron alrededor de treinta proyectos, pero no todos fueron construidos.

Esta iniciativa supuso un gran avance tecnológico en la producción industrial, así como una depurada estética en la vivienda. Muchas de estas casas empleaban finas estructuras metálicas, cubiertas planas, cerramientos en paneles modulares y grandes planos vidriados que permitían una relación fluida entre el interior y el exterior.

Entre las casas más representativas, se encuentra la Case Study House nº8 de 1950, diseñada por los esposos Ray y Charles Eames. La casa se compone de dos volúmenes conectados por un patio, uno de ellos funciona como residencia y el otro como taller de trabajo. Ambas construcciones están completamente moduladas y cuentan con una cubierta plana de láminas metálicas sobre estructuras de carchas y perfiles metálicos. Los cerramientos consisten en paneles de contrachapado de distintos colores y planos

vidriados, todos de producción industrial. El concepto de esta casa se asemeja a una nave industrial, lo que crea un contraste interesante con el interior decorado con objetos de diseño adquiridos por la pareja en sus viajes.



*Ilustración 11 Case Study House n°8 de 1950, diseñada por los esposos Ray y Charles Eames.*

Otra Case Study House relevante fue la n°18, diseñada y construida por Craig Ellwood. La estructura era tubular ligera, con paneles prefabricados opacos o traslúcidos y una cubierta metálica plana. El uso de paneles con distintos acabados permitió dotar a la vivienda de una zona de mayor privacidad y una zona más abierta al público. Ellwood resolvió la vivienda con pocas piezas, reduciéndose a tubos de sección cuadrada de 2 x 2 pulgadas, paneles rectangulares ligeros y perfiles angulares para fijar dichos paneles.



*Ilustración 12 Case Study n°18 diseñada por Craig Ellwood*



### 3.2.9. Países Nórdicos

Es interesante destacar que, en ciertos lugares, la construcción prefabricada de edificios se llevó a cabo de manera particular, es el caso de los países nórdicos donde esta técnica experimentó un auge importante después de la Segunda Guerra Mundial.

Uno de los arquitectos más representativos de la arquitectura escandinava es Jørn Utzon, quien se enfocó en desarrollar soluciones rápidas, económicas y de bajo presupuesto. Su sistema, llamado Expansiva, consistía en una variedad de módulos con usos específicos: algunos pequeños para baños y cocinas, otros medianos para habitaciones, y los más grandes para las salas de estar. Los módulos podían ser combinados de diferentes maneras para lograr distintas configuraciones y geometrías, como si se tratara de un juego de piezas tipo Lego.

En Finlandia, Alvar Aalto también se interesó en el diseño de casas en serie, como sus cabañas de madera para los trabajadores de la compañía A. Ahlström. Para ello, desarrolló el sistema AA-System Houses, el cual se basó en los conocimientos adquiridos durante su investigación en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) para producir la máxima flexibilidad a partir de piezas estandarizadas. Los estudios de Aalto sentaron las bases para que algunos de sus colaboradores y amigos pudieran continuar con esta labor, como el arquitecto sueco Sven Markelius, quien lideró la comisión de estandarización de la vivienda en su país. Para Markelius, la estandarización no debía limitarse a la vivienda en sí, sino a sus partes, permitiendo una mayor variedad en el conjunto a partir de la modulación de las partes industrializadas.

En 1968, surgió un proyecto de casas industrializadas conocido como Moduli 225, resultado del trabajo conjunto de Kristian Gullichsen y Juhani Pallasmaa para resolver la construcción de viviendas vacacionales. Este sistema se basó en una retícula estructural y las posibles combinaciones de paneles de dimensiones normalizadas. La retícula estaba formada por cubos de 2,25 metros de lado, mientras que el esqueleto estructural estaba compuesto principalmente por elementos de madera, a excepción de los elementos de conexión, que eran metálicos. Los pilares y vigas tenían un tamaño de 9,2 cm de lado, aunque las vigas tenían mayor canto. Los paneles prefabricados resolvían tanto los paramentos verticales como los horizontales, y su calidad variaba en función de su exposición a la intemperie.

### 3.2.10. Los sesenta y setenta

Alrededor de los años sesenta, se da una búsqueda de una nueva arquitectura entendida como sistema. Para aquellos arquitectos de la alta modernidad, la coordinación modular fue como si se tratase de la búsqueda filosófica de una técnica de ingeniería. La visión de los arquitectos se invadió por los términos “sistema” o “cibernética” y se aceptó la idea de que la electrónica y la maquinaria pudieran ser orgánicas. En este momento de la

historia ya no se habla de objetos delimitados y terminados sino de una arquitectura orgánica que permite la variación y el crecimiento. El Conjunto de viviendas Habitat '67 para la Feria Exposición de Montreal es un claro ejemplo, en estas, el arquitecto Moshe Safdie, utiliza unos módulos prefabricados de hormigón sobreponiéndolos entre ellos llegando a crear de esta forma un llamativo conglomerado de volúmenes y transparencias.



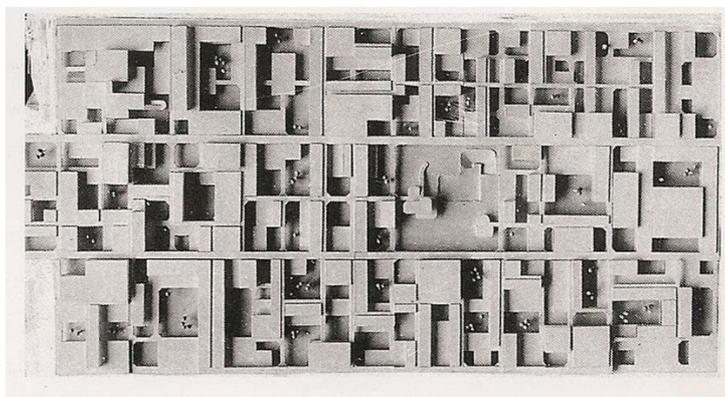
*Ilustración 13 Conjunto de viviendas Habitat '67, del arquitecto Moshe Safdie*

En este periodo, el grupo inglés Archigram, experimenta con ciudades utópicas, formadas por mega edificios, algunos de ellos con patas que permiten su desplazamiento como si de arañas se tratase, un ejemplo es la Plug-in City, esta ciudad pretende estar siempre en constante cambio gracias al uso de componentes estandarizados. El grupo Archigram, fue influenciado por la visión futurista de Buckminster Fuller y por el movimiento metabolista, en este, también se concebía la arquitectura y el urbanismo como un conjunto de estructuras flexibles que se podían adaptar como si de organismos vivos se tratase. Un claro ejemplo es la Torre Nagakin, del arquitecto japonés Kishio Kurokawa, es sin duda un ejemplo de edificio análogo a un árbol, consistiendo en un tallo central al que se acoplan unas capsulas prefabricadas de hormigón. En el interior de estas capsulas existen todas las comodidades y adelantos tecnológicos para estar en contacto con el mundo exterior.



*Ilustración 14 Torre Nagakin, del arquitecto Kishio Kurokawa*

A principios de los años setenta se empieza a hablar de un tipo de edificaciones con la posibilidad de un crecimiento ilimitado, estas edificaciones son bautizadas por Alison Smithson como Mat-Buildings, en un artículo de 1974 en el que habla sobre construcciones con capacidad de adaptación y crecimiento. El proyecto ganador del concurso para la Universidad libre de Berlín, proyectado por el equipo Candilis, Josic & Woods, quienes habían trabajado con Le Corbusier, contaba con un entramado que permitía la extensión de las aulas y demás dependencias de la universidad, marcando de esta forma un hito en la industrialización de la construcción, pues todas sus partes estaban ejecutadas en fábrica, los pilares y vigas eran prefabricados de hormigón, las divisiones interiores estaban hechas a partir de paneles a medida. Otro ejemplo de Mat-Building es el proyecto de Hospital de Venecia de Le Corbusier no obstante este no se llegaría a construir.



*Ilustración 15 Proyecto ganador del concurso para la Universidad libre de Berlín, proyectado por el equipo Candilis, Josic & Woods*



### 3.3. Situación actual

En los últimos años, la construcción industrializada a partir de módulos ha tenido una gran expansión, con una variedad de usos, desde residencial a oficinas, escuelas, gimnasios, etc. Generalmente se relacionan las construcciones industrializadas con “cajas” estandarizadas al estilo contenedores marítimos, de transporte pesado y montaje rápido. El uso de estos contenedores está de moda debido a su rapidez de montaje, con su inconveniente del transporte pesado y el hecho de que se necesite adaptarlos para hacer posible la vida doméstica en su interior, pues su uso principal no es el de ser habitado sino el de transportar mercancías. Otros ejemplos de construcciones armadas completamente en fábrica, que se pueden transportar mediante camiones o helicópteros, son, por ejemplo, el Loftcube en Alemania, un módulo “parásito”, o el Micro compact Home, un módulo de vivienda mínima y compacto diseñado para estudiantes universitarios.

En los años 2000 surgen novedosos puntos de vista para la vivienda industrializada. Estas divulgaciones nos hacen pensar que las tecnologías que hoy en día se encuentran a nuestra disposición, son mucho más avanzadas que aquellas que se tenían al comienzo de la modernidad, por tanto, se anhela que estas nuevas tecnologías nos permitan alcanzar el sueño de las viviendas en serie. Stephen Kieran y James Timberlake, en su libro *Refabricating Architecture*, sostienen que, a lo largo del siglo XX, la fabricación de viviendas en serie fue un continuo fracaso, causado por una serie de limitaciones como la estandarización, la monotonía y el cansancio que esta puede producir, sin embargo, no obstante, los autores afirman que con los medios y tecnologías existentes hoy en día se puede llegar a superar dichas dificultades presentes en el siglo pasado.

En el 2008, el MOMA de Nueva York, hizo una exposición llamada *Home Delivery*, esta consistía en una recopilación de las viviendas industrializadas más importantes hasta ese momento. Paralelamente a esta exposición, en el solar contiguo al museo, se construyeron unos cuantos prototipos de viviendas industrializadas.

El Solar Decathlon es otro evento que se asemeja a la *Home Delivery*. Se trata de una competición que se celebra cada dos años, enfocada en el diseño y construcción de viviendas altamente eficientes y sostenibles alimentadas por energía solar. Los equipos participantes tienen la tarea de crear casas que sean asequibles, extremadamente eficientes en el consumo de energía y capaces de generar su propia electricidad a través de sistemas solares fotovoltaicos. Además, se espera que estas viviendas sean funcionales y cómodas para el uso diario. Durante la competición, los equipos compiten en diversas categorías, que abarcan desde arquitectura e ingeniería hasta eficiencia energética y operación y mantenimiento. El objetivo principal es desarrollar viviendas sostenibles que puedan servir como modelos para futuras construcciones residenciales. Además, el Solar Decathlon busca promover la adopción de tecnologías solares y prácticas de construcción sostenible en la industria de la vivienda.



Con las actuales demandas de viviendas en el mundo, con el uso de las nuevas tecnologías, debemos implementar nuevos procesos con el fin de optimizar el uso de los recursos naturales y de esta forma poder alcanzar el fin de la fabricación industrial de las viviendas de manera intensiva sin llegar a renunciar a la individualidad de los usuarios.



## 4. Sistemas constructivos prefabricados

La construcción prefabricada se basa en la fabricación en talleres de elementos específicos, tanto simples como complejos, que luego se transportan a la obra para su ensamblaje. De esta manera, este enfoque constructivo ofrece una mayor garantía en términos del producto final.

La fabricación de estos elementos prefabricados se lleva a cabo en un entorno de trabajo más seguro, con un control más estricto del proceso de producción en términos de calidad y tiempo. Además, esto proporciona mayor seguridad a los trabajadores y contribuye a reducir el consumo de recursos y la generación de residuos. La construcción prefabricada se caracteriza por ser una forma de construcción en seco, en la que los elementos se ensamblan en el lugar de trabajo sin necesidad de utilizar materiales hidráulicos, lo que disminuye considerablemente el consumo de agua en comparación con la construcción tradicional. Asimismo, requiere menos energía debido a la simplicidad del proceso de instalación y a los plazos de ejecución más cortos.

En consecuencia, la construcción prefabricada demanda una etapa inicial de diseño y planificación más detallada. Para esto, se utilizan herramientas BIM que aceleran el proceso de diseño. Estas herramientas permiten crear un modelo virtual en 3D que contiene toda la información necesaria, como detalles técnicos de los materiales, aspecto estético, mediciones precisas, costos, análisis del ciclo de vida, generación de residuos, consumo de energía, entre otros. Esto no solo agiliza el diseño, sino que también permite anticipar y evaluar el proceso de construcción después de la etapa de diseño.

Por último, dado que estos elementos prefabricados no disponen de normativa de referencia, resulta interesante la obtención de una nueva Evaluación Técnica Europea (ETE) por parte de los fabricantes que en el caso de España puede ser un Documento de Adecuación al Uso (DAU), concedido por el Instituto de Tecnología de la construcción de Cataluña (ITeC), o un Documento de Idoneidad Técnica (DIT) concedido por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETCC). Estos documentos permitirían a los profesionales verificar el cumplimiento de las normativas del Código Técnico de la Edificación (CTE). En la construcción prefabricada, los elementos fabricados se someterían a pruebas y ensayos con el fin de medir de manera objetiva aspectos como la seguridad estructural, eficiencia energética, seguridad en caso de incendio, entre otros. Estos requisitos son esenciales para que las soluciones innovadoras propias de la construcción prefabricada puedan establecerse en el mercado como opciones viables desde el punto de vista técnico.

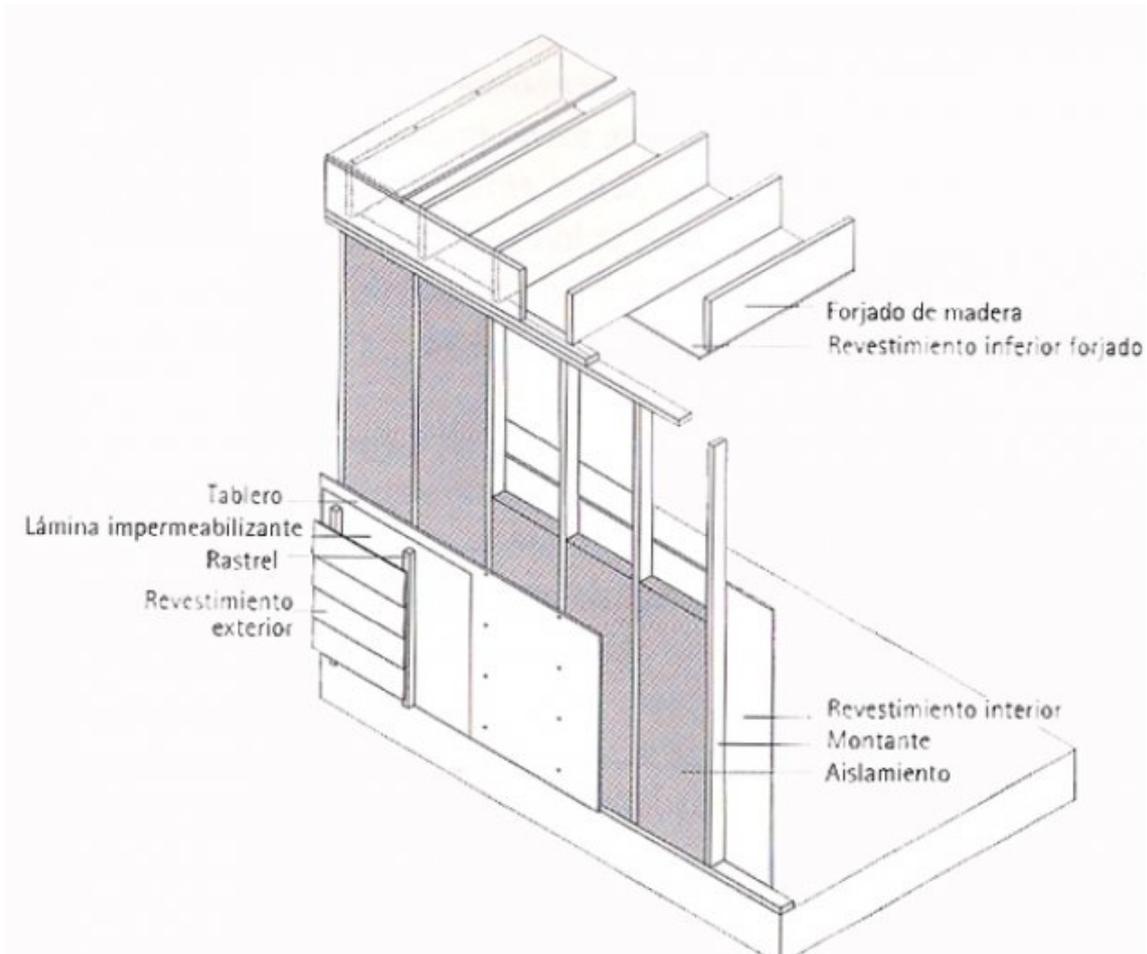


## 4.1. Componentes lineales

Los sistemas de construcción lineales se caracterizan por tener una dimensión predominante sobre las demás. Entre los componentes lineales, destacamos aquellos formados por entramados, como el Balloon Frame, el Platform Frame o el Steel Frame. Además, existen sistemas que se basan en una estructura de pilar-viga, que puede estar construida en metal, madera o hormigón.

### 4.1.1. Entramados

Los sistemas de entramados se caracterizan por el uso de componentes lineales en la construcción, en contraposición a la estructura tradicional de vigas y pilares. En estos las cargas se transmiten a través de estructuras lineales que conforman las superficies de muros, tabiques y forjados. Los entramados portantes se completan con diversos sistemas para cerramientos y cubiertas. Entre ellos, el Balloon Frame se destaca, consistiendo en la unión de elementos lineales de madera mediante clavos para formar bastidores. Una vez ensamblada la estructura, se añaden tableros de madera que se fijan a la estructura. Para los cerramientos, es común ejecutarlos en el suelo y luego elevarlos para su colocación.



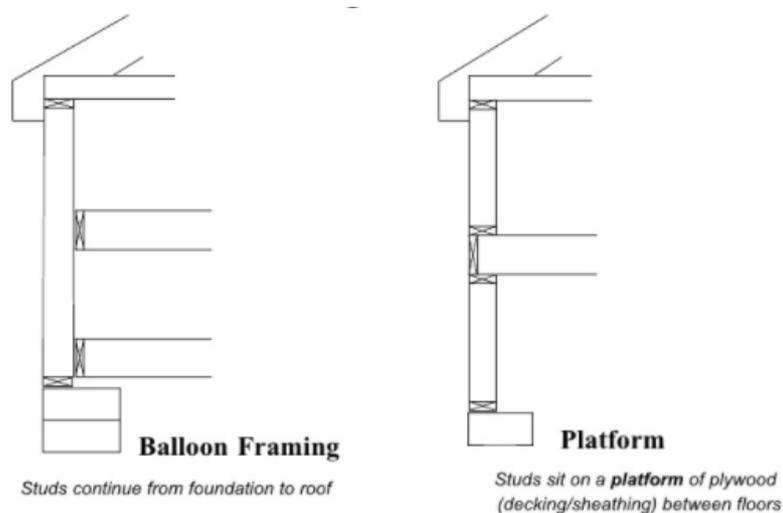
*Ilustración 16 Axonometría constructiva del sistema Balloon Frame*

Otro sistema de entramado sería el denominado Platform Frame, este comparte muchas similitudes con el Balloon Frame, pero presenta algunas diferencias notables gracias a su evolución. En este método constructivo, la vivienda se construye planta por planta, lo que provoca una interrupción en la continuidad de la estructura debido a los forjados. Esta modificación se debe a las dificultades para encontrar y transportar elementos de longitud suficiente. Además de las ventajas previamente mencionadas, esta división en plantas proporciona una mayor resistencia al fuego, ya que los forjados impiden su propagación entre los distintos niveles.



*Ilustración 17 Vivienda unifamiliar ejecutada con el sistema Platform Frame*

El entramado del sistema Platform Frame se puede dividir en tres grupos principales: el entramado vertical de los muros, el entramado horizontal de los forjados y el entramado de la cubierta. Como se mencionó anteriormente, en el Platform Frame, los muros se dividen en cada planta mediante los forjados, sobre los cuales se apoyan. En cuanto a la cubierta, el entramado es el mismo tanto en el Platform Frame como en el Balloon Frame. Este sistema cuenta con dos tipos de cubierta: plana e inclinada. La pendiente en las cubiertas inclinadas se logra mediante la utilización de cerchas prefabricadas.



*Ilustración 18 Diferencias entre el Balloon Frame y el Platform Frame*

En este sistema, se introduce un proceso adicional que implica el panelado de elementos en un taller, lo que contribuye a la reducción del tiempo de construcción en el sitio. Previamente al montaje de los elementos lineales portantes en la obra, se les agregan placas de madera u otros materiales tratados. Esto permite que, a medida que se crea la estructura, también se coloquen los cerramientos con sus acabados correspondientes.



Además, con este enfoque de paneles, no es necesario el uso de elementos diagonales para resistir los esfuerzos transversales, como sí que ocurría en el Balloon Frame.

El proceso de panelado en taller resuelve varios de los desafíos que presenta el Platform Frame cuando se construye completamente en la obra. Una de las ventajas principales de este sistema, además de las mencionadas anteriormente, es la capacidad de integrar carpinterías e instalaciones directamente en la fábrica. Esto reduce aún más el tiempo necesario en la obra. Además, la aceleración en el proceso de construcción también reduce los posibles daños causados por las condiciones climáticas. Otra ventaja relevante de este enfoque es la mayor resistencia sísmica que se logra al unir los paneles a la estructura.

Steel Frame es una variante del Balloon Frame, conocida como sistema de construcción en seco, que emplea perfiles de acero galvanizado de poco espesor en lugar de madera. Los elementos lineales son unidos mediante tornillos autoperforantes, lo que mantiene la simplicidad en el proceso de montaje. Esta evolución del método previo utiliza un material más duradero, ya que el acero galvanizado no es susceptible a la pudrición por humedad ni al ataque de insectos xilófagos. Además, ofrece una mayor resistencia a movimientos sísmicos potenciales.

La ejecución de este método de construcción implica la unión de los perfiles de acero galvanizado para formar bastidores. Estos bastidores actúan como soportes para las diversas capas y planchas que conforman las paredes, suelos y techos. Los perfiles pueden tener diferentes formas, como U, L, S, C, siendo los perfiles en forma de U los más comunes. Además, estos perfiles cuentan con perforaciones que permiten el paso de instalaciones eléctricas y de fontanería.

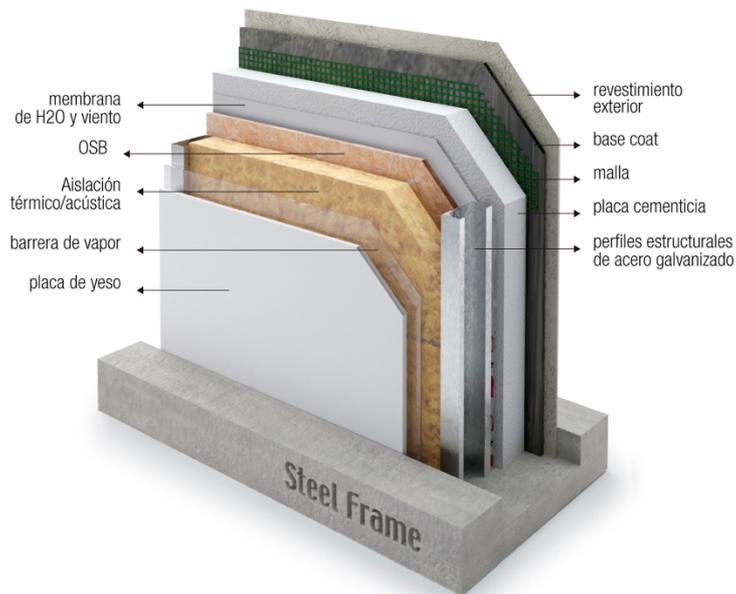


*Ilustración 19 Vivienda unifamiliar ejecutada con el sistema Steel Frame*

A pesar de compartir el mismo nombre, es importante distinguir este tipo de construcción de otro que se basa en el uso de perfiles IPN para formar un sistema de vigas y pilares pesados, el cual abordaremos más adelante como un tipo de estructura de viga y pilar.

El sistema que estamos analizando es similar al conocido como Drywall, que consiste en utilizar bastidores metálicos a los cuales se les agregan placas de cartón-yeso. La diferencia más significativa radica en que, en el Steel Frame, estos perfiles se colocan más cerca entre sí, creando una estructura considerablemente más rígida. Además, en este sistema, hay una mayor variedad de materiales utilizados en las capas, no limitándose únicamente a las placas de yeso laminado.

Cabe mencionar que el sistema de Drywall se utiliza principalmente para cerramientos o divisiones interiores, mientras que el Steel Frame actúa simultáneamente como estructura y cerramiento. En el Steel Frame, es común emplear diferentes materiales, como fibra de vidrio, fibrocemento o polímeros, para funciones de aislamiento, junto con placas de yeso o cerámicas para acabados tanto en interiores como en exteriores. Este enfoque permite lograr un mayor nivel de versatilidad y eficiencia en la construcción.



*Ilustración 20 Esquema de las distintas capas utilizadas en el sistema Steel Frame*

Es cierto que todos los sistemas mencionados anteriormente representan en cierta medida un desarrollo y evolución del Balloon Frame, ya sea mediante la utilización de distintos materiales o la introducción de componentes diferentes. Tanto aquellos basados en la madera (Balloon Frame y Platform Frame) como los que se apoyan en el acero (Steel Frame) presentan un desafío en términos de diseño de aberturas amplias en muros y cerramientos, debido a la necesidad de mantener la integridad estructural de estos elementos. Lo mismo se aplica a los huecos en los forjados del Platform Frame.

En respuesta a estas limitaciones, varios arquitectos comenzaron a buscar soluciones que incorporaran elementos y materiales diversos para mejorar la flexibilidad y versatilidad de estos sistemas constructivos. Estos cambios han permitido la apertura de vanos más grandes en los cerramientos y muros, lo que a su vez ha influido en la apariencia estética y la funcionalidad de las edificaciones.

#### **4.1.2. Sistemas pilar-viga**

El sistema de construcción viga-pilar, en contraposición a los sistemas de construcción difusa donde la estructura y el cerramiento estaban integrados, introduce una separación entre los elementos lineales horizontales y verticales. Esta separación permite crear edificaciones con luces más amplias y espacios de planta libre.

En este enfoque, la estructura se compone de elementos lineales horizontales que se apoyan sobre elementos verticales. Esta configuración posibilita la construcción de estructuras con mayores espacios y menos restricciones en términos de diseño. La

separación entre la estructura y el cerramiento permite la utilización de diversos materiales para los muros. En la actualidad, la estructura suele prefabricarse en talleres y luego se completa el cerramiento en el sitio de la construcción, agilizando así el proceso. Los cerramientos pueden ser elementos prefabricados que solo requieren ensamblaje en el lugar de la obra.

Como en los otros sistemas, este mismo método aparece con distintos materiales: acero, madera y hormigón, entre otros. Se van a analizar brevemente cada uno de los distintos tipos, así como sus uniones.

En este sistema, la base sobre la que se asienta el edificio es esencial. Hay opciones para la cimentación, y dependiendo del material de la estructura, puedes elegir cómo hacerlo. La primera opción es el hormigón in-situ, que significa que se vierte el hormigón directamente en el lugar de construcción. Esto puede adaptarse de diferentes maneras según el material utilizado en la estructura. Puedes lograr conexiones sólidas entre la base y los pilares o vigas utilizando diferentes técnicas.

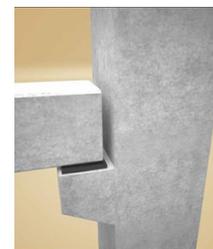
La segunda opción es el uso de bloques prefabricados que funcionan como una especie de zapata. Estos bloques pueden venir con partes ya unidas a ellos, lo que acelera el proceso. Son una forma práctica de establecer una base sólida para la estructura.



*Ilustración 21 Estructura prefabricada de madera.*



*Ilustración 22 Estructura prefabricada de acero.*



*Ilustración 23 Estructura prefabricada de hormigón.*

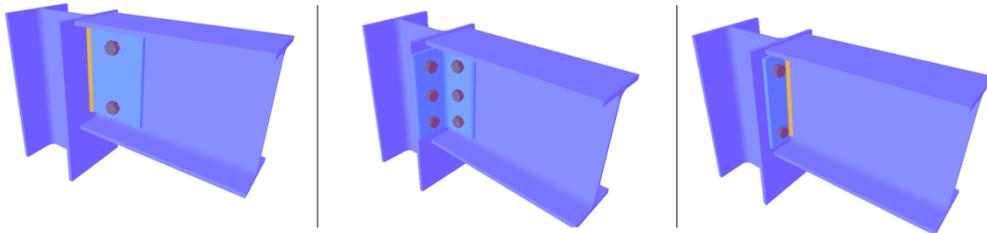
Hablando específicamente del uso de acero, existen diversos métodos para dar forma a los componentes lineales, siendo el acero laminado el más comúnmente empleado en este sistema.

La industria ofrece una gama estándar de perfiles comerciales que son ampliamente utilizados en numerosas construcciones. Además de estos perfiles genéricos, es posible fabricar elementos más personalizados para satisfacer las necesidades específicas de resistencia y estética de cada proyecto.

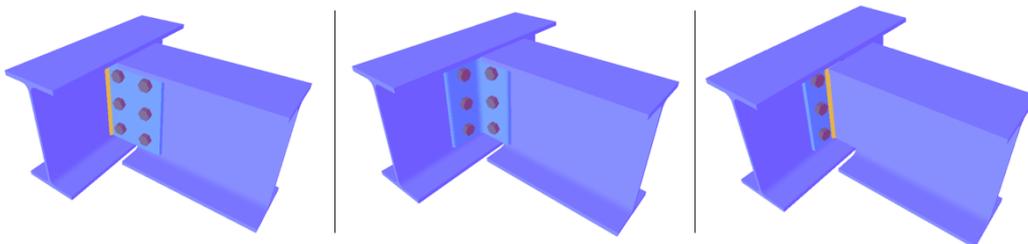
En relación con estos componentes metálicos, la unión en la obra se lleva a cabo mediante tornillos o soldaduras, dependiendo de las particularidades de cada proyecto.

Esta elección se adapta a las características y requisitos de la construcción en cuestión, asegurando una unión sólida y duradera.

▶ **UNIONES VIGA-COLUMNA A ALA**



▶ **UNIONES VIGA-VIGA**



PLACA TRASVERSAL

CON ANGULARES (SIMPLE O DOBLE)

CON PLACA DE EXTREMO

*Ilustración 24 Encuentros de vigas con columnas de acero y de vigas con vigas de acero.*

En lo que respecta a las estructuras de madera, es una técnica que goza de gran popularidad en muchos países. Sin embargo, en nuestro país su uso no es tan común debido a la disponibilidad limitada de materia prima. Aunque en áreas con abundantes bosques y aserraderos, también se utilizan estas estructuras de madera.

El funcionamiento de estas estructuras guarda similitudes con las estructuras metálicas. Consiste en elementos lineales con un cierto grosor que se ensamblan entre sí mediante técnicas como el machihembrado o tornillos. A diferencia del Balloon Frame, en el sistema de viga-pilar, se emplean dimensiones y cantidades de elementos mayores para lograr mayor espesor y resistencia. Para asegurar la integridad de la estructura, la madera debe cumplir con requisitos específicos de estabilidad y resistencia. Además, debe estar debidamente tratada para prevenir posibles deterioros que puedan afectar la solidez de la estructura.



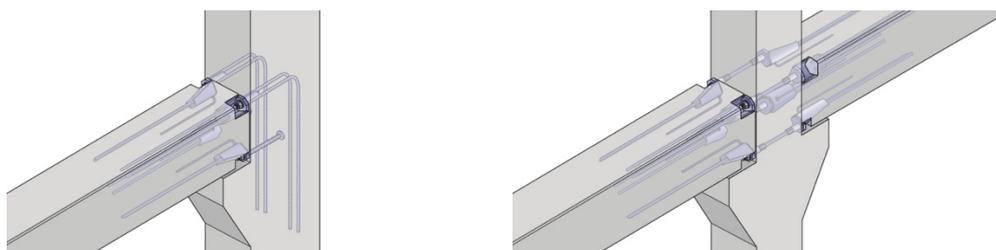
*Ilustración 25 Encuentros de elementos de madera.*

En otra vertiente, se encuentran las estructuras de hormigón prefabricado. A pesar de que las estructuras de hormigón in-situ siguen siendo ampliamente utilizadas, la ejecución de elementos portantes en un entorno controlado ha ganado terreno debido a sus ventajas. Esta metodología, además de su rapidez de montaje en el sitio, ha propiciado la construcción de un número creciente de edificios.

Las estructuras de vigas y pilares de hormigón prefabricados brindan la posibilidad de tener luces más amplias con espesores reducidos. Esta característica, junto con la reducción del tiempo de espera para ponerlas en funcionamiento, las convierte en opciones ideales para proyectos de envergadura. En lo que respecta a las conexiones, aunque en edificaciones con requisitos más básicos se podría optar por apoyos simples o machihembrados, en las estructuras de viviendas, lo más común es emplear uniones tensadas que fortalecen los nodos.

La industrialización de los perfiles prefabricados de hormigón ha impulsado avances significativos en términos de resistencia. Gracias al riguroso control al que se someten estos elementos, junto con las técnicas de pretensado, se pueden crear componentes para abarcar amplias distancias. Aunque se ven limitados por las dimensiones de transporte, se han desarrollado sistemas de módulos combinables que, al ensamblarse, funcionan como un solo elemento capaz de cubrir grandes áreas.

Para las uniones entre pilares y vigas, es necesario realizar un hormigonado armado in-situ para garantizar la continuidad estructural. Esto refuerza las juntas y aumenta la resistencia de las conexiones.



*Ilustración 26 Encuentro de vigas con un pilar de hormigón prefabricado.*

## 4.2. Sistema bidimensional

Los sistemas de construcción modular pueden estar compuestos por una variedad de elementos, incluyendo elementos lineales conectados, elementos bidimensionales (superficiales) o una combinación de ambos. En muchas ocasiones, estos sistemas utilizan paneles que cumplen una doble función al formar tanto el cerramiento como la estructura de la vivienda. Sin embargo, también existen paneles que son apoyados por una estructura horizontal. Estos paneles están disponibles en diferentes materiales y

presentan una amplia gama de características, que incluyen opciones de paneles de hormigón, madera, paneles sándwich, paneles contralaminados y los Structural Insulated Panels, entre otros.

#### 4.2.1. Sistemas de paneles

Para la construcción mediante paneles, la estructura la generan los propios elementos superficiales apoyados sobre una estructura horizontal. Esto es, por tanto, que los paneles hacen función tanto de estructura como de cerramiento. En algunos tipos en concreto, no son necesarias tampoco estas estructuras horizontales, por lo que son los propios paneles los que sustentan la edificación.

Los componentes son fabricados en taller y algunos pueden incorporar elementos como carpinterías o las instalaciones necesarias. Se trata, generalmente, de paneles de dimensiones y peso tales que puedan manipularse de manera sencilla entre dos operarios. Estos elementos, una vez en obra, pueden unirse entre ellos o a los elementos estructurales horizontales.



*Ilustración 27 Montaje de paneles de la Casa de Cobre, Casas que crecen, en Berlín (Gropius, 1931)*

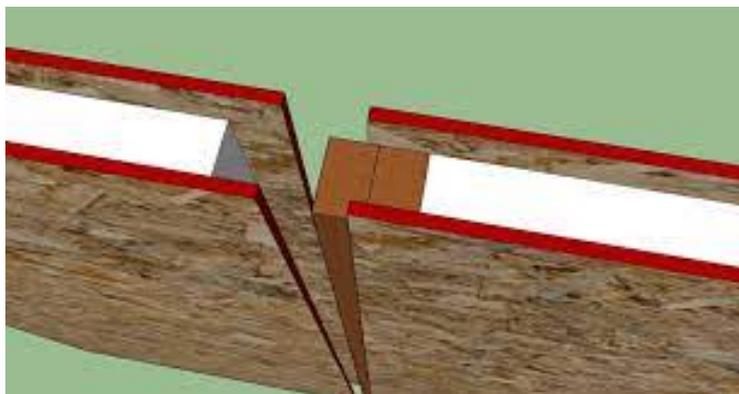
Este sistema constructivo se basa en Paneles Aislantes Estructurales, conocidos por sus siglas en inglés SIP (Structural Insulated Panel). Estos paneles están compuestos por un núcleo aislante de espuma situado entre dos capas estructurales, generalmente tableros de virutas orientadas OSB (Oriented Strand Board). Los materiales aislantes más comunes incluyen poliestireno expandido (EPS), poliestireno extruido (XPS) o espuma de poliuretano (PUR).

La construcción con paneles SIP es un proceso sencillo y relativamente rápido, lo que agiliza los plazos de ejecución. Además, al incorporar el aislamiento directamente en el panel, estos sistemas ofrecen un excelente desempeño térmico y acústico. Su capacidad de transmitancia térmica es muy baja y, en caso de requerir propiedades aislantes más altas, es posible aumentar el grosor del aislamiento.



*Ilustración 28 Vivienda ejecutada mediante paneles SIP.*

Una ventaja destacada de la construcción con paneles SIP es que, por lo general, evita la necesidad de crear una estructura adicional aparte de las propias placas. Estos paneles son estructurales y se pueden utilizar tanto para erigir muros como para construir forjados. En situaciones que demanden una mayor resistencia, se pueden incorporar refuerzos o añadir una tercera capa de OSB.



*Ilustración 29 Ejemplo de unión de los paneles SIP.*

En la arquitectura tradicional, la madera solía utilizarse como material lineal principalmente con fines estructurales, como en el caso del Balloon Frame, y en ocasiones también como revestimiento. Sin embargo, gracias al avance tecnológico, la madera ha evolucionado hacia la creación de paneles y placas, lo que amplía sus posibilidades de uso no solo como soporte estructural, sino también como elemento de cerramiento.

Dentro de los sistemas basados en paneles de madera, existen diversas variantes. Se encuentran piezas en forma de cajón, piezas con nervaduras, placas de madera laminada, madera alistonada contraplacada, tableros aglomerados, entre otros. Además, en algunos casos, se combinan la madera con otros materiales como resinas, cemento o yeso, lo que mejora notablemente sus propiedades técnicas.

Las placas alveolares de madera son otra opción ampliamente utilizada, similar a las mencionadas anteriormente, pero con la ventaja adicional de que sus huecos interiores continuos permiten el paso de instalaciones. En este contexto, estas placas actúan principalmente como cobertura horizontal, mientras que se requiere otro material para cerramientos verticales. Este método constructivo permite la carga inmediata y su entrada en funcionamiento justo después de su colocación, lo que reduce los tiempos de construcción.

Como ocurre en todos los sistemas en los que la madera es el material principal, es esencial protegerla contra el fuego, la humedad y los ataques de insectos. Para lograrlo, muchos paneles se tratan con diversos productos químicos y barnices que conservan la apariencia de la madera. En otros casos, se aplican acabados de otros materiales con el mismo propósito.



*Ilustración 30 Ejemplo de panel de madera para forjado alveolar.*

Los paneles de madera contralaminada consisten en capas de madera aserrada encoladas de manera que las fibras de capas adyacentes estén orientadas en ángulo recto. Para su elaboración, se utiliza madera con suficiente capacidad resistente, dispuesta en un número impar de capas para lograr simetría. Una vez dispuestas y encoladas las capas, se someten a prensado. La combinación de las capas encoladas confiere a los paneles una notable estabilidad dimensional.

Estos paneles contralaminados generalmente constan de 3, 5 o 7 capas, pudiendo tener diferentes espesores y tipos de madera según los requerimientos del proyecto. En circunstancias específicas, es posible emplear un mayor número de capas, siempre que este número sea impar. Estos paneles pueden quedar expuestos o ser recubiertos con diversos acabados en su superficie exterior.

Entre las maderas más comunes para la fabricación de estos paneles se encuentran el pino, abeto, alerce y cedro. Además, se utilizan piezas de madera más pequeñas para reducir los residuos y aprovechar mejor el recurso forestal. Aunque es posible crear piezas de gran tamaño, incluso de hasta 20 metros, estas dimensiones están limitadas por consideraciones de transporte.

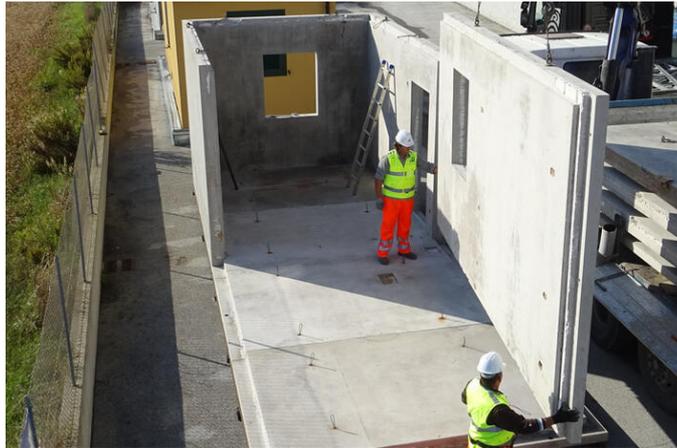
En la fase de diseño, es esencial considerar la capacidad portante de los paneles al planificar aberturas. En la fábrica, se realizan cortes precisos para los vanos mediante maquinaria especializada. Luego, los elementos se transportan al sitio de construcción, donde se aplican los acabados y se instalan las carpinterías.



*Ilustración 31 Vivienda unifamiliar a partir de paneles de madera contralaminada.*

El hormigón ha desempeñado un papel constante en la historia de la arquitectura, y sus propiedades han mejorado notablemente gracias a los avances industriales. Aunque su uso mayoritario sigue siendo en forma de mezcla fraguada en el lugar de construcción, los prefabricados de hormigón han ganado terreno de manera significativa.

La industrialización de la producción de paneles de hormigón ha resuelto problemas y desafíos que antes se presentaban en la obra, como las condiciones climáticas y las variaciones de temperatura que afectaban su proceso de fraguado, vibrado y desencofrado. Además, la producción en entornos controlados ha elevado la calidad del resultado final y los acabados.



*Ilustración 32 Vivienda unifamiliar ejecutada con paneles de hormigón prefabricado.*

Inicialmente, estos paneles consistían en hojas macizas de hormigón. Con el tiempo, han evolucionado incorporando materiales aislantes en su interior, como el poliestireno extruido, que mejoran sus propiedades técnicas. La técnica del pretensado también ha sido un avance crucial para el uso de los prefabricados, reduciendo la fisuración. Estos paneles pueden servir tanto como acabado como cerramiento, siempre y cuando las juntas se traten adecuadamente para evitar infiltraciones de agua y aire.

Como en otros métodos constructivos basados en paneles, las juntas son un desafío. Hay varias formas de abordarlas, y la calidad de las soluciones es un factor diferenciador entre las empresas productoras. La unión por simple apoyo es la más básica, adecuada para construcciones sencillas. En viviendas de poca altura, es común utilizar uniones machihembradas o anclajes protegidos. Han surgido también soluciones más rígidas, como uniones con placas metálicas soldadas, reservas de zonas sin hormigonar para solapes de armaduras, uniones postensadas, entre otras.

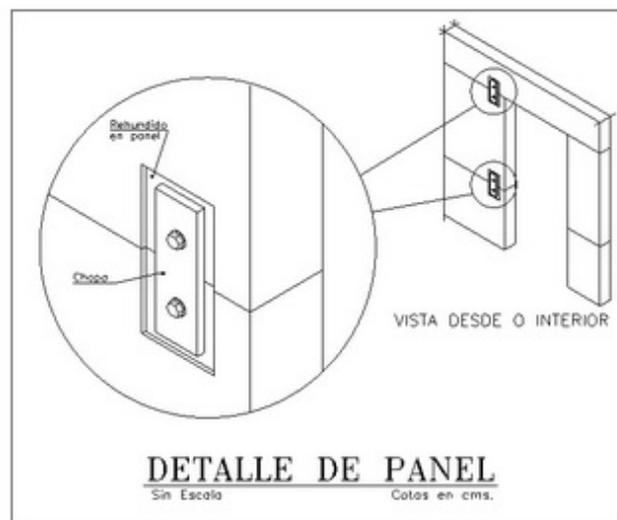
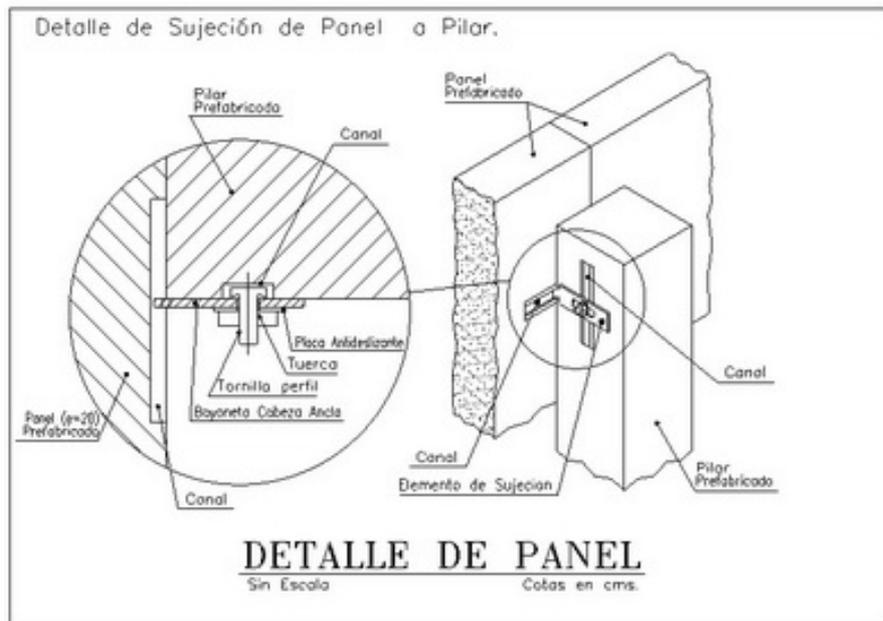


Ilustración 33 Detalles uniones de paneles de hormigón prefabricado.

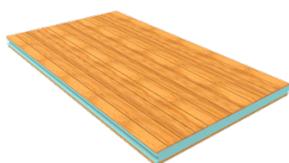
La ejecución de un proyecto con este sistema implica un análisis detallado del edificio para determinar sus necesidades estructurales y técnicas. Es crucial considerar si los paneles cumplen una función estructural adicional a su rol de cerramiento, ya que deben diseñarse para soportar las cargas del edificio. Los paneles pueden ser de un solo muro completo o de dimensiones más reducidas, lo que brinda más flexibilidad en la obra.

En obras que emplean este sistema de paneles de hormigón, los forjados suelen realizarse con placas alveolares también de hormigón. En cuanto a la cimentación, se puede optar por una losa de hormigón in-situ o utilizar cimentaciones prefabricadas, lo que es habitual en este enfoque constructivo.

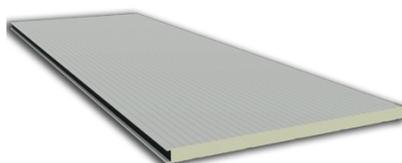


*Ilustración 34 Placa alveolar de hormigón prefabricado.*

Los paneles Sándwich son productos prefabricados que constan de un núcleo aislante rodeado por capas exteriores del material deseado, como madera, metal o cartón yeso. Estas variantes se adaptan a las necesidades estéticas y técnicas del proyecto en cuestión. Aunque no suelen ser portantes por sí mismos, requieren una estructura de soporte y se caracterizan por su alto nivel de prefabricación. Se utilizan principalmente en la construcción de fachadas y cubiertas.



*Ilustración 35 Panel Sándwich con acabado de madera y aislante de poliestireno extruido.*



*Ilustración 36 Panel Sándwich con acabado en acero lacado y aislante de poliuretano.*



*Ilustración 37 Panel Sándwich ecológico con acabado de cartón-yeso.*

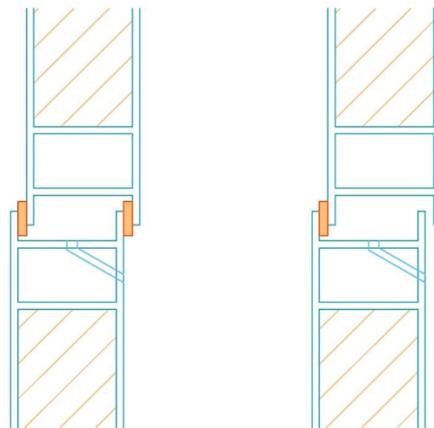
Los paneles Sándwich de madera, por ejemplo, incorporan un aislante entre láminas derivadas de la madera. Estas láminas pueden tener diferentes tratamientos para resistir la humedad y refuerzos, lo que resulta en una amplia gama de productos. Las empresas a menudo diferencian los acabados internos de los externos, utilizando placas de yeso laminado en el interior y tableros de OSB protegidos por chapa metálica, entablados de madera o enfoscados en el exterior.

En el mercado también se encuentran paneles Sándwich con acabado metálico, especialmente los de aluminio. En estos casos, el núcleo suele ser de polietileno o un compuesto mineral, mientras que las caras de aluminio pueden tener diversos acabados como lisos, perforados o con recubrimientos poliméricos. Estas caras deben recibir tratamientos para resistir los efectos del tiempo y la intemperie, además de evitar contactos que puedan causar deterioro. Si los paneles son pintados o barnizados, el

recubrimiento debe ser lo suficientemente flexible para acomodar los movimientos del panel.

La unión entre los paneles se realiza mediante diversas metodologías, como el machihembrado, anclajes, clavos o roscas. Estas juntas suelen ser secas y requieren tratamiento posterior para evitar infiltraciones y humedades. Existen varios tipos de juntas ampliamente estudiados y aplicados, como la junta impermeable abierta, la junta impermeable cerrada y la junta abierta permeable.

En el caso de los paneles sándwich metálicos, es fundamental prestar atención tanto a las juntas como a la unión entre las capas internas y externas de cada panel. Si la capa exterior de aluminio entra en contacto con la capa interna, se crea un puente térmico que puede generar problemas técnicos.



*Ilustración 38 Junta impermeable cerrada y junta impermeable abierta (Rodríguez, 1996)*

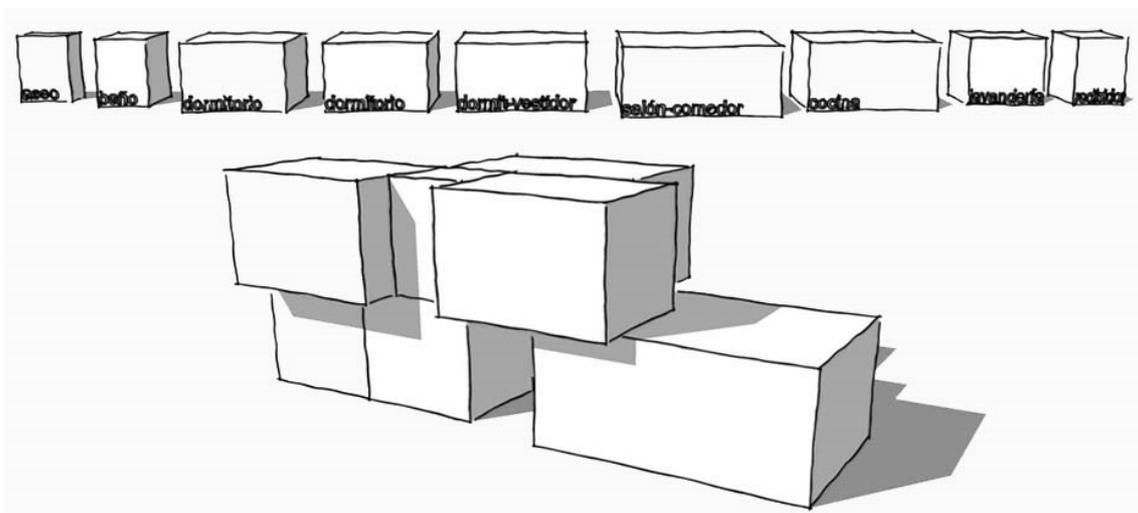
### 4.3. Sistemas mediante componentes 3D

La referencia a los componentes 3D se trata de módulos completos de la vivienda que se construyen en el taller. Estos módulos son esencialmente cajas o secciones que se transportan y luego se ensamblan en el lugar de la obra. Sin embargo, se debe tener en cuenta las limitaciones del transporte debido a restricciones de dimensiones y peso.

La construcción mediante componentes implica la creación de módulos prácticamente terminados en una fábrica, incluyendo acabados, instalaciones, muros, forjados, carpinterías, entre otros, que luego se trasladan a la obra. Esto reduce significativamente los trabajos realizados en el sitio, dejando solo las uniones y las conexiones a los servicios. En ocasiones, estos módulos pueden incluso incorporar elementos más complejos, como escaleras.

La subdivisión de la vivienda en módulos está más influenciada por consideraciones de transporte y fabricación que por la propia distribución de la vivienda. Sin embargo, en algunos casos, los módulos se diseñan en función de los usos y funciones de cada espacio, como baños, cocinas y dormitorios. Estos módulos, conocidos como bloques técnicos, pueden incluir instalaciones de fontanería y electricidad, mobiliario, sanitarios, electrodomésticos, etc., llegando completamente terminados desde la fábrica.

Una ventaja clave de este enfoque modular es la posibilidad de dejar conexiones preparadas para agregar otros módulos en el futuro, lo que permite expandir la vivienda. Estos crecimientos pueden ser tanto horizontales como verticales.



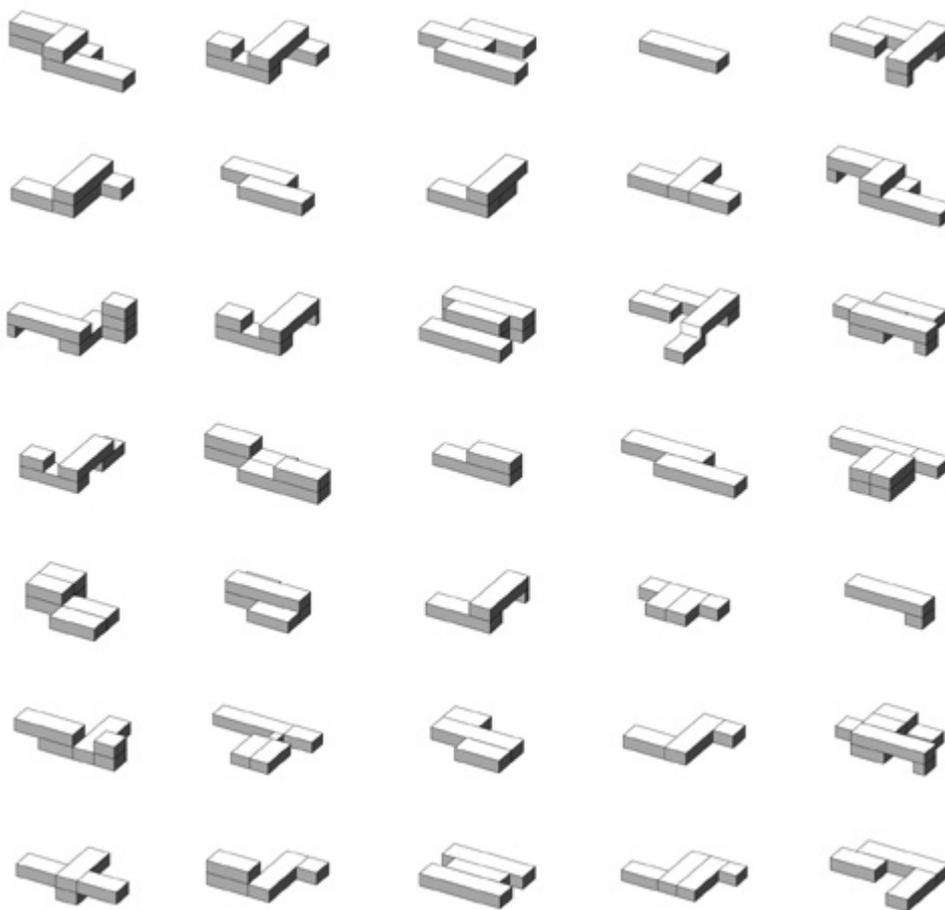
*Ilustración 39 Esquema del funcionamiento de un sistema modular.*

Es importante destacar que, aunque este proceso puede parecer altamente industrializado, puede ser también altamente artesanal, pero con la fabricación realizada en un entorno de taller. Además, cada vivienda puede ser altamente personalizada, siempre que los componentes elegidos sean compatibles entre sí.

En términos de materiales, la construcción modular utiliza principalmente acero, madera y hormigón. Cada uno de estos materiales tiene características que se ajustan mejor a ciertas necesidades, pero en última instancia, la elección depende de la disponibilidad de los materiales.

Un ejemplo de sistemas mediante componentes 3d podrían ser los ISO containers marítimos. La construcción modular mediante el uso de estos elementos consiste en la utilización de dichos containers como módulos constructivos para la edificación. Este es el sistema modular con mayor crecimiento a nivel mundial durante la última década. Estos containers de estructura metálica en acero CORTEN el cual tiene unas características particulares que protegen al propio elemento frente a la corrosión atmosférica sin llegar a perder prácticamente sus características mecánicas permitiendo

que sean usados como base estructural para la edificación. Estos containers se fabrican bajo normas de fabricación más estrictas que las normativas edificatorias convencionales. Además, disponen de una envolvente diseñada para adaptarse a cualquier tipología climatológica, ya que están diseñados para poder soportar la agresividad salina del mar.



*Ilustración 40 Propuestas de colocación de containers ISO marítimos.*

Según las regulaciones internacionales, la vida útil de dichos contenedores como contenedores de carga es de 12 años, por lo tanto, millones de unidades quedan abandonados en los puertos ocupando espacio cuando se acaba su periodo de vida útil. Esto presenta una oportunidad para obtener nuevas soluciones constructivas gracias a su capacidad autoportante y su bajo coste. En el año 2001 en Londres, la firma Urban Space Management ejecutó un proyecto llamado Container City I, en la zona portuaria. Este proyecto consistía en un edificio de tres pisos y una superficie de 445  $m^2$  destinados a cubrir la necesidad de vivienda existente en dicho lugar. El tiempo de ejecución de este

edificio solo fue de 5 meses y el 80% del material utilizado para su ejecución era reciclado, pudiendo ser esta una solución ecológica para la construcción.



*Ilustración 41 Container City diseñado por la firma inglesa Urban Space Management*

#### 4.3.1. Sistemas mediante construcción integrada

La construcción integrada lleva la prefabricación a su máxima expresión, donde la mayoría de los procesos se realizan en la fábrica y solo se requiere la cimentación y las conexiones de instalaciones en el sitio final. En este enfoque, todo está incluido, incluso el mobiliario, lo que acelera significativamente los tiempos de construcción en el lugar. En algunos casos, este método permite una producción en serie, reduciendo costos y tiempos.

Este enfoque tiene muchas ventajas en comparación con los métodos anteriores. Al realizarse principalmente en un entorno de taller y solo finalizarse en el sitio, los problemas relacionados con el clima se minimizan considerablemente. La concentración de la construcción en la fábrica reduce la contaminación y mejora la seguridad laboral al tener un ambiente controlado.

Es importante tener en cuenta que, debido a las limitaciones de transporte, los módulos completos de más de 50 m<sup>2</sup> no pueden ser trasladados fácilmente, lo que puede requerir subdividir las viviendas. El costo del transporte puede ser alto debido al gran volumen en relación con el peso.

El enfoque de viviendas modulares prefabricadas puede variar según la empresa. Algunas ofrecen modelos predefinidos con opciones de personalización limitadas, mientras que otras permiten diseños personalizados desde cero, similar a las viviendas tradicionales.

Los módulos son generalmente autoportantes y ocultan su estructura en los cerramientos, lo que proporciona flexibilidad en el diseño interior y facilita las futuras reformas. Los módulos también son apilables, lo que permite expandir la vivienda verticalmente según las necesidades del propietario.

En el mercado europeo, la mayoría de los módulos ligeros se ajustan al estándar ISO para el transporte intermodal. Esto facilita su transporte y su combinación para formar espacios más amplios, eliminando uno o más cerramientos laterales. La estructura de estos módulos incluye un bastidor tridimensional compuesto por un forjado, cuatro pilares y una estructura de cubierta, unidos mediante juntas atornilladas o soldadas. Los materiales comunes son acero galvanizado o lacado, en forma de perfiles laminados, tubulares o extruidos en casos de mayor necesidad estructural. Con este sistema, es posible construir edificios de hasta tres plantas sin requerir una estructura independiente.



*Ilustración 42 Estructura interna correspondiente al sistema eMii-CS de la empresa Compact Habit.*

El peso de estos módulos varía alrededor de los  $150 \text{ kg/m}^2$  si se utilizan forjados ligeros, compuestos por una base de chapa plegada y un tablero contrachapado. Cuando se opta por forjados pesados con capa de hormigón, el peso aumenta a unos  $300 \text{ kg/m}^2$ . Esta elección puede influir en la barrera acústica y en la reducción de vibraciones al caminar. Tanto los forjados ligeros como los pesados pueden tener diferentes tipos de pavimentos. Los cerramientos verticales, tanto internos como externos, suelen utilizar paneles sándwich de 30 a 60 mm de espesor. Estos paneles constan de dos hojas de acero lacado, gofrado o grecado, con un núcleo aislante térmico de 30 a 50 mm, generalmente de espuma de poliuretano. En las carpinterías, prevalece el aluminio. La cubierta incluye un falso techo de placas de acero lacado con una capa de aislamiento térmico, usualmente lana de vidrio o roca, en espesores de 40 a 60 mm. Una hoja de chapa plegada de acero galvanizado completa la cubierta, curvándose ligeramente para dirigir las aguas pluviales hacia los lados menores, donde un canalón recoge el agua y la lleva a los bajantes.

El transporte de los módulos se puede realizar de diversas formas. En ausencia de restricciones, los módulos suelen ser trasladados de la fábrica a la obra y viceversa en camiones, totalmente ensamblados y protegidos temporalmente con plástico.



*Ilustración 43 transporte de un módulo habitacional de la empresa InHaus.*

El peso de un módulo de seis metros de largo, excluyendo el forjado de hormigón, ronda los 2.250 kg. Esto permite que las operaciones de carga y descarga sean realizadas por grúas ligeras montadas en el mismo camión, siempre que no se necesite un radio de giro especial y la altura de construcción no supere las dos plantas.

Al elegir el tipo de vivienda y la empresa, es importante considerar la ubicación de sus sedes. El clima y la meteorología varían en todo el mundo, por lo que una vivienda diseñada para un clima nórdico puede no ser la mejor opción para una región del sur de España y viceversa. Es esencial informarse y recibir asesoramiento sobre la elección de materiales adecuados.

Un ejemplo de este enfoque es el estudio Kaufmann 96 Architektur y sus viviendas Fred y Su-si. Estas viviendas o módulos se construyen por completo en fábrica con plazos de prefabricación y montaje cortos. Utilizan un sistema de entramado con paneles, y en el caso de Su-si, es una unidad habitacional extensible.



*Ilustración 44 Viviendas Fred y Su-si del estudio Kaufmann 96 Architektur.*

#### 4.4. Comparativa

Después de analizar los diversos sistemas disponibles para la construcción de viviendas unifamiliares modulares, es fundamental realizar una evaluación de los aspectos positivos y negativos de cada uno. Es importante destacar que esta evaluación es una comparativa general entre los sistemas, y no pretende ser específica, ya que las características finales pueden variar según la empresa y la ubicación de la vivienda.

Al seleccionar un sistema de construcción, es esencial tener en cuenta diversos factores, como la facilidad de montaje, el peso, el volumen, la versatilidad, entre otros. Además, es relevante reconocer que muchos de los métodos estudiados pueden ser complementarios o variaciones de un mismo sistema, lo que puede resultar en similitudes en ciertos aspectos.

En términos de prefabricación, los sistemas lineales y de entramados tienden a tener un nivel menor en comparación con los paneles y las soluciones en tres dimensiones. En relación con la relación peso/volumen, los últimos ocupan más espacio. En cuanto al reciclaje y la flexibilidad en planta, todos los sistemas presentan características más o menos similares, siendo este un punto menos determinante. En lo que respecta al tiempo necesario en la fábrica frente al tiempo en la obra, los elementos lineales requieren más tiempo de montaje en el sitio, mientras que los componentes de mayor tamaño permiten una mayor prefabricación en la fábrica. En todos los sistemas, se requiere la presencia de trabajadores cualificados para llevar a cabo el montaje, si bien algunos sistemas son más simples y facilitan el proceso.

Para proporcionar una comprensión más clara de las diferencias entre estos sistemas, se ha elaborado una tabla comparativa que utiliza un sistema de colores: el azul oscuro representa un alto grado, el gris un grado medio y el naranja un grado bajo.

Esta tabla sirve como una guía inicial para ayudar en la selección del sistema más adecuado para un proyecto particular. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las circunstancias específicas pueden influir en las características de cada sistema, y se recomienda consultar con expertos y empresas especializadas para una evaluación precisa.

Tabla 1 Comparativa entre los distintos sistemas prefabricados.

	NIVEL DE PREFABRICACIÓN	VOLUMEN/PESO	RECICLAJE	FLEXIBILIDAD EN PLANTA	TIEMPOS EN FABRICA/EN OBRA	FACILIDAD DE MONTAJE	CIMENTACIÓN	MATERIAL PRINCIPAL
BALLOON FRAME							LOSA	MADERA
PLATFORM FRAME							LOSA	MADERA
STEEL FRAME							LOSA	ACERO
VIGA-PILAR							LOSA O ZAPATAS	-
STRUCTURAL ISULATED PANELS							LOSA	MADERA Y EPS
PANELES DE MADERA							LOSA	MADERA
MADERA CONTRALAMINADA							LOSA	MADERA
PANELES DE HORMIGÓN							LOSA O ZAPATAS	HORMIGÓN
PANELES SANDWICH							LOSA O ZAPATAS	-
COMPONENTES 3D							LOSA	-
CONSTRUCCIÓN INTEGRADA							LOSA O CORREAS	-



## 5. Ventajas e inconveniente de los sistemas prefabricados

Al igual que cualquier otro sistema constructivo, los sistemas prefabricados tienen una serie de ventajas e inconvenientes. A continuación, presento algunas de las principales ventajas e inconvenientes de este sistema:

Ventajas de la construcción prefabricada:

- **Eficiencia en el tiempo:** La construcción prefabricada destaca por su proceso de construcción más veloz en comparación con los métodos tradicionales. La fabricación en fábrica puede tener lugar simultáneamente con la preparación del sitio, lo que reduce drásticamente la duración total del proyecto. Además, la fabricación paralela de componentes prefabricados agiliza aún más los plazos de construcción.
- **Ahorro de costos:** La producción en serie de componentes prefabricados conduce a ahorros tanto en materiales como en mano de obra en comparación con la construcción tradicional. Además, debido al control riguroso en el entorno de fábrica, los costos pueden mantenerse dentro de lo previsto y ser menos susceptibles a variaciones.
- **Control de calidad:** La fabricación de componentes en un ambiente controlado asegura niveles superiores de calidad y precisión en comparación con la construcción en sitio, donde factores climáticos y otros pueden afectar la calidad. Esto minimiza la probabilidad de errores y defectos en la estructura final.
- **Menor impacto ambiental:** La construcción prefabricada reduce los residuos en el lugar de construcción y disminuye el impacto ambiental al reducir el consumo de recursos y energía durante el proceso. Además, al requerir menos tiempo en el sitio, se disminuyen las emisiones y el ruido asociados a la construcción.
- **Menor exposición a condiciones adversas:** Dado que gran parte de la construcción ocurre en fábrica, la exposición a condiciones climáticas extremas se reduce en comparación con la construcción convencional.
- **Prevención de riesgos laborales:** La fabricación en un ambiente controlado, asegura niveles superiores de prevención de riesgos laborales en comparación con la construcción in situ. Esto se debe a que al ser ejecutados en una fábrica se puede llevar un mayor control de las distintas medidas que se deben llevar a cabo para evitar accidentes.



- Flexibilidad y adaptabilidad en el diseño: A pesar de que algunos pueden relacionar la construcción prefabricada con opciones limitadas de diseño, en realidad ofrece una amplia gama de posibilidades estéticas. Los componentes pueden ser personalizados y ensamblados para crear estructuras únicas, visualmente atractivas y potencialmente adaptables a las futuras necesidades de los clientes.

#### Inconvenientes de la construcción prefabricada:

- Limitaciones en el diseño: La construcción prefabricada puede enfrentar desafíos para lograr ciertas formas arquitectónicas y diseños específicos. A esto se le suma el hecho de que la personalización puede llegar a estar más limitada que en los métodos de diseño tradicionales, lo que podría no llegar a satisfacer todas las necesidades específicas del cliente.
- Inversión inicial: Aunque a largo plazo la construcción prefabricada puede ser más económica debido a la eficiencia y previsibilidad, el costo inicial de establecer una instalación de fabricación y desarrollar diseños originales puede ser mayor, especialmente para proyectos únicos.
- Planificación rigurosa requerida: Los detalles de diseño y la coordinación deben ser meticulosamente abordados antes de la fabricación para evitar problemas en el sitio. Esto podría limitar la flexibilidad en etapas posteriores.
- Transporte y logística: El traslado de componentes prefabricados desde la fábrica al lugar de construcción puede ser complejo y costoso, especialmente para proyectos grandes o ubicados en áreas remotas o de difícil acceso.
- Dimensiones limitadas: Los componentes prefabricados deben ser transportables, lo que puede restringir el tamaño de los elementos arquitectónicos. Estructuras muy amplias podrían necesitar desmontaje y ensamblaje en el sitio, lo que podría contrarrestar la eficiencia buscada.
- Requisitos y regulaciones: En algunas zonas, los códigos de construcción y las regulaciones pueden ser más rigurosos para edificios prefabricados, generando posibles demoras o dificultades en la obtención de permisos.
- Percepción pública: En ocasiones, la construcción prefabricada es percibida como de menor calidad en comparación con la construcción tradicional, lo que puede afectar su aceptación en ciertas comunidades.

En general, la construcción prefabricada ofrece muchas ventajas en términos de eficiencia, calidad y sostenibilidad, pero también tiene limitaciones y desafíos asociados. La elección entre construcción prefabricada y tradicional dependerá de factores como el



tamaño del proyecto, la ubicación, los plazos, los recursos disponibles y las preferencias del cliente.



## 6. Tecnologías en la prefabricación

### 6.1. Diseño

El diseño digital es el eje central de la construcción industrializada, abarcando desde la fase conceptual hasta la eliminación y reutilización del proyecto. Comienza con el diseño conceptual y pasa por etapas como el diseño detallado, compras, salud y seguridad, gestión y planificación, operaciones en fábrica y en obra, mantenimiento, demolición y reutilización. Para garantizar el éxito de la construcción industrializada, todas las partes involucradas, con diferentes niveles de conocimiento, deben comprender los conceptos básicos del diseño digital.

El diseño inicial del arquitecto y diseñador debe traducirse de manera precisa al fabricante y al método operativo, asegurando que el proyecto se diseñe y construya sin errores. El modelado de la información del edificio (BIM) juega un papel clave en este proceso, supervisando el costo del diseño, cambios en el diseño, control de cambios, fabricación, montaje, seguimiento del mantenimiento y demolición, y reutilización.

La construcción industrializada requiere precisión desde el principio, y el diseño digital a través de la tecnología de la información (TI) permite crear, modificar, analizar y compartir información digital precisa. La información digital generada puede reutilizarse en proyectos futuros, evitando la necesidad de comenzar desde cero. Un enfoque digital permite identificar y resolver errores tempranamente, evitando problemas potenciales en el proceso de construcción.

El éxito de la fabricación offsite se basa en una comunicación eficiente y el intercambio de información en toda la cadena de suministro. El uso efectivo del BIM en la fabricación offsite facilita la comparación entre lo diseñado y lo producido, mejora la calidad y reduce costos. En resumen, el diseño digital y el uso de BIM son fundamentales para una construcción industrializada eficiente, rentable y de alta calidad.

### 6.2. Fabricación

Dentro de una fábrica de fabricación industrializada, la eficiencia es esencial para garantizar que todo funcione sin problemas. La coordinación y el flujo continuo de unidades de trabajo a lo largo de la línea de producción son cruciales, ya que toda la línea se mueve a la velocidad de la tarea más lenta. Esto requiere un trabajo en equipo efectivo y una coordinación cuidadosa.

Uno de los desafíos logísticos puede ser el tamaño de las unidades y cómo transportarlas desde la fábrica hasta el lugar de trabajo. Algunas soluciones pueden incluir la reducción



del tamaño de los elementos para facilitar la logística o el uso de métodos de transporte eficientes. El personal de logística debe estar preparado para abordar estos desafíos, cumplir con regulaciones y restricciones y considerar aspectos como la sostenibilidad y la descarbonización al utilizar fuentes locales de materiales.

La implementación de centros de consolidación de la construcción (CCC) es una estrategia importante. Los CCC son centros de distribución que ayudan a canalizar las entregas de materiales, lo que permite una programación más sofisticada para la entrega de materiales hacia la línea de producción y desde ella hasta el lugar de montaje. Esto reduce el riesgo de desperdicio de materiales, daños a los elementos prefabricados durante el transporte y la necesidad de almacenamiento en las obras, especialmente cuando el espacio es limitado. La logística eficiente es esencial para optimizar la fabricación industrializada y garantizar la calidad y la puntualidad en la construcción.

La automatización y la repetición precisa de procesos son fundamentales en la fabricación industrializada y modular. Esto implica que un equipo pueda realizar funciones similares a las de herramientas manuales, pero con la capacidad de ser programado.

Seleccionar la herramienta adecuada o especificar una nueva línea de producción requiere un conocimiento profundo de las tecnologías disponibles. La familiaridad con las capacidades de automatización y la precisión que ofrecen las herramientas es esencial para garantizar la eficiencia y calidad en la fabricación. Además, contar con un equipo capacitado para operar y mantener estas herramientas es crucial para maximizar sus beneficios.

En última instancia, la elección de las tecnologías adecuadas y la formación de equipos competentes en su uso son factores esenciales para lograr una fabricación exitosa y eficiente en la industria de la construcción. Estar al tanto de las últimas innovaciones y tendencias en herramientas y equipos ayudará a las empresas a mantenerse a la vanguardia y mejorar continuamente sus procesos de fabricación.

A continuación, una lista de herramientas, equipos e instalaciones que pueden facilitar la automatización de tareas.

*Tabla 2 Lista de las tecnologías de fabricación y producción automatizada*

Tecnología	Grupo temático	Breve descripción
Escáner láser 3D	Captura de la realidad	Los escáneres 3D son dispositivos que se utilizan para capturar información tridimensional de objetos y entornos de manera precisa y detallada. Estos dispositivos funcionan emitiendo pulsos de luz láser o utilizando otras tecnologías de sensores avanzados para medir la distancia entre el escáner



		<p>y los puntos de superficie de un objeto o área que se está escaneando.</p> <p>Esta nube de puntos es una base de datos que contiene información sobre la ubicación tridimensional de cada punto de superficie escaneado. Los profesionales de la construcción y otros campos utilizan esta nube de puntos para realizar mediciones, modelar objetos en 3D, crear representaciones visuales y llevar a cabo análisis detallados de las estructuras y espacios escaneados.</p>
Lidar	Captura de la realidad	<p>Un escáner LIDAR utiliza pulsos de luz láser para determinar la distancia entre el escáner y los objetos en su entorno. Funciona midiendo el tiempo que tarda un pulso de luz láser en viajar desde el escáner hasta un objeto y luego regresar al escáner. Este tiempo de vuelo se utiliza para calcular la distancia con una gran precisión. Es capaz de generar una representación tridimensional extremadamente precisa de su entorno, lo que lo hace útil en una variedad de aplicaciones, como la cartografía topográfica, la navegación autónoma de vehículos, la detección de obstáculos y la arqueología, entre otras.</p>
Drones	Captura de la realidad	<p>El uso de drones ha tenido un gran impacto en la industria de la construcción y ha revolucionado la forma en que se llevan a cabo los proyectos. Los drones permiten una visión aérea detallada de los sitios de construcción y proporcionan una serie de beneficios importantes.</p>
Termografía infrarroja	Captura de la realidad	<p>La tecnología de construcción por infrarrojos, también conocida como termografía infrarroja, es una herramienta muy útil en la industria de la construcción. Funciona detectando la radiación infrarroja emitida por los objetos y convirtiéndola en imágenes térmicas que representan la temperatura superficial de esos objetos.</p>



Fotogrametría	Captura de la realidad	La fotogrametría es una técnica que combina la fotografía con la medición precisa para crear modelos digitales 2D o 3D de objetos, estructuras o espacios. Se basa en tomar una serie de fotografías superpuestas de un objeto desde diferentes ángulos y luego utilizar software especializado para procesar esas imágenes y generar modelos tridimensionales. Esto se utiliza en una variedad de aplicaciones, como la creación de mapas topográficos, la documentación de edificios históricos, la inspección de obras de construcción y más.
Cámara de 360º	Captura de la realidad	Es un tipo de cámara que tiene la capacidad de capturar imágenes o videos en un campo de visión que cubre prácticamente toda la esfera o un círculo completo en el plano horizontal. Son especialmente útiles en situaciones donde se requiere una cobertura completa del entorno visual, como en la fotografía panorámica o en la grabación de video en 360 grados.
Flujos de trabajo de escaneado a BIM e integraciones CAD	Captura de la realidad	El flujo de trabajo de escaneado a BIM (Building Information Modeling) ha revolucionado la forma en que los profesionales de la arquitectura, la ingeniería y la construcción (AEC) abordan la captura, diseño y modelado del entorno construido. Con el uso de tecnologías como el escaneado láser y la extracción de nubes de puntos, este proceso permite una representación precisa y detallada de las estructuras existentes. El flujo de trabajo BIM mejora la eficiencia en la captura de datos del entorno construido, la planificación y el diseño, y contribuye a una toma de decisiones más efectiva en el campo de la arquitectura, la ingeniería y la construcción.
Robótica	Captura y seguimiento de datos a distancia	Los robots de inspección han revolucionado la forma en que se controlan y registran las mediciones en áreas que antes eran inaccesibles. Estos robots pueden desplazarse de manera autónoma por espacios complicados y tomar mediciones precisas, lo que es especialmente útil



		en la industria de la construcción y la inspección de infraestructuras. La automatización y el uso de robots en la industria de la construcción y la inspección de edificios están mejorando la seguridad, la eficiencia y la precisión de las tareas realizadas en estos entornos.
Sensores	Captura y seguimiento de datos a distancia	La tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID) se ha convertido en una herramienta invaluable en la industria de la construcción. RFID ofrece la capacidad de rastrear y localizar materiales y activos de manera eficiente en aplicaciones de construcción.
Estaciones totales robotizadas	Captura y seguimiento de datos a distancia	Una estación total robótica (RTS) es una herramienta avanzada utilizada en topografía y construcción que combina las capacidades de una estación total y un sistema robótico para realizar mediciones y levantamientos topográficos con mayor eficiencia y precisión.
Sistema de posicionamiento global, GPS	Geolocalización	La modalidad de levantamiento por GPS más utilizada para la construcción es el levantamiento por GPS en tiempo real (RTK). Los levantamientos RTK miden las líneas de base desde la estación de referencia hasta el punto de los receptores Itinerantes. El GPS (Sistema de Posicionamiento Global) es una forma más segura y rápida de medir grandes extensiones de terreno sin tener que perder tiempo en determinar la zona que se pretende averiguar.
Bluetooth	Geolocalización	Infraestructura de red celular para apoyar la integración de las tecnologías GPS y GNSS para aplicaciones de construcción.
Sistemas mundiales de navegación por satélite (GNSS)	Geolocalización	El Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) es una tecnología de localización y navegación que utiliza una red de satélites en órbita para proporcionar información precisa sobre la ubicación y el tiempo en cualquier lugar de la Tierra.



Vídeo/imagen SMART Plataformas de IA	Inteligencia Artificial	En el contexto de la construcción y la seguridad en el lugar de trabajo, la inteligencia artificial se utiliza para desarrollar sistemas de monitoreo y gestión que pueden identificar riesgos, prevenir accidentes y mejorar la eficiencia operativa.
Plataformas de aprendizaje automático	Inteligencia Artificial	<p>El aprendizaje automático, es una tecnología que permite a las máquinas aprender y mejorar su rendimiento en tareas específicas a medida que se les proporciona más datos y experiencia. En lugar de depender de una programación explícita, el aprendizaje automático utiliza algoritmos y modelos estadísticos para identificar patrones y tomar decisiones basadas en datos.</p> <p>En el contexto de la construcción, el aprendizaje automático tiene aplicaciones potenciales que pueden mejorar la eficiencia y la toma de decisiones en proyectos de construcción.</p>
Biometría	Inteligencia Artificial	El software de control de acceso biométrico inteligente es una tecnología que permite a las empresas de construcción aprovechar sistemas de control de acceso basados en características biométricas, como la huella dactilar, el reconocimiento facial o la identificación de iris, para una gestión más eficiente de los recursos humanos y los procesos en la obra.
Automatización de procesos robóticos	Inteligencia Artificial	La Automatización Robótica de Procesos (RPA) se está volviendo cada vez más relevante en las empresas de construcción, especialmente en áreas relacionadas con la prefabricación y procesos comerciales que requieren una gran cantidad de recursos y tareas repetitivas.
Análisis predictivo	Datos masivos	El análisis predictivo de la construcción es una herramienta cada vez más valiosa en la gestión de proyectos y la toma de decisiones en la industria de la construcción. Esta técnica aprovecha el poder de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático para analizar grandes cantidades de datos generados en proyectos de construcción y utilizar



		esa información para prever resultados, identificar tendencias y mitigar riesgos.
Integración y análisis de datos	Datos masivos	Tener una plataforma integrada de gestión de la construcción o un sistema de planificación de recursos empresariales (ERP) es esencial para aprovechar al máximo la analítica de datos y la inteligencia empresarial en la industria de la construcción.
Plataforma de análisis y visualización en la nube	Datos masivos	El análisis en la nube es una herramienta poderosa para las empresas en la industria de la construcción. Permite aprovechar las capacidades avanzadas de análisis de datos disponibles en las plataformas en la nube para procesar y obtener información crítica de grandes cantidades de datos de manera eficiente.

### 6.3. Logística

Uno de los principales desafíos en la construcción industrializada radica en la gestión de la cadena de suministro y la logística para el transporte de mercancías de gran tamaño.

En el sector de la construcción, se estima que entre el 10% y el 15% del tiempo de un trabajador se dedica a esperar los materiales necesarios. Sin embargo, llevar un exceso de materiales también conlleva costos. Una mala gestión logística puede reducir la calidad del trabajo debido a interrupciones frecuentes, aumentar la duración del proyecto y, en última instancia, incrementar los costos totales. Además, almacenar y trasladar exceso de materiales puede aumentar los riesgos para la salud y la seguridad en el lugar de trabajo.

La gestión de calendarios y programas debe estar sincronizada tanto entre los equipos internos como externos de la empresa. Los programas informáticos de diagramas de Gantt y calendarios de proyectos deben seguirse con precisión, y se requiere una comunicación efectiva cuando se prevean desviaciones en el proyecto.

Los retrasos debido al mal tiempo pueden afectar la obra y, aunque reprogramar las entregas puede ser beneficioso para la calidad de la construcción, también puede ocasionar retrasos en el contrato que deben discutirse con el cliente.



Por otro lado, un retraso inesperado en la llegada del material a una línea de fabricación externa o un fallo en las herramientas puede postergar la aprobación de los módulos y su entrega en la obra, lo que a su vez retrasa a otros oficios. Aquí, la clave es una comunicación clara y constante para coordinar mejor las entregas y adaptarse a los cambios en el plan previsto.

La gestión logística comprende el proceso de planificación, ejecución y regulación de los recursos de la cadena de suministro desde su origen hasta su destino final en la obra. Una gestión logística eficiente puede impulsar la eficiencia y la producción, reduciendo los costos y acortando los plazos de entrega. Por ejemplo, una gestión logística adecuada garantiza que el personal pueda realizar sus tareas sin interrupciones causadas por retrasos en la llegada de mercancías a las instalaciones.

En este contexto, el control de inventario también juega un papel importante en la industria de la construcción. La gestión de inventarios se refiere al seguimiento de materiales, mano de obra, equipos e instalaciones por parte de las empresas de construcción y proveedores. Mantener un control adecuado de los inventarios contribuye a la eficiencia y reduce los desperdicios en los proyectos de construcción.

## 6.4. Transporte

Previo al transporte, se debe tener en cuenta el contexto de cada emplazamiento, que puede tener limitaciones locales y la consiguiente planificación de la ruta; por ejemplo, restricciones de velocidad, altura y anchura. También se establecerá el plan de elevación de los elementos/módulos y el emplazamiento, si es necesario, de una o varias grúas de apoyo.

Asegurarse de que los componentes estén adecuadamente protegidos y asegurados al vehículo de transporte es fundamental para evitar daños durante el transporte, especialmente teniendo en cuenta factores como la aceleración, la desaceleración, la vibración y las condiciones climáticas.

Para protegerse de los daños y de cualquier necesidad de reparación de estos en la obra, debe asegurarse de que los componentes están adecuadamente protegidos antes de ser enviados desde la fábrica. Para ello los componentes deberán estar sujetos y asegurados al vehículo de transporte, se deberá haber realizado una prueba de agua, se deberán asegurar los elementos sensibles como ventanas, placas de yeso, etc.

La identificación clara de los componentes y la comunicación de instrucciones especiales para su manipulación y elevación son cruciales para garantizar que el proceso de instalación en el sitio de construcción se realice sin problemas. Además, proporcionar los



equipos y aparatos de elevación necesarios, junto con la documentación adecuada, asegurará que el proceso de descarga y elevación se realice de manera segura y eficiente.

## 6.5. Montaje in situ

La planificación de la secuencia de montaje debe iniciarse en la fase de producción, asegurando que los elementos se carguen en el orden correcto. Una comunicación efectiva entre todos los participantes del proyecto es esencial para evitar problemas y conflictos entre la fabricación en la planta y el montaje en el sitio.

Además de la planificación de la carga de los componentes prefabricados, es crucial garantizar que se hayan fabricado y preparado considerando el método de elevación adecuado. Los equipos de elevación variarán según el tipo, material y tamaño de los componentes. Por ejemplo:

- Para subconjuntos y paneles abiertos, se pueden utilizar carretillas elevadoras o grúas para lotes, mientras que los elementos individuales pueden ser manipulados a mano según su tamaño y peso.
- Los paneles cerrados, especialmente aquellos con ventanas, suelen levantarse con una grúa móvil utilizando una barra de gancho fácil de separar.
- Los módulos volumétricos generalmente requieren una grúa de torre o grúa móvil, a menudo con una viga de acero.

Es buena práctica medir y etiquetar claramente el peso de los componentes en las capas exteriores de protección. Si se fabrican paneles abiertos que se manejarán manualmente y estarán cubiertos por otro material, es recomendable etiquetar claramente el peso en el propio panel, garantizando que sea seguro para que dos personas lo levanten si pesa menos de 50 kg.

La capacitación en montaje en el sitio es esencial para garantizar que el personal comprenda los procesos de unión, los métodos y los materiales utilizados en la integración de componentes prefabricados. Esto debe ser conocido por una amplia variedad de personas en la industria de la construcción, desde trabajadores calificados hasta supervisores y gerentes de construcción.

Es crucial comprender las operaciones y procesos de montaje en el sitio, así como la importancia de una precisión y coordinación de alto nivel. La secuenciación y la programación deben ser una consideración constante tanto en la fabricación de los prefabricados como en el sitio de construcción, asegurando una colaboración efectiva entre la dirección de obra y el equipo del proyecto.



## 7. Oferta de casas mediante componentes 3D

Con el objetivo de entender la situación actual de la arquitectura modular, se ha realizado un estudio de mercado en este se observan distintas propuestas ofrecidas por una serie de empresas punteras en el sector. A partir de este estudio se ha realizado un listado con información sobre las técnicas y sistemas empleados por estas empresas.

### 7.1. Casa VIPP (2014), de Bo Jensen y VIPP

Este refugio prefabricado presenta la idea de "vivir dentro de un objeto". Con 55m<sup>2</sup> de superficie, cada elemento ha sido cuidadosamente prefabricado. La estructura principal de acero define el volumen del objeto y divide el interior en dos alturas. Los espacios independientes incluyen un aseo y una cama. La envolvente, en parte de fina piel transparente, crea una conexión entre la naturaleza y el interior del refugio.

Con un peso de 25 toneladas y dimensiones de 3x11.5x5.2 metros, esta vivienda descansa sobre 12 puntos de apoyo en el terreno. Equipada con características internas autónomas, incluye un tanque de agua de 120 litros, ventilación mecánica y calefacción de suelo radiante.

La envolvente de la vivienda es metálica, con un aislamiento térmico intermedio de 250mm de lana de roca y un revestimiento interior de chapa de acero pintada o madera contrachapada en los suelos. Además, la carpintería corredera permite crear amplias aberturas en la estructura.

Este refugio ofrece una solución innovadora y eficiente, donde cada detalle ha sido considerado para proporcionar un espacio cómodo y funcional, fusionando de manera armoniosa la naturaleza con la comodidad del interior.



*Il·lustració 45 Casa VIPP (2014) Bo Jensen, VIPP*



*Il·lustració 46 Vista en planta de la Casa VIPP*

## 7.2. Active House B10 (2014), de Werner Sobek.

La Active House B10 es parte de un proyecto de investigación que busca explorar la innovación en materiales, sistemas estructurales y tecnologías.

En esta vivienda, se logra una integración única entre la casa y los sistemas de movilidad. La energía excedente se utiliza para cargar los vehículos de los propietarios, y el aparcamiento se integra perfectamente en el interior de la casa.

El diseño de esta vivienda se planificó de forma prefabricada en solo unos meses y se montó en un día en el lugar. Las innovaciones constructivas incluyen el uso de solo 17 mm de vidrio en la fachada frontal, así como la implementación de una tecnología de lamas que, a través de un cable central, permite cerrar la fachada. Estas lamas pueden cumplir una doble función, también sirviendo como patio para la vivienda.



*Ilustración 47 Active House B10, de Werner Sobek.*

El edificio cumple con los estándares del enfoque "triple cero": genera más energía de la que consume, no produce emisiones y puede ser reintegrado al ciclo de materiales sin dejar residuos detrás.

Este enfoque de diseño y construcción demuestra cómo la innovación puede transformar la vivienda en una entidad sostenible y eficiente, con una integración inteligente de energía y movilidad.



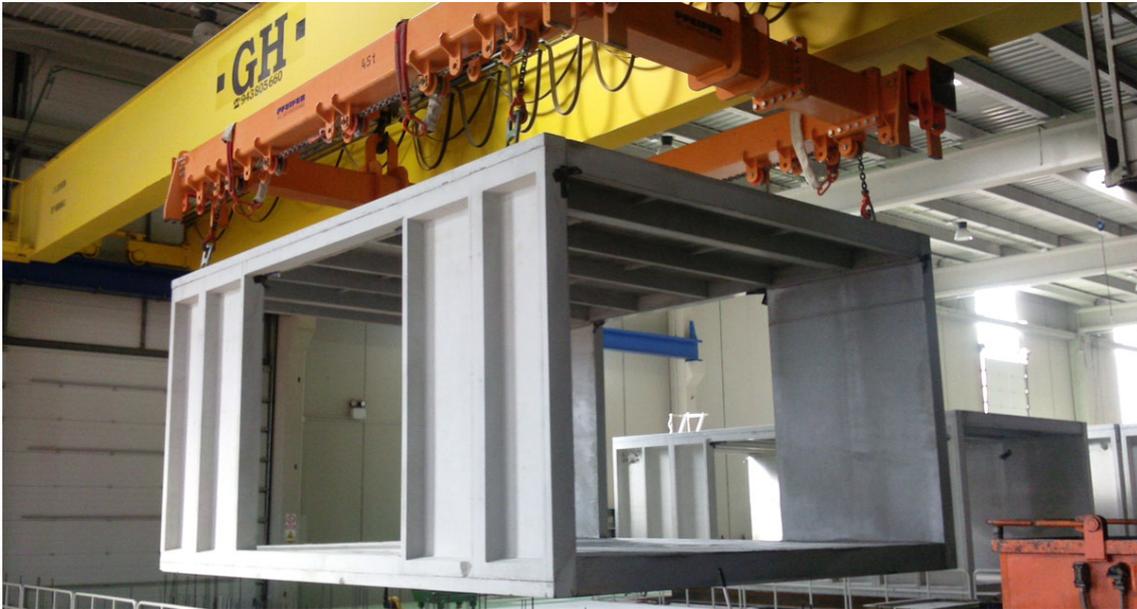
*Ilustración 48 Colocación de la House B10 en el solar y vista del patio de la casa.*

### 7.3. Módulo estructural eMii-C, desarrollado por Compact Habit.

El sistema eMii-C (Edificación Modular Integral Industrializada) se ha diseñado para agilizar la producción en serie de módulos de hormigón armado y híbridos de hormigón-acero.

Estos módulos avanzan por una cadena de montaje hasta salir de la fábrica completamente equipados con todos los componentes y servicios, según las especificaciones del cliente. El proceso de hormigonado en este sistema se divide en dos fases horizontales, utilizando una encofradora desarrollada y patentada por Compact Habit. Esta versátil encofradora se ajusta a diferentes anchuras, alturas y longitudes de módulo.

La unidad estructural de hormigón armado está compuesta por dos forjados unidireccionales y dos paredes o pilares con características similares, que aseguran la rigidez horizontal mediante la continuidad de las armaduras entre los planos horizontales y verticales. La rigidez de este sistema monolítico se logra gracias al hormigonado continuo sin uniones mecánicas.



*Il·lustració 49 Mòdul estructural de formigó eMii-C de Compact Habit.*

Se utiliza un hormigón de clase H50 autocompactante y armado de tipo pasivo. Los recubrimientos, la compacidad del material y su resistencia aseguran la durabilidad y el rendimiento del producto acabado, adaptándose a las condiciones ambientales y cumpliendo con las normativas vigentes como el CTE (DB-SI), EHE-08 y Eurocódigo 2 para resistencia al fuego.

Las piezas de hormigón están diseñadas con elementos roscados y encajes que facilitan la conexión en fases posteriores. Cuatro cilindros salientes con forma de cono y extremo redondeado permiten un apilamiento preciso. Estos cilindros se integran en los zunchos longitudinales superiores del techo, actuando como amortiguadores para evitar puentes acústicos y proteger durante el ensamblaje y centrado con grúas.

La propia estructura puede incorporar elementos roscados y auxiliares para anclajes de fachadas, estructuras y andamiaje, evitando futuras intervenciones que puedan dañar el hormigón y su armado. En resumen, el sistema eMii-C es una solución integral que busca la eficiencia y calidad en la edificación modular.



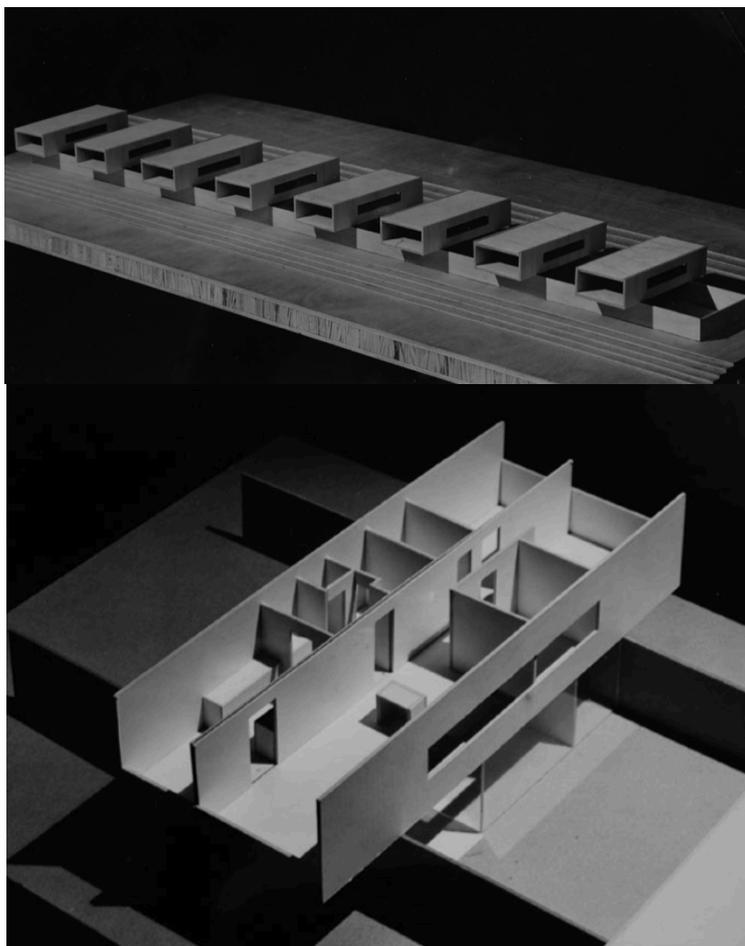
*Ilustración 50 Unión de dos módulos estructurales de hormigón eMii-C de Compact Habit.*

#### 7.4. Las Viviendas Tapionsolu (1963) de Heikki y Kaija Siren

Estas viviendas surgieron como resultado de un concurso para crear hogares unifamiliares, económicos y adaptables, utilizando métodos industrializados. Los sistemas prefabricados de madera utilizados tienen sus raíces en la tradición constructiva nórdica.

En el diseño de la vivienda, se emplean dos tipos de módulos: uno de estar, una estructura de 7 toneladas, y otro de estancias húmedas, un espacio de 3,5 m<sup>2</sup> que alberga los baños y la cocina. La distribución de la vivienda se logra al colocar estos módulos sobre dos largos muros de hormigón armado paralelos. Este nuevo espacio formado aloja el vestíbulo, el garaje, la sauna y algunas áreas adicionales. En la planta superior, el resto de la vivienda se despliega en los módulos, que en conjunto abarcan una superficie de 100 m<sup>2</sup>. Estos módulos contienen tanto las áreas de baños, cocina e instalaciones, como la sala de estar y los dormitorios.

La concepción y disposición de estos módulos permiten crear una vivienda que aprovecha de manera eficiente el espacio y maximiza la funcionalidad, todo ello respetando la tradición nórdica de construcción y adaptándose a las necesidades modernas.

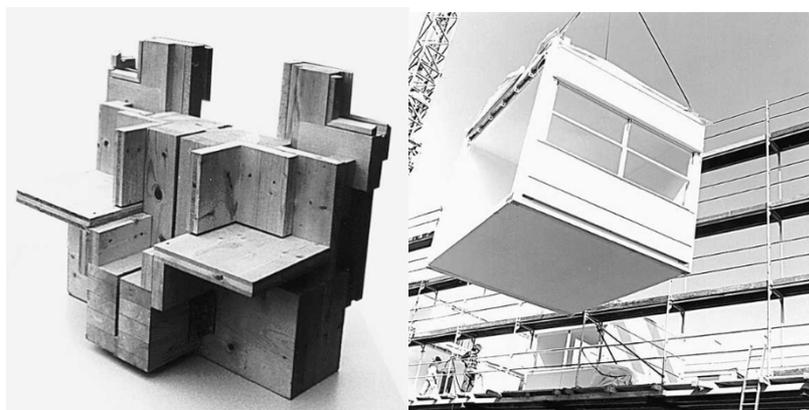


*Ilustración 51 Viviendas Tapionsolu de Heikki y Kaija Siren.*

## 7.5. Bauart homes

La empresa Bauart introduce en el mercado el sistema Modular-T, compuesto por unidades prefabricadas, autoportantes y apilables de hasta cuatro alturas. Estas unidades ofrecen múltiples posibilidades de combinación.

La estructura está compuesta por un robusto bastidor de secciones angulares de madera laminada. A este se le añaden cubiertas, forjados y paneles de cerramiento perimetrales, todos fabricados en madera o derivados de la misma. Esta elección de materiales duplicados no solo mejora el aislamiento acústico, sino que también aumenta la seguridad contra incendios.



*Ilustración 52 Sistema Modular-T de la empresa Bauart homes.*

## 7.6. Modulab

Modulab desarrolla distintos sistemas de constructivos de alta eficiencia energética enfocados en la industrialización. Estos sistemas consisten en una estructura de madera laminada con cerramientos de entramados ligeros de madera y aislamiento de origen natural, las dimensiones del módulo completamente acabado son de 3x3x6 m. El sistema ofrece por adición de módulos, múltiples soluciones destinadas a vivienda, centros educativos, hostelería, etc...



*Ilustración 53 Implantación en obra de un módulo de la empresa Modulab.*

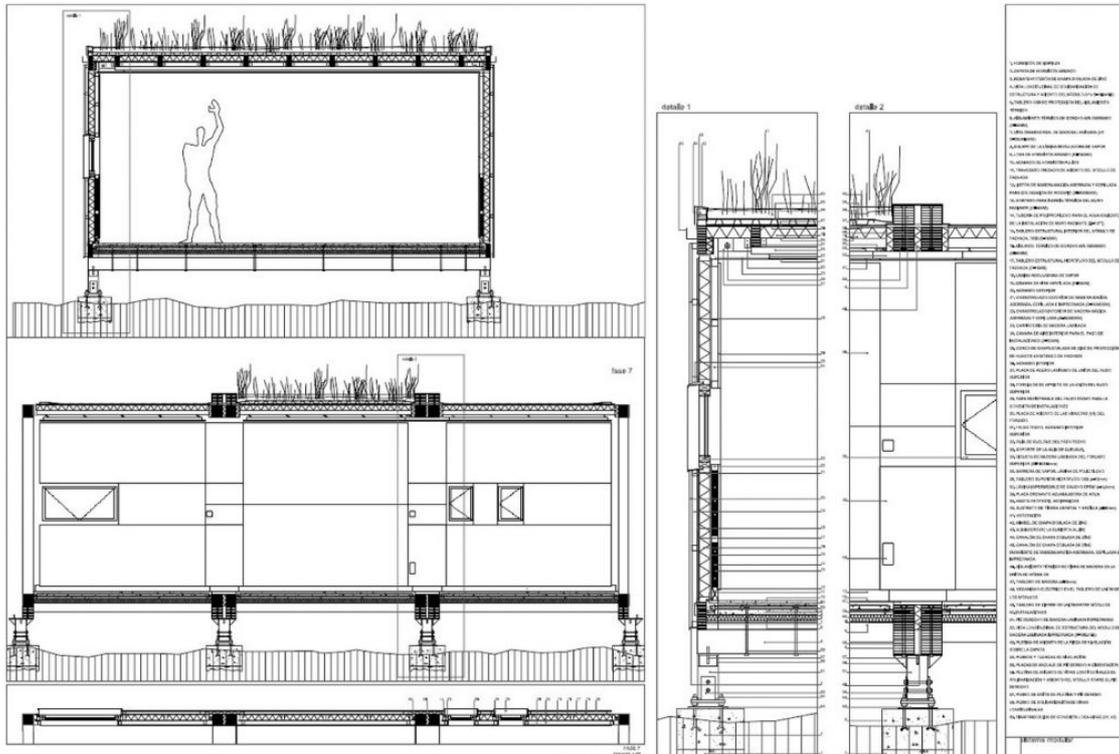


Ilustración 54 Ficha técnica de un módulo de la empresa Modulab.

## 7.7. Typenhaus (2002) de e2a

Los sistemas de acero son similares en cuanto al modelo estructural. El proyecto Typenhaus (2002), en Zúrich, Suiza, de e2a.

Esta vivienda no se concibe para una parcela específica ni se dirige a un cliente particular, sino a un segmento de población con necesidades habitacionales en entornos urbanos. Estos parámetros poco definidos crean un contraste con la demanda específica que surge del diseño del sistema constructivo, el cual debe brindar soluciones para diversas circunstancias. La estructura de acero es la base de esta construcción, y se ha desarrollado un catálogo de componentes que permite a los clientes ensamblar la vivienda de acuerdo con sus requisitos individuales.



*Ilustración 55 Losa empleada para la cimentación de Typenhaus de e2a.*

Cada uno de estos elementos individuales ha sido diseñado con una función única en mente, lo que evita combinaciones complejas de muros o marcos de ventanas. Esta estrategia simplifica los componentes del edificio y, a pesar del presupuesto limitado, permite un control arquitectónico efectivo. Para los solados, se emplea un panel revestido de mortero y empotrado en el suelo, lo cual también explica por qué los interruptores están situados en el suelo. Esta elección de diseño se alinea con la optimización de recursos y la adaptación a diferentes contextos urbanos.



*Ilustración 56 Estructura de la Typenhaus de e2a.*



*Ilustración 57 Typenhaus de e2a.*

## 7.8. Módulo estructural eMii-CS, desarrollado por Compact Habit

La empresa Compact Habit ha desarrollado el sistema modular híbrido de estructura metálica eMii-CS, que permite un montaje y desmontaje del edificio con rapidez y facilidad. Estos módulos pueden ser agrupados y apilados según se requiera.

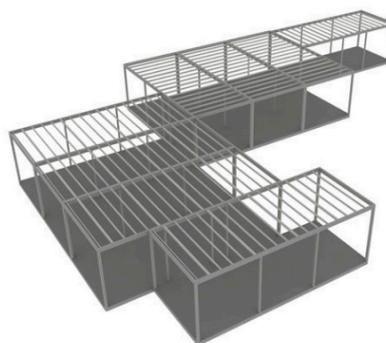
Cada módulo está compuesto por una estructura de pilares metálicos arriostrados, un forjado inferior y una estructura de techo o cubierta. La cubierta superior podría reemplazarse por un forjado con características similares al inferior. El forjado puede estar compuesto por hormigón macizo (losa armada), hormigón con aligeramiento o soluciones mixtas que combinan estructura metálica y hormigón armado.

Para la construcción del edificio, Compact Habit ha desarrollado diversas soluciones de unión y apoyo que permiten el ensamblaje y desmontaje del edificio de manera rápida y sencilla. Las uniones pueden ser elásticas o rígidas según los requerimientos del cálculo estructural y la acústica. También es posible usar uniones rígidas o semirrígidas no desmontables.

Las dimensiones de los módulos, tanto en planta como en altura, se adaptan a cada proyecto, siguiendo las regulaciones de circulación específicas de cada zona. Los módulos pueden tener caras no paralelas y alturas variables, horizontales o inclinadas. La distribución de los pilares se ajusta a la distribución arquitectónica, el cálculo estructural y la manipulación del módulo.

Los materiales principales utilizados son el hormigón y el acero. El hormigón empleado es de clase H25 como mínimo, con armaduras de tipo pasivo. Los recubrimientos se

seleccionan para garantizar el rendimiento y durabilidad del producto final, adaptándolos a las necesidades específicas de cada caso en términos de recubrimientos, armaduras, alturas de forjado y soluciones constructivas. En cuanto al acero, se utiliza S275JR para elementos estructurales y S235JR para los elementos secundarios, permitiendo la adaptación del sistema según los requisitos de cálculo.

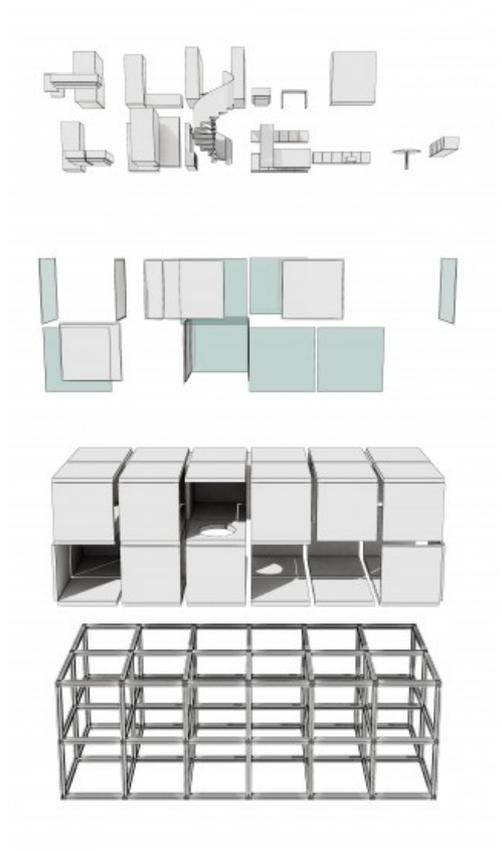


*Ilustración 58 Sistema modular de acero eMii-CS de Compact Habit.*

## 7.9. Villa V (2004) de HŠH architekti

La Villa V (2004), ubicada en Beroune, República Checa, diseñada por HŠH architekti, se caracteriza por la repetición de 24 celdas cuadradas que revelan el orden estructural del edificio. Este módulo se refleja de manera constante en la disposición interna y el equipamiento de los espacios individuales, en ambas plantas, conectados por una escalera de acero en espiral. En este diseño, no se emplean pasillos tradicionales, ya que los espacios individuales están interconectados y se pueden ampliar o dividir según las necesidades gracias a paredes móviles.

La estricta rejilla espacial combina materiales sólidos y rugosos, como un marco de acero de soporte en color negro, paredes de relleno de hormigón sin ningún tratamiento superficial adicional, techos inclinados, acero inoxidable y muebles cúbicos minimalistas integrados. Los elementos de la fachada oscilan entre ser completamente opacos y totalmente acristalados, complementados por persianas de lona y tabiques corredizos. Esta combinación de materiales y diseño crea un ambiente moderno y funcional que resalta la estética y la funcionalidad en cada detalle.



*Il·lustració 59 Vista explotada Villa V*



*Il·lustració 60 Alzado de la Villa V de HŠH arhitekti.*



*Ilustración 61 Interior de la Villa V de HŠH arhitekti.*

## 7.10. KUB'S BY KIT'S

La empresa KUB'S BY KIT'S se especializa en la construcción de casas 100% modulares, ofreciendo tanto un catálogo de casas pre-diseñadas como la posibilidad de personalización de la vivienda según las preferencias del cliente.

El sistema estructural se basa en perfiles simples de acero laminado, como HEB e IPE, del tipo S275JR, con uniones soldadas. Para los forjados, se utiliza hormigón sobre chapa colaborante, que se coloca sobre vigas de acero IPE dispuestas longitudinal y transversalmente en la cota inferior. Esto proporciona la resistencia y rigidez necesarias para el forjado.



*Ilustración 62 Estructura utilizada en las viviendas de la empresa KUB'S BY KIT'S.*



*Ilustración 63 Vista inferior de la estructura utilizada en las viviendas de la empresa KUB'S BY KIT'S.*

Se utiliza una cimentación superficial elaborada a partir de hormigón armado, la cual es calculada y adaptada para satisfacer las condiciones específicas del terreno según lo determinado por el estudio geotécnico realizado en la fase de diseño.



*Ilustración 64 Colocación de un módulo sobre cimentación.*

La cubierta descansa sobre una estructura resistente compuesta por vigas metálicas dispuestas en un formato tipo DECK. Esta cubierta es plana, ligera y no apta para el tránsito, con una inclinación adecuada, además de contar con aislamiento térmico y una membrana impermeable. El toque final de la cubierta se logra mediante la colocación de gravas como capa superior.

El cerramiento de la fachada se compone de paneles multicapa de cemento, fibras y yeso, que ofrecen alta resistencia a impactos y humedad. Estos paneles se montan sobre una subestructura metálica autoportante y cuentan con un núcleo interior de lana mineral.

La fachada exterior se completa con un revestimiento continuo de mortero acrílico de color personalizado según las preferencias del cliente. Este acabado asegura una apariencia homogénea y resistente a las condiciones climáticas adversas.

Para las divisiones interiores se emplean placas de cartón-yeso montadas sobre estructuras metálicas, proporcionando aislamiento acústico en el interior. Además, se implementan refuerzos puntuales en áreas donde se planea fijar elementos suspendidos.

Este sistema constructivo está cuidadosamente diseñado para brindar al cliente la flexibilidad de ampliar la casa de manera sencilla y adaptarla a diversas necesidades que puedan surgir a lo largo del tiempo.

## 7.11. InHAUS

InHAUS posee un amplio catálogo de casas fabricadas en serie, que les permite tener un stock mediante el cual pueden reducir los tiempos de entrega sumado a esto, tienen la capacidad de ofrecer la opción de diseñar una casa desde cero.

Cuando se elige un modelo prediseñado, se conoce de antemano el precio final de la vivienda, incluyendo la cimentación, conexiones y acabados. En cambio, si se opta por un diseño personalizado, el precio se determina al final de la obra.



*Ilustración 65 Implantación de una vivienda modular de la empresa InHAUS en el solar.*

La cimentación de las viviendas modulares suele ser una losa de hormigón in-situ armado, que puede incluir vigas continuas o zapatas para anclar la estructura de los módulos. Es esencial que la cimentación sea uniforme y nivelada para garantizar una correcta implantación de la vivienda.



*Ilustración 66 Colocación de un módulo sobre cimentación por InHAUS.*

Los módulos son autoportantes en la mayoría de los casos, lo que significa que ocultan su estructura en los cerramientos. Esto brinda flexibilidad en el diseño interior y facilita futuras reformas. Además, los módulos son apilables, lo que permite ampliar la vivienda verticalmente según las necesidades del propietario.

InHAUS utiliza un sistema patentado llamado EMOHA, que significa Estructura Modular de Hormigón y Acero. Este sistema flexible permite satisfacer las necesidades de diseño de cada cliente y está disponible para proyectos de arquitectos externos.



*Ilustración 67 Vista del sistema EMOHA en fabrica.*

Las viviendas modulares suelen tener estructuras metálicas con cerramientos de panel Sándwich para fachadas y cubiertas, y los tabiques interiores suelen estar contruidos con entramados autoportantes y yeso laminado.



*Ilustración 68 Colocación de los paneles sándwich en obra.*

El sistema de construcción modular puede adaptarse a una amplia gama de tamaños, desde viviendas mínimas que se transportan en una sola pieza hasta viviendas grandes o incluso bloques de varias alturas, dividiendo la vivienda en módulos de menor tamaño.

## 7.12. PORCELANOSA

Dentro del grupo español PORCELANOSA existe una división que recibe el nombre de PORCELANOSA Offsite, esta se dedica a la construcción prefabricada y modular. Esta división se especializa en la fabricación de módulos y componentes de alta calidad para la construcción de viviendas y edificios comerciales. La filosofía de PORCELANOSA Offsite se basa en la industrialización y la prefabricación de elementos de construcción para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad en el proceso de construcción. Entre sus productos destacan los módulos Monobath, Monokitchen y Garden Pods.

El concepto de baños y cocinas industrializados (Monobath y Monokitchen) consisten en un entramado de acero galvanizado revestido con placas de yeso laminado y acabado con un revestimiento interior cerámico. Dichos acabados interiores forman parte de la posible personalización de cada proyecto, permitiendo al cliente seleccionar entre una amplia gama de acabados y productos del Grupo PORCELANOSA.

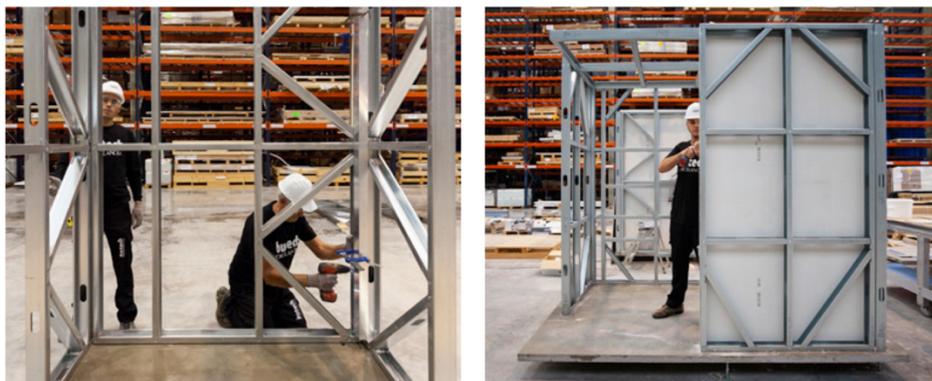


Ilustración 69 Proceso de montaje.

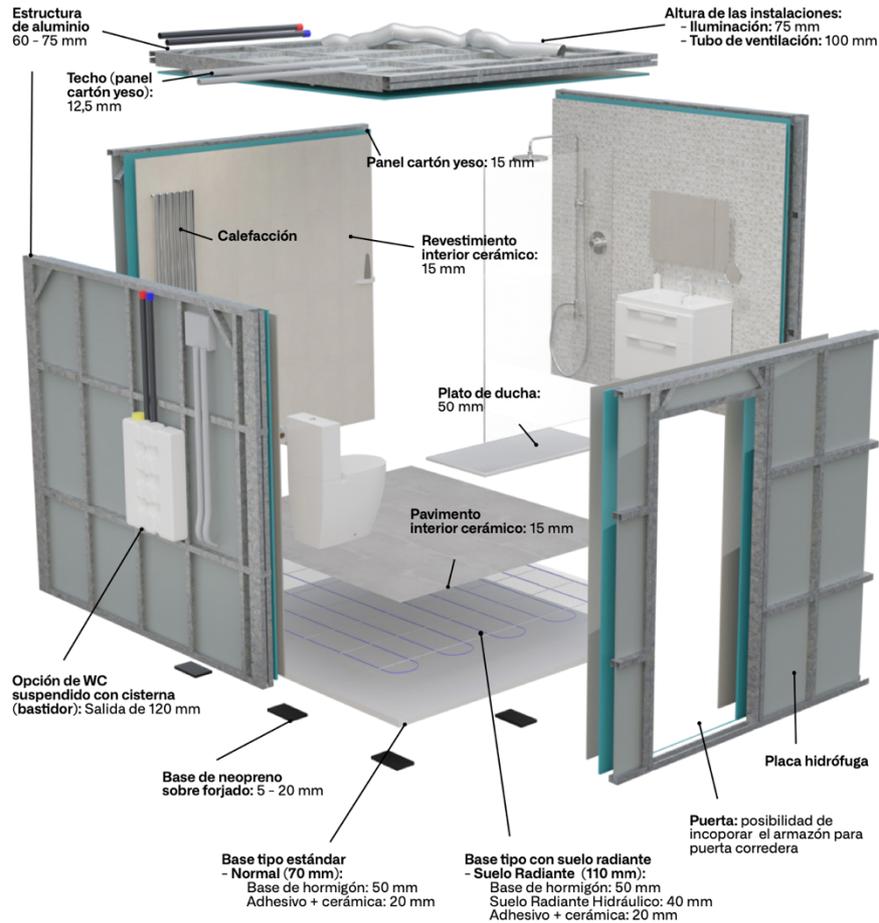


Ilustración 70 Modulo tipo Monobath.

Es importante tener en cuenta una serie de cotas para asegurar que los módulos puedan ser ubicados correctamente entre los forjados del edificio. Con esto se evitan problemas durante la instalación de los módulos prefabricados y se garantiza un resultado final exitoso en la construcción del edificio. En la siguiente imagen se pueden apreciar las distintas dimensiones relevantes para la instalación.

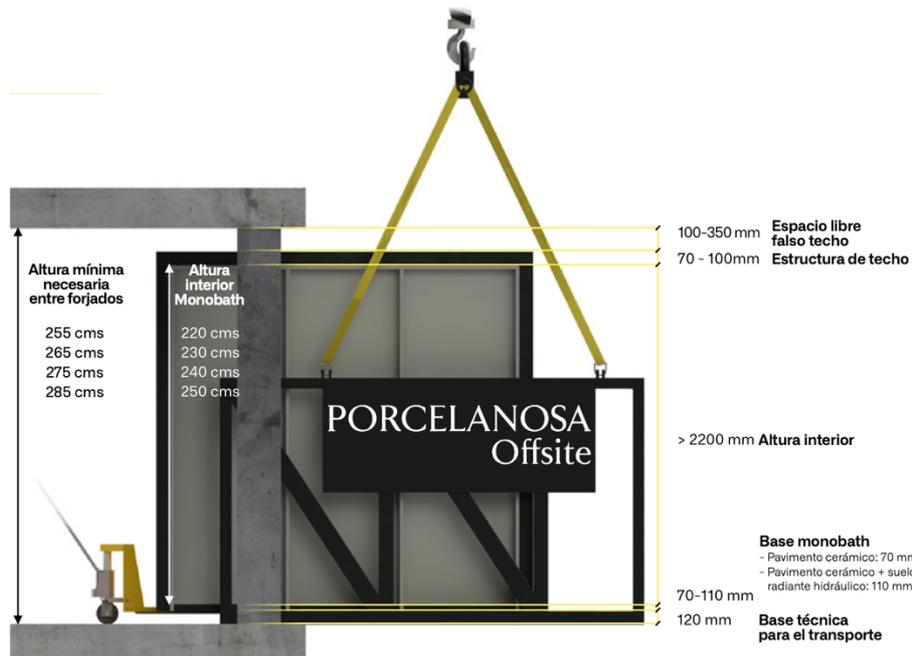


Ilustración 71 Cotas relevantes para la instalación de los módulos.

Para la puesta en obra, el módulo se introduce al edificio antes de que se acaben de ejecutar las fachadas de este. El módulo, ubicado en una plataforma de izado, es izado con la ayuda de una grúa y un operario en la planta correspondiente lo traslada hasta su ubicación final y por último se realiza la nivelación del módulo.



Ilustración 72 Izado del módulo.

En el caso de los Garden Pods que se ubicaran en el exterior, se utiliza la misma estructura que en los Monobath y Monokitchen, un entramado de acero galvanizado revestido con placas de yeso laminado y acabado con un revestimiento interior cerámico, pero en el caso de los Garden Pods se le suma el revestimiento exterior ejecutado mediante el sistema FV PORCELANOSA y una cubierta ligera no transitable.

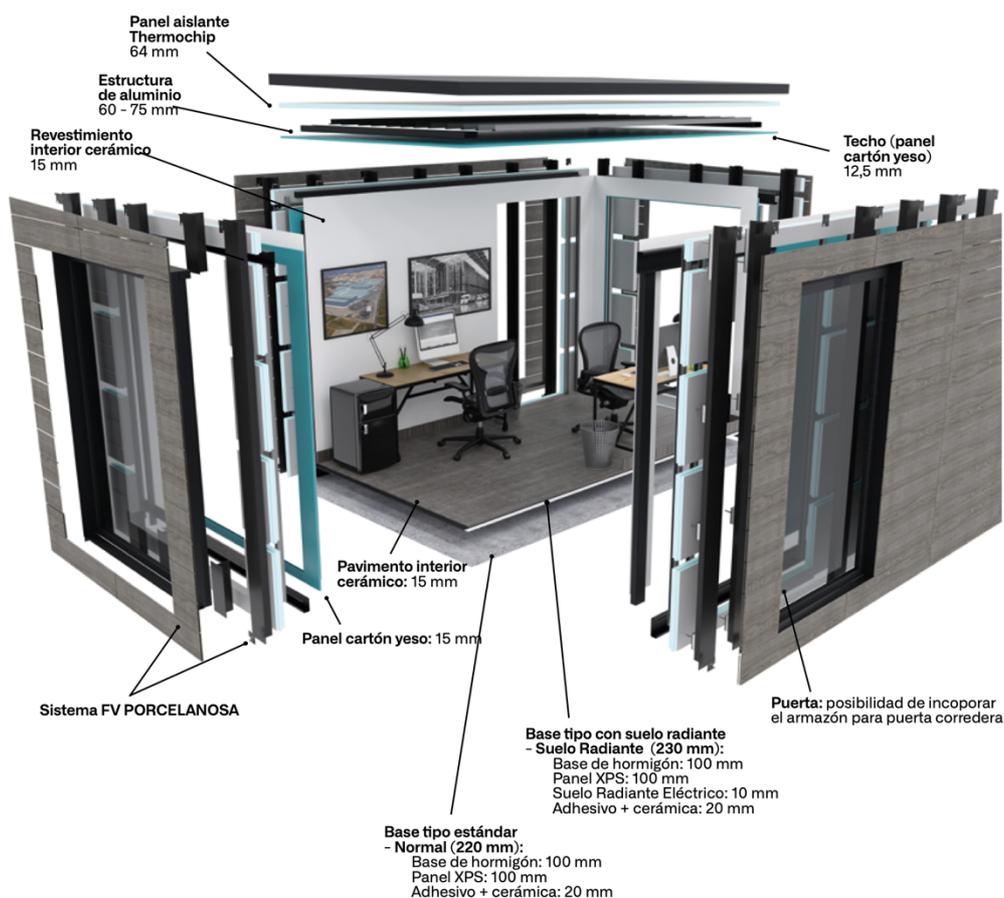


Ilustración 73 Módulo tipo Garden Pods.

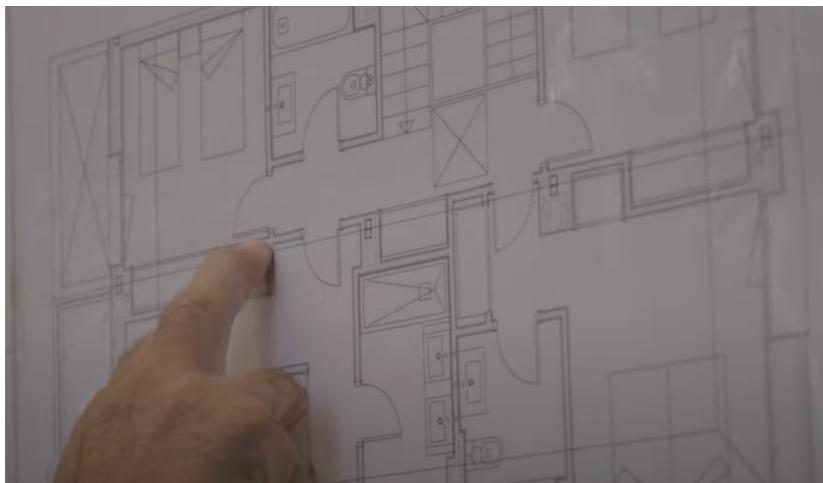
### 7.13. Neoblock

Neoblock se especializa en desarrollar soluciones constructivas que cumplen con el Código Técnico de la Edificación (CTE) para una variedad de aplicaciones, como colegios, hospitales y viviendas. En sus fábricas, operan tres líneas de montaje. Una de ellas se dedica al montaje de la estructura y a la ejecución de proyectos altamente personalizados, mientras que las otras dos líneas se enfocan en la fabricación de proyectos en serie.



*Ilustración 74 Líneas de montaje en serie.*

Para asegurarse de que la línea de ensamblaje sea lo menos visible posible una vez que la vivienda se instala en el solar, la hacen coincidir con los armarios, que se instalan en la obra. También dejan sin instalar una franja de pavimento y de pladur para que posteriormente se pueda terminar en el solar y ocultar las uniones entre los módulos.



*Ilustración 75 Líneas de ensamblaje entre módulos planificadas para que no queden vistas.*

Neoblock utiliza una estructura compuesta por perfilería IPE que se calcula en función de los esfuerzos dinámicos durante el transporte, por lo que suele estar sobredimensionada para los requisitos estáticos del edificio en la obra. Los forjados son de hormigón con chapa colaborante y encofrado perdido de aproximadamente 10 cm de espesor. Toda la estructura se proyecta con una película que permite su ignifugación. Cada módulo se numera con una codificación y un código QR que se proporciona al cliente, permitiéndole rastrear el módulo, similar a un seguimiento de un vehículo de alta gama.



*Ilustración 76 Estructura metálica empleada en los módulos.*

Para la colocación de los tabiques, siguen una metodología de trabajo diferente a la construcción tradicional, trabajando de dentro hacia afuera. Esto permite que los electricistas y fontaneros realicen las instalaciones mientras se llevan a cabo otros trabajos en el interior del módulo.



*Ilustración 77 Modulo siendo fabricado en serie.*

En sus proyectos, Neoblock utiliza cubierta DECK para facilitar la manipulación con grúas. En caso de que el cliente desee una cubierta transitable, se utiliza una cubierta de hormigón.

## 8. Caso de estudio

En este punto, se ha examinado una vivienda previamente construida utilizando métodos tradicionales y se ha diseñado una versión que pueda ser construida mediante técnicas de construcción industrializada. En el proyecto final, se han realizado algunas modificaciones para garantizar que la construcción pueda llevarse a cabo de manera eficiente utilizando estos métodos modernos.

### 8.1. Selección caso de estudio

La selección del proyecto sobre el cual trabajar se basó en una investigación exhaustiva, de diferentes viviendas conocidas por los estudiantes de arquitectura, con el objetivo de identificar la opción más apropiada para la industrialización. A continuación, se muestran las diversas opciones estudiadas:

#### 8.1.1. Casa Esherick (Louis Kahn)

La Casa Esherick, construida al norte de Filadelfia, Estados Unidos, entre 1959 y 1961, encarna varios aspectos clave del estilo maduro de Louis Kahn.

En primer lugar, destaca por su monumentalidad. Su apariencia sólida y vertical transmite una sensación de solemnidad, casi como si fuera un edificio público en lugar de una residencia privada.

En segundo lugar, se presenta de manera compacta, en forma de una caja sin extensiones ni protuberancias, excepto por dos chimeneas ubicadas simétricamente en los extremos opuestos del edificio. A diferencia de la fluidez típica de los espacios de planta libre en la arquitectura moderna, los espacios en la obra de Kahn son fundamentalmente estáticos. Sus habitaciones son espacios serenos y silenciosos, diseñados para albergar actividades humanas arquetípicas, como conversaciones entre amigos, comidas en comunidad o momentos de lectura en solitario.

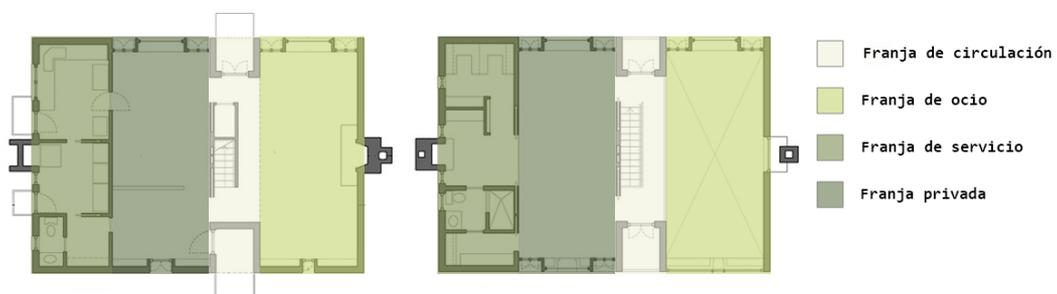
En tercer lugar, la casa se ilumina y ventila de forma natural, aprovechando la forma del edificio para controlar la calidad de los espacios interiores en lugar de depender de sistemas mecánicos o dispositivos adicionales.

Desde el principio, se concibió como una caja rectangular paralela a la calle, con un jardín en la parte trasera. Aunque el proyecto final tuvo algunas modificaciones, se mantuvo el concepto de organizar los espacios en zonas servidas y áreas de servicio, con una franja de servicios en el centro. Este concepto se desarrollaría aún más en proyectos posteriores de Kahn, incluyendo los Laboratorios Richards.



*Ilustración 78 Fachada principal de la Casa Esherick*

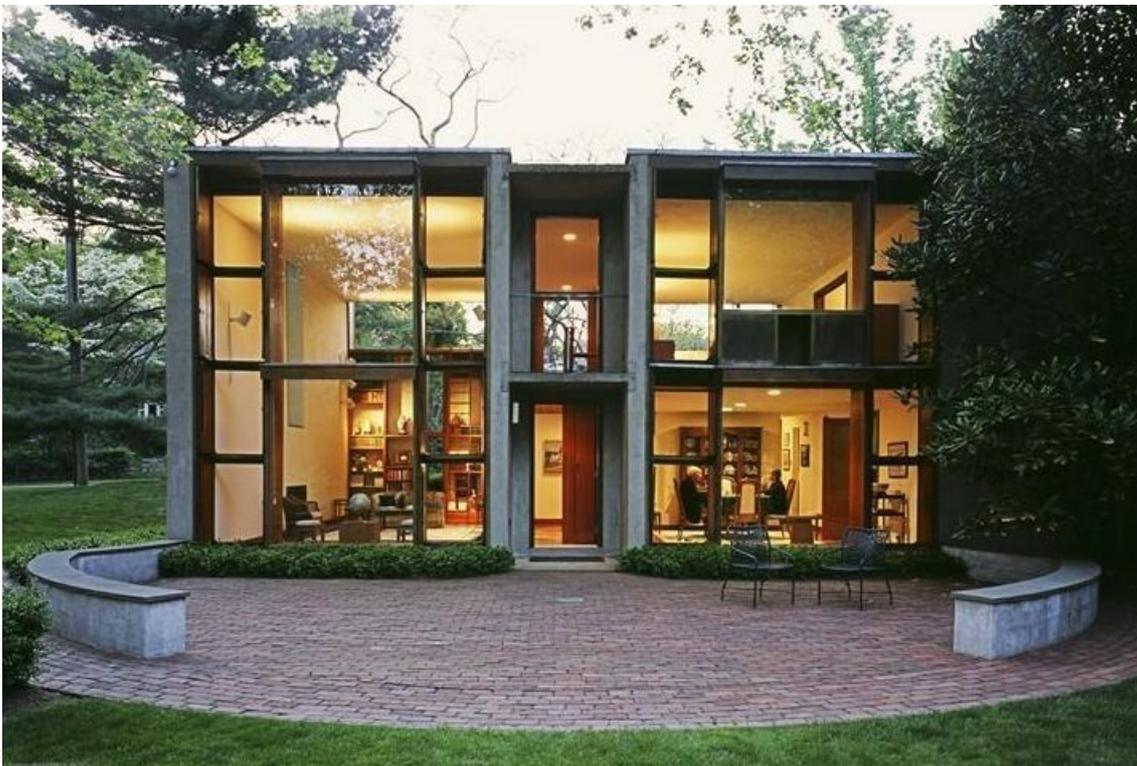
A pesar de su apariencia de caja, un análisis detallado de la planta revela que está dividida en cuatro franjas, cada una de ellas un rectángulo bien proporcionado y contenido: una franja de servicio con cocina y lavadero en la planta baja y baños arriba; una franja de comedor con el dormitorio en el nivel superior; una franja de circulación que contiene la escalera y las entradas frontal y trasera, así como dos porches en el nivel superior; y finalmente, la franja de la sala de estar de doble altura, que es un cubo doble. Estas franjas pueden combinarse de diferentes maneras conceptualmente, lo que permite flexibilidad en el diseño interior.



*Ilustración 79 Diagrama de distribución*

Las ventanas están alineadas con las fachadas, pero están profundamente empotradas en el volumen del edificio, creando un efecto de profundidad en el interior. Kahn afirmó en una de sus conferencias que "la ventana quiere ser una habitación". Esto refleja su enfoque único, en el que el cerramiento y el muro se integran para formar una nueva unidad, diferente del concepto de planta libre promovido por otros arquitectos modernos.

En cuanto a los materiales, Kahn hizo uso predominante de hormigón y vidrio, con grandes marcos de madera y paneles fijos de vidrio. La madera también se utilizó en los suelos. La fachada exterior de hormigón fue enlucida para darle una apariencia de superficie monolítica, lo que contrasta elegantemente con las estructuras de madera de las ventanas.



*Ilustración 80 Fachada trasera con grandes ventanales*

El hecho de que la vivienda se presente como una caja rectangular sin extensiones ni protuberancias, exceptuando ambas chimeneas, facilita el uso de elementos modulares, a esto se le suma el hecho de que la casa se desarrolle en dos plantas, lo cual es perfecto para la construcción modular, a esto se le suma la distribución en planta, que tal y como se ha indicado antes, en planta se observa una división en cuatro franjas cada una de ellas en un rectángulo bien proporcionado y contenido.

La forma de la vivienda, que se asemeja a una caja rectangular sin extensiones ni protuberancias, a excepción de las dos chimeneas, y el diseño de la casa en dos plantas,

la convierten en una candidata ideal para la utilización de elementos modulares. A estos dos factores se le suma la distribución en planta que, como se mencionó anteriormente, se divide en cuatro franjas, cada una de ellas conformando un rectángulo bien proporcionado y contenido. Este diseño ofrece una base sólida para la implementación de componentes modulares en la construcción de esta vivienda.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que los grandes ventanales ubicados tanto en la fachada principal como en la fachada trasera pueden plantear desafíos en la ejecución con sistemas modulares. Estos elementos de vidrio requieren un enfoque especial en términos de diseño y fabricación para garantizar un ajuste adecuado en un contexto modular.

### 8.1.2. Casa Stahl (Pierre Koenig)

La Casa Stahl, también conocida como Case Study House No. 22, es uno de los proyectos más revolucionarios y minimalistas del programa Case Study, y a su vez uno de los objetos de culto más significativos. En lugar de ser un prototipo, se diseñó con precisión para ubicarse en la cima de una colina en North Hollywood, brindando vistas impresionantes de Los Ángeles. Su diseño se inspira claramente en el trabajo de Mies Van der Rohe, y comparte varias características distintivas con las obras de este renombrado arquitecto.



*Ilustración 81 Vista de la zona de la piscina de la Casa Stahl*

Al igual que en el Pabellón de Barcelona de Mies Van der Rohe (1929), Koenig logra fusionar las diferentes zonas de la casa, logrando una desmaterialización de los límites a través del uso prominente del vidrio como un recurso de gran presencia. Este material crea una conexión visual entre las superficies, incluyendo mármol pulido, agua, vidrio y metal.

Similar a la Casa Farnsworth de Mies Van der Rohe (1951), Koenig logra una desmaterialización de los límites visuales, permitiendo que el exterior y el interior se fusionen de manera fluida. Las paredes acristaladas se abren hacia la ciudad y se cierran con paneles de chapas metálicas corrugadas en la fachada de la calle.



*Ilustración 82 Alzado de la casa Farnsworth donde se puede observar la desmaterialización de los límites visuales*

La casa tiene una planta en forma de L, con los dormitorios en un ala y las áreas comunes en la otra, separadas por los baños en la intersección. La piscina, estratégicamente ubicada en el ángulo del edificio, interactúa con las ventanas de los dormitorios y crea una sensación de fluidez entre el interior y el exterior.



Como resultado, el entorno parece desmaterializarse: los voladizos y el cielo, se ven reflejados en el agua de la piscina, mientras que la estrecha franja pavimentada alrededor de la piscina y las plataformas ubicadas alrededor de la piscina no ofrecen mayor sensación de estabilidad ni de espacio cerrado.

La planta diáfana y el acabado de los paneles de plancha metálica de la cubierta, subraya la transparencia de las paredes acristaladas las cuales permiten observar toda la vivienda de lado a lado sin interrupción.

En el exterior, la única pared maciza, revestida con chapas metálicas verticales, es la que separa los dormitorios de la calle y el garaje.

En el interior, se encuentra solo una pared divisoria, ubicada entre los dos dormitorios. Esto permite que desde cualquier punto de la casa se disfrute de vistas panorámicas.

La sala de estar presenta una chimenea rectangular que cuelga del techo como elemento central, y la cocina se destaca por su diseño que parece un espacio dentro de otro, con un falso techo independiente y encimeras flotantes.



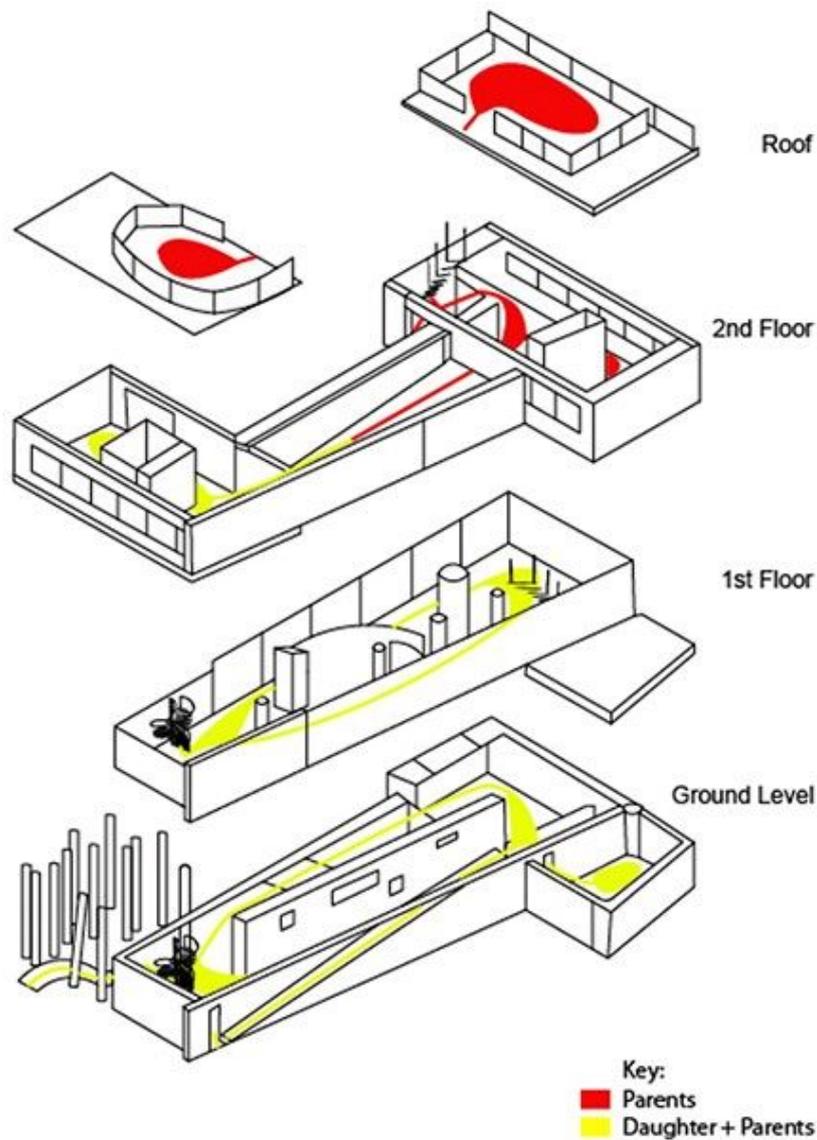
En cuanto a su ejecución, esta casa se puede realizar fácilmente mediante elementos prefabricados, ya que su estructura se basa en un sistema de viga-pilar de perfiles IPE de acero. Sin embargo, la ejecución mediante sistemas modulares podría presentar dificultades debido a la fragilidad de los ventanales, lo que complicaría el transporte de los distintos módulos en forma tridimensional.

### **8.1.3. Casa Villa dall'Ava (Rem Koolhaas)**

La Villa Dall'ava, situada en una zona residencial en las afueras de París con vistas al valle del Sena, es un ejemplo impresionante de diseño arquitectónico. El terreno, irregular y en pendiente, planteó un desafío interesante para el arquitecto Koolhaas. El programa requería viviendas separadas para los padres e hijos, así como una piscina en la terraza con vistas al centro de París.

Para abordar el desafío de ocupar el terreno sin alterar el paisaje en pendiente, Koolhaas diseñó la villa a lo largo del eje longitudinal del lote, siguiendo la pendiente y evitando desarrollos que obstruyeran la vista del terreno. La planta baja es la parte más amplia de la casa y se extiende a medida que el terreno se ensancha. Una pared larga recorre toda la villa, creando un contraste con las áreas transparentes de los otros lados.

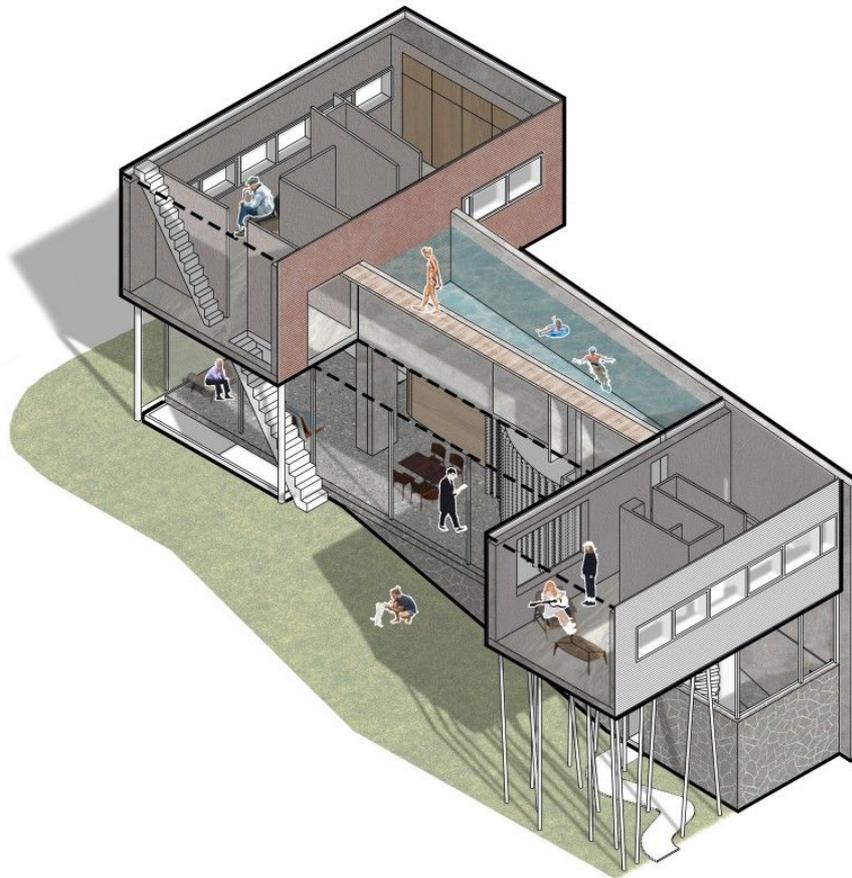
En la planta superior, dos cajas se disponen de manera perpendicular en cada extremo para albergar los dormitorios. Esto libera las vistas desde el nivel del suelo y preserva la profundidad visual de los lados de la casa. Las cajas superiores tienen vistas impresionantes, una hacia la colina y la otra hacia el centro de París. La piscina se encuentra entre estas cajas para aumentar la variedad de vistas que ofrece la casa.



*Il·lustració 84 Vista explotada*

El volumen de la fachada descansa en el lado izquierdo del muro, mientras que, en el lado opuesto, una caja elevada revestida de rojo crea un equilibrio visual.

El acceso desde la calle atraviesa un grupo de columnas delgadas que soportan una de las cajas de dormitorios. El interior de la casa ofrece una variedad de vistas. El hall conduce a una rampa que sigue la pendiente de la casa. En el lado exterior de la rampa, una ventana larga acompaña todo su recorrido. Al final de la rampa, la vista queda restringida por la escalera que lleva al dormitorio principal. Sin embargo, al girar a la izquierda, la vista se abre al jardín en toda su extensión.



*Il·lustració 85 Isometria de la Villa dall'Ava*

El disseny permet que el límit visual se difumini en la profunditat del terreny. Quan les finestres de la sala d'estar se obren, el interior se funde amb el jardí. La caixa de dormitoris, que se estén sobre el basament sense soportes, ressalta la presència dels arbres i crea un espai d'estar al aire lliure. El moviment dintre i fora de la casa crea una dinàmica de presències espacials, enriquida per als múltiples punts de vista que ofereix el disseny.

La distribució d'aquesta vivenda se presta de manera excel·lent per a la implementació de sistemes modulars. Sense embargo, és important tenir en compte que, al desenvolupar-se en tres plantes, pot sorgir certa complexitat al utilitzar sistemes modulars convencionals, que a menuda funcionen millor en estructures d'una o dues plantes.

Una opció pràctica podria ser combinar panells prefabricats amb estructures modulars en funció de les necessitats específiques de cada nivell. D'aquesta manera, se podria aprofitar al màxim l'eficiència i la qualitat de la construcció modular, al temps que se superen els desafis associats amb l'altura de l'estructura.

#### 8.1.4. Casa Enso II en San Miguel de Allende (HW Studio)

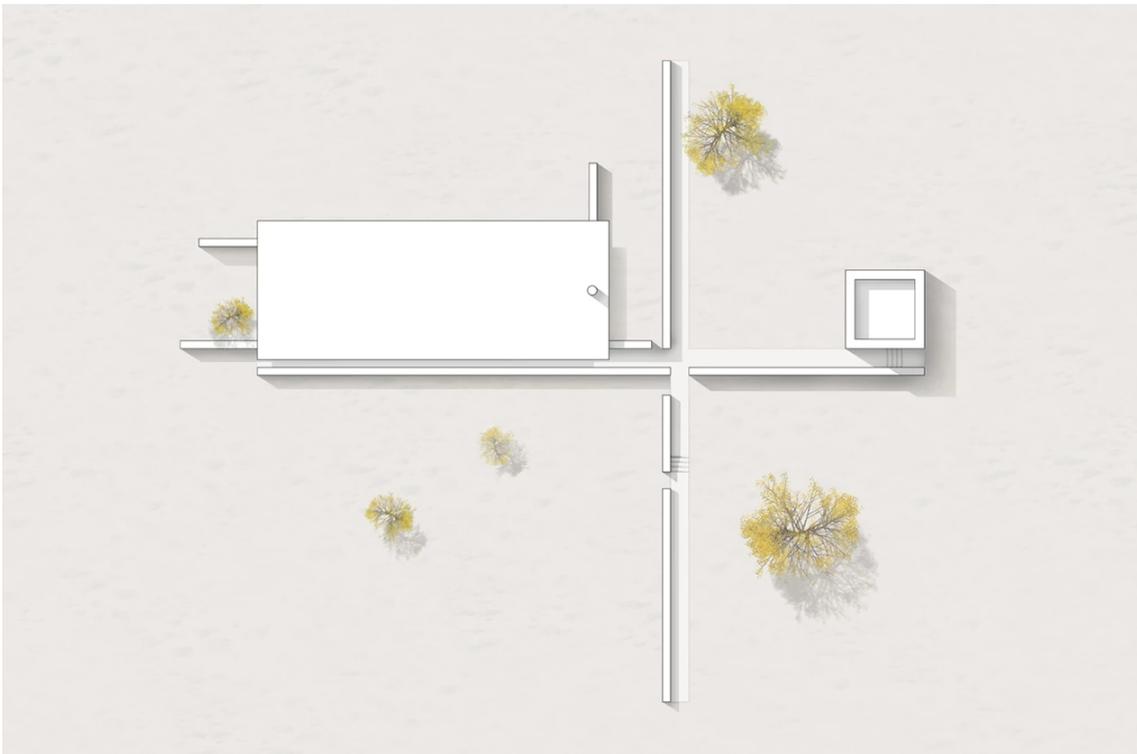
El estudio HW Studio tiene como objetivo fusionar principios artísticos y filosóficos tanto orientales como occidentales en sus proyectos arquitectónicos, con el propósito de crear espacios que evocan y promueven la paz. Su enfoque comienza con un estudio profundo del cliente, el lugar y su propia identidad como empresa. El resultado es una arquitectura que invita a la tranquilidad y al silencio, ofreciendo refugios de paz en medio de un mundo agitado.

En el caso de esta pequeña casa, HW Studio reconoció la fuerte identidad constructiva de Guanajuato, reflejada en su arquitectura, utensilios de cocina, acueductos y leyendas. La elección de la piedra como material fue natural y apropiada, dada su arraigada presencia en la cultura local y su disponibilidad cercana.



*Ilustración 86 Imagen de la Casa Enzo*

La planta de la casa se organiza en forma de cruz, dividiendo el espacio en cuatro cuadrantes mediante una cruz de callejones de piedra. Cada cuadrante tiene su propia función y "vocación". Por ejemplo, el cuadrante inferior derecho alberga un jardín endémico que acoge a la naturaleza y a los habitantes. El segundo cuadrante es para estacionar los automóviles, con atención a la protección de los árboles para brindar sombra. El tercer cuadrante contiene una casa de un dormitorio, con áreas públicas y privadas separadas por un volumen que contiene baños y servicios. El cuarto cuadrante alberga la oficina, un elemento vertical que contrasta con la horizontalidad del paisaje y recuerda a las estructuras icónicas de la mina Santa Brígida en Mineral de Pozos.



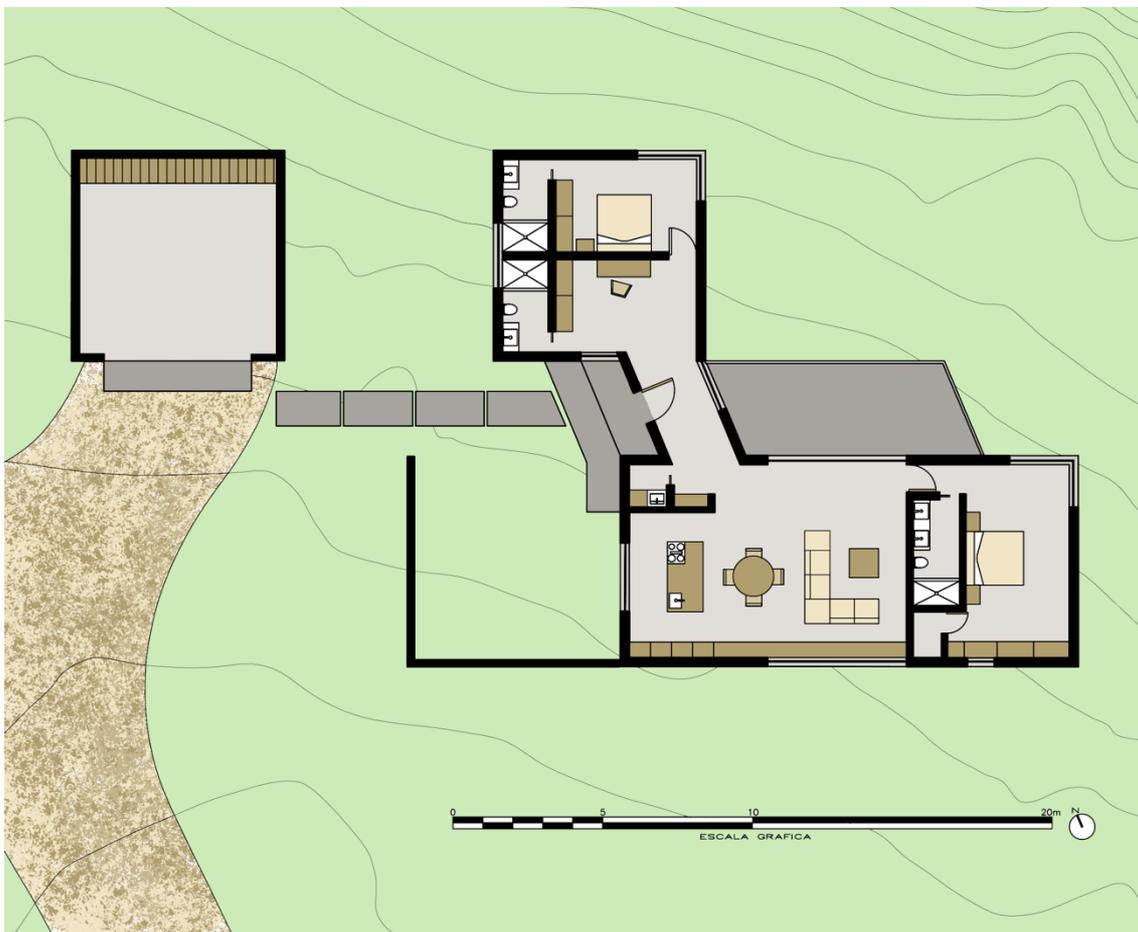
*Ilustración 87 Planta de la Casa Enzo*

Esta distribución promueve un peregrinaje constante entre los espacios y conecta a los residentes con la tierra, el aire y la montaña, creando una sensación de estar en armonía con la naturaleza.

En términos de ejecución, esta casa es adecuada para la utilización de elementos prefabricados debido a su distribución en planta. Su estructura se basa en un sistema de viga-pilar de perfiles IPE de acero, lo que facilita aún más su viabilidad para la construcción modular y prefabricada.

#### **8.1.5. Casa Paseo Encantado en Tesuque (Carlos Jiménez)**

La casa se despliega en una sola planta, alineada en un eje de este a oeste, siguiendo la orientación de las montañas de la sierra de la Sangre de Cristo. Se encuentra parcialmente empotrada en el terreno arenoso para minimizar su impacto visual, enfocándose en la horizontalidad de su diseño.

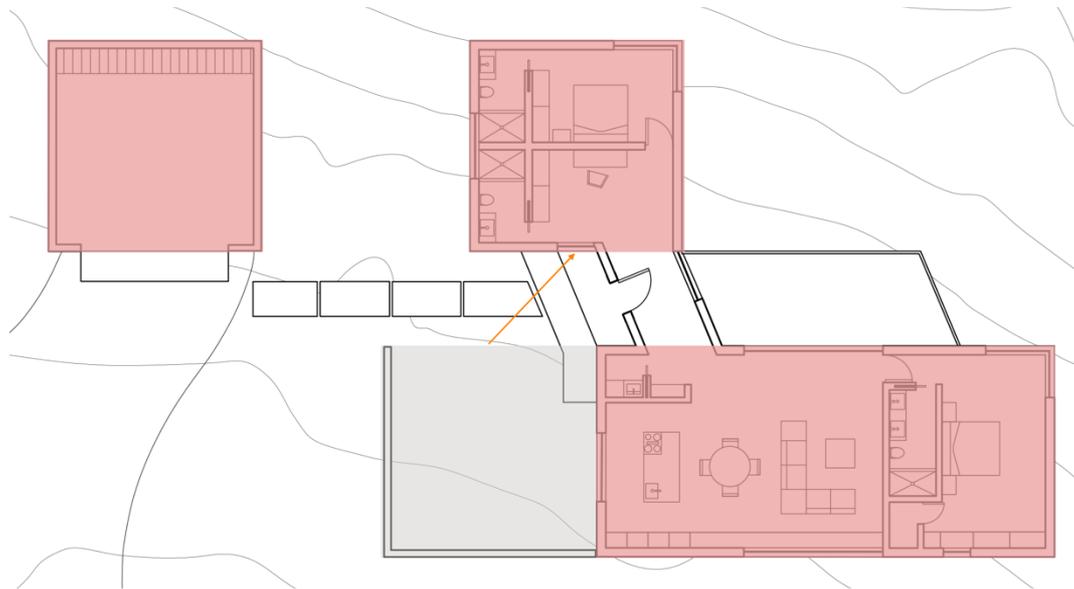


*Ilustración 88 Masterplan de la Casa Paseo Encantado en Tesuque*

La construcción se divide claramente en tres pabellones. El primero, visible al llegar por el camino, es el garaje, que tiene capacidad para dos coches y cuenta con una cubierta de vigas de madera.

El segundo pabellón, conectado al garaje mediante un pequeño camino de losas de hormigón, recibe al visitante con una puerta de madera enfrentada a un ventanal, esta misma figura de un gran ventanal, se ve repetida a lo largo de la casa permitiendo de esta forma que la Sierra de Cristo y la casa estén en constante conexión. Este volumen alberga una casa de un dormitorio, con áreas públicas y privadas separadas por un volumen que contiene baños y servicios. Las áreas públicas tienen acceso directo a una pequeña terrada ubicada al norte de este pabellón.

El tercer pabellón, alberga una pequeña vivienda para los invitados. Con sus dimensiones similares a las del pabellón de garaje y parece haber sido sustraído del patio delantero de la casa. Este se conecta con el resto de la vivienda a través de un pequeño pasillo diagonal, el cual rompe con la homogeneidad de la planta.



*Il·lustració 89 Diagrama explicativo*

## 8.2. Descripción de la construcción seleccionada

Para llevar a cabo el caso de estudio, se ha escogido la Casa Paseo Encantado en Tesuque diseñada por el arquitecto estadounidense Carlos Jiménez. El diseño en planta única de la vivienda permite una distribución eficiente y una transición fluida entre las áreas de la casa.

La disposición de una planta sencilla y ordenada facilita la simplificación del proceso de adaptación de la vivienda para su construcción mediante sistemas de construcción modular. Asimismo, la vivienda puede dividirse en módulos de una forma sencilla ajustándose perfectamente a las medidas permitidas para transportes especiales según el BOE num. 22, de 66/01/199, lo que la convierte en una elección ideal para llevar a cabo el caso de estudio.



*Il·lustració 90 Isometria casa Paseo Encantado de Tesuque*

## 8.3. Propuesta de prefabricación

### 8.3.1. Sistema constructivo

Para la prefabricación de esta vivienda, se ha optado por utilizar un sistema híbrido de módulos autoportantes que permiten un montaje y desmontaje rápido de la vivienda. El sistema estructural se basa en el uso de perfiles simples de acero laminado, como los perfiles HEB e IPE del tipo S275JR, con uniones soldadas para garantizar la resistencia y la estabilidad de la estructura.

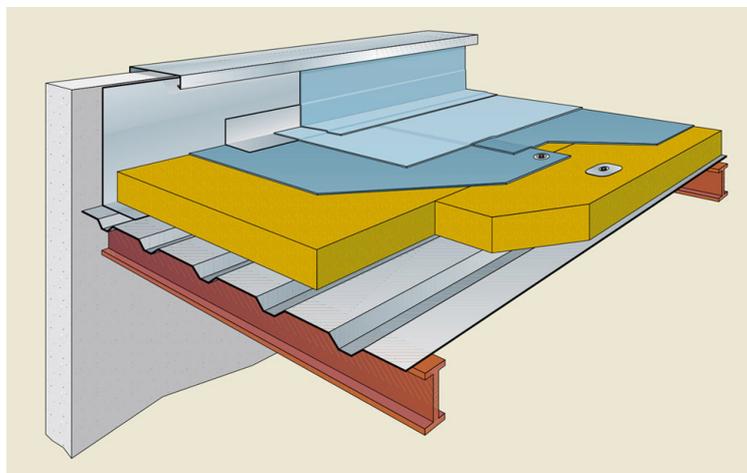
En los forjados se empleará hormigón de clase H50 autocompactante sobre chapa colaborante, que se colocará sobre vigas de acero de la misma tipología que las utilizadas en la estructura, dispuestas longitudinal y transversalmente en la cota inferior. Esto proporcionará la resistencia y rigidez necesarias para el forjado de la vivienda.



*Il·lustració 91 Sistema eMii-cs de Compact Habit*

La cimentación se determinará en función del estudio geotécnico del terreno en el que se ubicará la vivienda. Dependiendo de las condiciones específicas del terreno, se utilizará una cimentación superficial, que puede consistir en una losa de hormigón armado o un sistema de vigas y zapatas in situ. Es esencial que la cimentación sea uniforme y nivelada para garantizar una correcta implantación de la vivienda.

La cubierta descansará sobre una estructura resistente de vigas metálicas en formato tipo DECK. La cubierta será plana, ligera y no apta para el tránsito, con una inclinación adecuada y contará con aislamiento térmico y una membrana impermeable. La superficie de la cubierta se completará con la colocación de gravas como capa superior.



*Il·lustració 92 Detalle constructivo del sistema de cubierta DECK*



El cerramiento de la fachada se llevará a cabo mediante paneles multicapa de cemento, fibra y yeso, que ofrecen alta resistencia a impactos y a la humedad. Estos paneles se montarán sobre una subestructura metálica autoportante y contarán con un núcleo interior de lana mineral para mejorar el aislamiento de la vivienda. El acabado exterior será de mortero acrílico de color personalizado según las preferencias del cliente, asegurando una apariencia homogénea y resistente a las condiciones climáticas adversas.

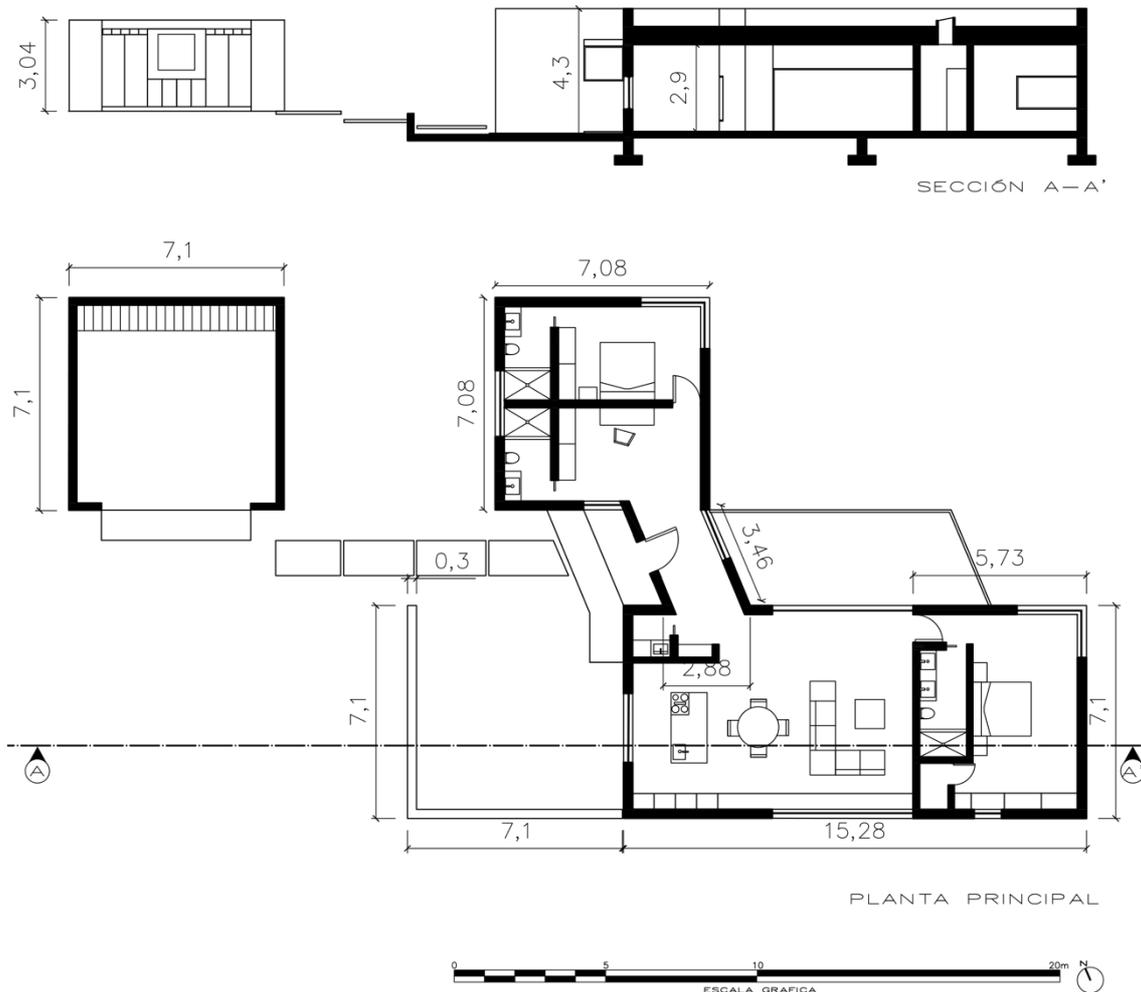
En cuanto a las divisiones interiores, se utilizarán placas de cartón-yeso montadas sobre estructuras metálicas para proporcionar aislamiento acústico en el interior de la vivienda. Además, se implementarán refuerzos puntuales en áreas donde se planea fijar elementos suspendidos. Este enfoque en la construcción garantiza una vivienda resistente, eficiente y de alta calidad.

### 8.3.2. Diseño

Las modificaciones realizadas en el diseño de la vivienda con el objetivo de adaptarla al transporte mediante vehículos de transporte especial por carretera y cumplir con la normativa de circulación se detallan a continuación:

1. Unificación de medidas de módulos: Se ha estandarizado el tamaño de los módulos para simplificar su fabricación en fábrica y su transporte. Esto implicó la reducción de la altura de algunos pabellones y el aumento de la altura de otros para que todas las dimensiones sean uniformes.
2. Reubicación de cimentaciones: Se ha reorganizado la ubicación de las cimentaciones para que coincidan con los puntos de apoyo de los diferentes módulos, facilitando así el montaje y desmontaje de la vivienda.
3. Reducción del tamaño de las ventanas: Las dimensiones de las ventanas ubicadas en las esquinas de las habitaciones se han reducido para estandarizarlas y reducir los costos de fabricación y transporte.
4. Disminución de tamaño de ventanales: Los amplios ventanales en el pabellón principal se han reducido en tamaño para que puedan incluirse en un solo módulo y cumplir con la normativa de transporte especial.
5. Reducción del tamaño de las habitaciones: La habitación principal se ha reducido en tamaño para que el módulo que la contiene pueda cumplir con la normativa de transporte especial por carretera.

Estas modificaciones permitirán que la vivienda pueda ser transportada de manera eficiente y cumpla con los requisitos de la normativa de circulación, al tiempo que se mantiene en gran medida la integridad del diseño original de Carlos Jiménez.



*Ilustración 93 Planta principal y sección acotadas según proyecto inicial*

La división de los módulos se ha realizado con el fin de facilitar la fabricación, se han reducido a 4 tipologías diferentes de módulos. Estas son las siguientes:

- Tipo A: Utilizado en el garaje y el pabellón de invitados, con dimensiones de 7,1x3,55x4m, se fabricarán 4 módulos por vivienda.
- Tipo B: Corresponde al módulo del pasillo, con dimensiones de 3,46x2,88x4m, se fabricará uno por vivienda.
- Tipo C: Utilizado en los módulos de la cocina y el comedor, con dimensiones de 7,1x5x4m, se fabricarán dos por vivienda.
- Tipo D: Corresponde al módulo dormitorio, con dimensiones de 7,1x5x4m, ligeramente diferente al de tipo C ya que incluye la zona húmeda del baño.

Las uniones entre los distintos módulos están pensadas en ubicaciones estratégicas con la finalidad de que se vean lo mínimo posible. Además, en fábrica se dejará una franja alrededor de las juntas para que estas se rematen in situ y de esta forma hacer las juntas prácticamente invisibles. En la siguiente imagen, mediante el uso de líneas de puntos naranjas, se puede observar los puntos donde se unirán los distintos módulos proyectados.

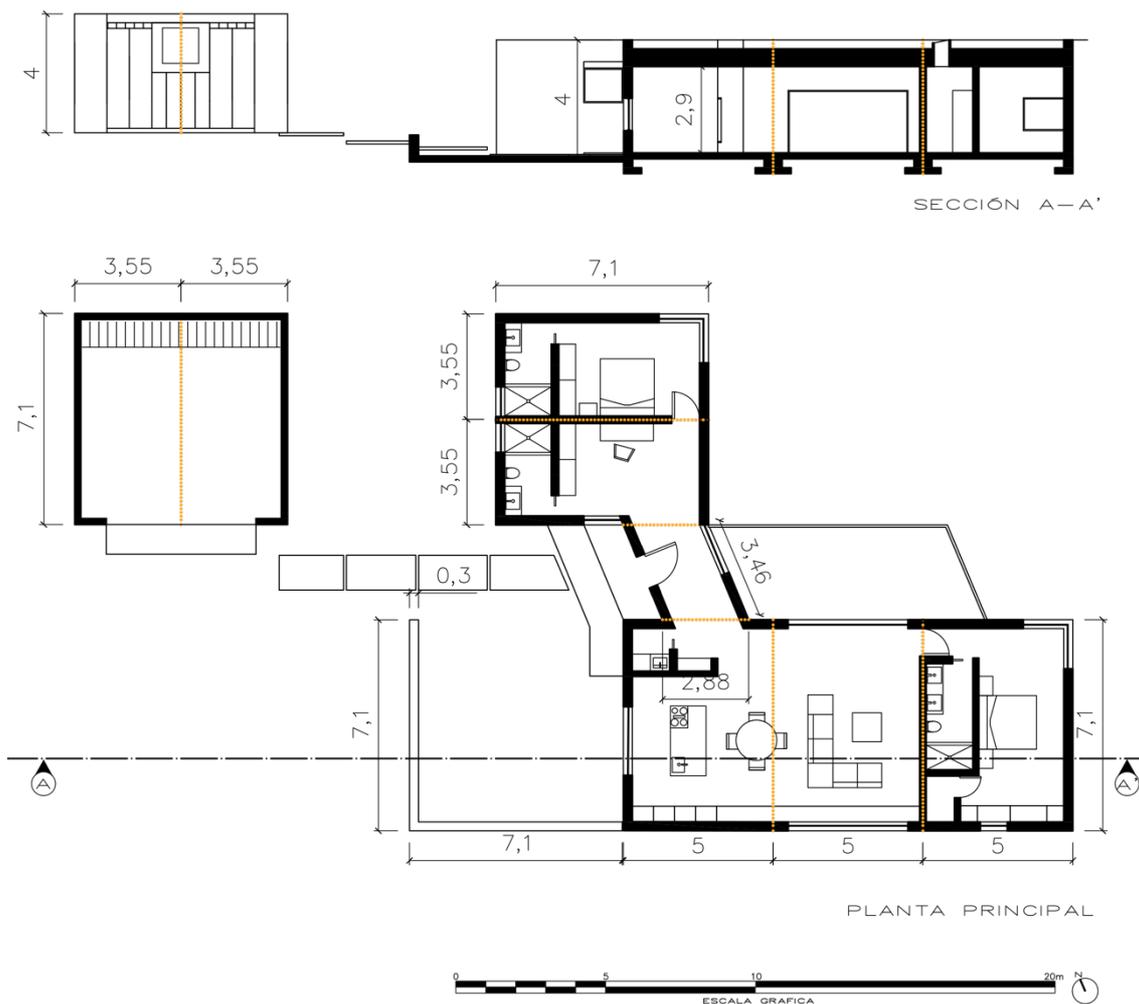


Ilustración 94 Planta principal y sección modificadas para facilitar la modulación de la vivienda

### 8.3.3. Transporte

Previo al transporte será de primordial importancia asegurarse de que los componentes estén adecuadamente protegidos y asegurados al vehículo de transporte para evitar daños durante el transporte, especialmente teniendo en cuenta factores como la aceleración, la desaceleración, la vibración y las condiciones climáticas. Es por ello por lo que se implementarán una serie de estructuras auxiliares que posteriormente se

reutilizarán en otras viviendas con el fin de reforzar algunos puntos críticos y asegurar el correcto transporte e izado de los módulos.

Las dimensiones proyectadas para las distintas tipologías de los módulos, tanto en planta como en altura, se adaptan a las regulaciones de circulación establecidas por el BOE num. 22, de 66/01/199.

Para el transporte de los módulos, es esencial obtener una autorización excepcional para transportes especiales debido a sus dimensiones y peso. La autorización permite el uso de vehículos con un ancho máximo de 3 metros, una altura máxima de 5 metros y una longitud máxima de 24.5 metros, con un peso máximo de carga de 100 toneladas.



*Ilustración 95 Ejemplo de unidad de transporte especial por carretera*

Durante el transporte de estos módulos, se deben seguir protocolos específicos para garantizar la seguridad en las carreteras. Estos protocolos incluyen:

1. Indicar presencia y velocidad reducida: El vehículo debe utilizar las luces de emergencia (los cuatro intermitentes a la vez), la señal de vehículo lento V-5 y la señal de limitación de velocidad V-4 para indicar su presencia y velocidad reducida.
2. Señales luminosas: El vehículo debe estar equipado con una luz rotativa automática de color amarillo (señal luminosa V-2) para indicar su posición. Esta luz debe ser visible desde al menos 100 metros de distancia.
3. Velocidad máxima: Debido al tamaño de los módulos, la velocidad máxima permitida en la mayoría de las vías será de 60 km/h.



4. Vehículo de acompañamiento: Deberá haber al menos un vehículo de acompañamiento que vaya delante o detrás del transporte especial a una distancia mínima de 50 metros. Este vehículo debe llevar una señal V-21 que indica que es un vehículo de acompañamiento de un transporte especial.

5. Normas especiales: Además de las regulaciones de tráfico estándar, los transportes especiales deben cumplir normas especiales debido a su condición excepcional. Algunas de estas normas incluyen:

- Suspensión en condiciones meteorológicas adversas con visibilidad inferior a 150 metros.
- Acompañamiento por agentes de autoridad en vehículos con un ancho igual o superior a 5 metros.
- Realización del transporte durante las horas de luz, evitando el transporte entre la puesta y salida del sol.

Estos protocolos y regulaciones son esenciales para garantizar la seguridad en el transporte de módulos de gran tamaño como los diseñados para esta vivienda.



## 9. Conclusiones

Después de analizar los diferentes tipos de construcción prefabricada disponibles en la actualidad, queda clara la existencia de una amplia variedad de opciones de gran calidad. Gracias a los avances tecnológicos y a la industria de la construcción, la arquitectura modular ha avanzado significativamente, permitiendo una mayor libertad y rapidez en diseño y montaje.

En la utilización de estos sistemas, uno de los desafíos históricos para los arquitectos era la limitada disponibilidad de empresas especializadas y la inflexibilidad en el diseño. Sin embargo, como se ha demostrado en este trabajo, éste ya no es un problema real en la actualidad gracias a las nuevas maquinarias y sistemas de módulos más adaptables a las necesidades.

Los principales sistemas de construcción prefabricada realmente son muy semejantes a los sistemas empleados en la construcción tradicional, siendo la principal diferencia el hecho de que estos se ejecutan en un entorno controlado. Esto permite que exista una supervisión de los procesos más rigurosa y que la construcción prefabricada sea más precisa y de mayor calidad. No obstante, aún existe una fuerte creencia de que las viviendas prefabricadas tienen un grado de menor calidad en comparación con las construcciones tradicionales in situ.

Asimismo, la construcción modular tiende a ser más rápida en su ejecución, lo que reduce significativamente el tiempo en obra y minimiza los retrasos causados por las condiciones climáticas.

Además, el uso de sistemas industrializados contribuye a la reducción de la huella de carbono en la construcción y mejora las condiciones de trabajo de los empleados.

La elección de un sistema de construcción prefabricada o modular específico depende de las necesidades del usuario y de las condiciones locales. Por ejemplo, en países con una industria maderera desarrollada, es común utilizar sistemas como el Platform Frame, mientras que en España predominan los sistemas de construcción integrada, con numerosas empresas especializadas.

Si tuviese que realizar una previsión a futuro de cómo evolucionará el sector, pienso que este debe evolucionar hacia una vivienda más accesible para todos, reduciendo costes y simplificando procesos, sin que la calidad de las viviendas se vea mermada. Una posibilidad de reducción de costes sería, la reducción de las medidas de los módulos, esto permitiría el transporte sin la necesidad de emplear maquinaria de transporte especial abaratando los costes de transporte. Esta es tan solo una medida que se podría aplicar en un futuro con la finalidad de permitir el acceso a estas viviendas a un mayor número de personas.



## 10. Bibliografía

Admin. (2023). Casa Esherick. *Urbipedia*. [Consulta: 03-09-2023].  
[https://www.urbipedia.org/hoja/Casa\\_Esherick](https://www.urbipedia.org/hoja/Casa_Esherick)

Admin. (2023b). Casa Stahl. *Urbipedia*. [Consulta: 03-09-2023].  
[https://www.urbipedia.org/hoja/Casa\\_Stahl](https://www.urbipedia.org/hoja/Casa_Stahl)

Admin\_gruasyugero. (2020). Normativa del transporte especial por carretera. *Grúas Yugero*. [Consulta: 3-09-2023]. <https://www.gruasyugero.com/normativa-del-transporte-especial-por-carretera/#:~:text=para%20transportes%20especiales%3A-Autorizaci%C3%B3n%20gen%C3%A9rica%20para%20transportes%20especiales,peso%20superior%20a%2045%20toneladas>.

ARIEFF, A. y BURKHART, B. Prefab: Gibbs M. Smith Inc, 2002. [Consulta: 26-06-2023].

Arroyoraul. (2011, 31 octubre). Adolf Meyer – PROYECTOS 7 / PROYECTOS 8. PROYECTOS 7 / PROYECTOS 8. [Consulta: 26-07-2023].  
<https://proyectos4etsa.wordpress.com/tag/adolf-meyer/>

butech PORCELANOSA Grupo. (2021a). *PORCELANOSA offsite Mono Pods*. [Consulta: 01-09-2023]. [https://www.porcelanosa.com/landing/offsite/rcs/GARDENPODS\\_ES.pdf](https://www.porcelanosa.com/landing/offsite/rcs/GARDENPODS_ES.pdf)

butech PORCELANOSA Grupo. (2021). *PORCELANOSA offsite Monobath*. [Consulta: 01-09-2023]. [https://www.porcelanosa.com/landing/offsite/rcs/MONOBATH\\_ES.pdf](https://www.porcelanosa.com/landing/offsite/rcs/MONOBATH_ES.pdf)

butech PORCELANOSA Grupo. (2021). *Sistemas modulares PORCELANOSA offsite*. [Consulta: 01-09-2023].  
[https://www.porcelanosa.com/landing/offsite/rcs/PORCELANOSA\\_Offsite-ES.pdf](https://www.porcelanosa.com/landing/offsite/rcs/PORCELANOSA_Offsite-ES.pdf)

Caloryfrio, P. S. (2021). Construcción prefabricada ▷ Más rápida, sostenible y eficiente. caloryfrio.com. [Consulta: 10-08-2023]. <https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/construccion-prefabricada-mas-rapida-sostenible-y-eficiente.html#soluciones-integrales>

Casas prefabricadas: qué son, historia y evolución – Moove Magazine. (s. f.). [Consulta: 26-06-2023] <https://moovemag.com/2021/03/casas-prefabricadas-que-son-historia-y-evolucion/>



CompactHabit. (2022, 30 noviembre). *Características: Mejora la calidad y el tiempo de ejecución - Compact Habit*. Compact Habit. [Consulta: 10-07-2023] <https://www.compacthabit.com/es/soluciones-modulares/caracteristicas/>

Container City 1 — CONTAINER CITY™. (s. f.). CONTAINER CITY™. [Consulta: 10-07-2023] <http://www.containercity.com/container-city-1>

EMIC GEM. (2020). *Greener, Smarter, More Efficient: COMPETENCY FRAMEWORK FOR OFFSITE AND MODULAR CONSTRUCTION*. [Consulta: 30-08-2023] <https://emic-gem.eu/docs/Competency%20Framework%20for%20Construction%20and%20Offsite%20Construction%20-%20Final.pdf>

Esherick House Dwg Drawings. (s. f.). [Consulta: 03-09-2023]. [https://www.archweb.it/dwg/arch\\_arredi\\_famosi/L\\_Kahn/Esherick\\_House/Esherick\\_House\\_drawings.htm](https://www.archweb.it/dwg/arch_arredi_famosi/L_Kahn/Esherick_House/Esherick_House_drawings.htm)

García, Á. S. (2023). Construcción industrializada: un repaso a la historia. Reto KÖMMERLING. [Consulta: 30-08-2023]. <https://retokommerling.com/construccion-industrializada-historia/>

García, Á. S. (2023). Construcción 4.0: Construye lo que viene. Reto KÖMMERLING. [Consulta: 30-08-2023] <https://retokommerling.com/construccion-4-construye-lo-que-viene/>

Gardinetti, M. (2023). REM Koolhaas Villa Dall’Ava. *Tecne | arquitectura y contextos*. [Consulta: 03-09-2023]. <https://tecne.com/arquitectura/koolhaas-villa-dallava/>

Instituto Construcción Bizkaia. (2022, 5 de octubre). Construcción Industrializada en España Neoblock [Video]. YouTube. [Consulta: 28-08-2023]. <https://youtu.be/qHw7PSLlga0?si=VmR7U3JkAT5mlew>

Journal, O. H. (2021, 1 julio). Kit Houses from Sears, Roebuck. Old House Journal Magazine. [Consulta: 10-07-2023] . <https://www.oldhouseonline.com/house-tours/kit-houses/>

KUB's by kits. (2022). *Memoria de calidades*. [Consulta: 10-07-2023]. [https://kubshouse.com/wp-content/uploads/2023/02/KUBS\\_Memoria-de-calidades\\_ES.pdf](https://kubshouse.com/wp-content/uploads/2023/02/KUBS_Memoria-de-calidades_ES.pdf)

*La roca como poderosa identidad constructiva. Casa Enso II por HW-Studio | sobre arquitectura y más | desde 1998*. (s. f.). [Consulta: 03-09-2023].



<https://www.metalocus.es/es/noticias/la-roca-como-poderosa-identidad-constructiva-casa-enso-ii-por-hw-studio>

Loras Marca, A. (2021). Análisis constructivo de la arquitectura modular actual destinada a viviendas unifamiliares (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

Martínez, M. (2022, 19 abril). Historia de la arquitectura industrializada | ABC modular. ABC Modular. [Consulta: 01-07-2023].  
<https://abcmodular.com/aplicaciones/arquitectura-industrializada-historia>

*Módulos habitables de hormigón armado.* (s. f.). [Consulta: 10-07-2023]  
<https://tectonica.archi/materials/modulos-habitables-de-hormigon-armado/>

Novas Cabrera, J.A. (2010). Sistemas constructivos prefabricados aplicables a la construcción de edificaciones en países en desarrollo. [TFM]. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. [Consulta: 10-07-2023] Disponible en: <https://oa.upm.es/4514/>

Ocampo, J. S. (2013). Antecedentes de la vivienda industrializada como propuesta ecológica. HITO: Revista de Arquitectura, (27), 28-41.

*Procesos de construcción - MödHouse Madrid.* (s. f.). [Consulta: 10-07-2023]  
<https://modhouse.es/procesos-de-construccion>

Sanchez, P. S. (2015). La casa industrializada: seis propuestas para este milenio. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. [Consulta: 20-08-2023] Disponible en: <https://oa.upm.es/40341/>

*Sobre MödHouse - Madrid.* (s. f.). [Consulta: 10-07-2023] <https://modhouse.es/sobre-modhouse>

Vaquero, M. (2018). ¿Qué es una cubierta deck? *Blog paneles ACH.* [Consulta: 03-09-2023]. <https://panelesach.com/blog/que-es-una-cubierta-deck/>

*Villa Dall'Ava - Ficha, fotos y planos - WikiArquitectura.* (2020, 31 octubre). WikiArquitectura. [Consulta: 03-09-2023]. <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/villa-dallava/>

*Villa Dall'Ava por Rem Koolhaas | sobre arquitectura y más | desde 1998.* (s. f.). [Consulta: 03-09-2023]. <https://www.metalocus.es/es/noticias/villa-dallava-por-rem-koolhaas>



*Viviendas modulares prefabricadas.* (s. f.). Tectonica.archi. Recuperado 6 de septiembre de 2023, [Consulta: 03-08-2023]. <https://tectonica.archi/articulos/viviendas-modulares-prefabricadas/>

Wadel Raina, G. F. (2009). La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: la construcción modular ligera aplicada a la vivienda. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña. ISBN 9788469305485. [Consulta: 03-08-2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/93448>

Work, M. A. (s. f.). *HŠH Architekti*. [Consulta: 03-08-2023]. <https://www.hsharchitekti.cz/index.php?lang=cs&page=project&name=vila-v-beroune>



## 11. Tabla de ilustraciones

<i>Ilustración 1 Objetivos de desarrollo sostenible relacionados con la arquitectura prefabricada.</i> .....	8
<i>Ilustración 2 Axonometría constructiva del sistema Balloon Frame (The American Institute of Architects) e Iglesia de Santa María de Chicago (Chicago Historical Society), considerado el primer ejemplo de edificación utilizando la técnica de Balloon Frame.</i> .....	11
<i>Ilustración 3 Los bestsellers perennes eran versiones suburbanizadas de la casa colonial del centro-pasillo, repletas con buhardillas de ancho completo y nombres americanos, como el Martha Washington (mostrado aquí). (Foto: James C. Massey)</i> .....	11
<i>Ilustración 4 Proyecto American System-Built Houses para The Richards Company, 1915 – 1917.</i> .....	12
<i>Ilustración 5 Crystal Palace, 1851, de Joseph Paxton.</i> .....	13
<i>Ilustración 6 Maison Domino</i> .....	14
<i>Ilustración 7 Sistema Le Brevet 2,26x2,26x2,26. Costa azul (Francia). Esquema del sistema, constitución de un volumen habitable alveolar, empleando un solo tipo de angular.</i> .....	15
<i>Ilustración 8 Dymaxion House</i> .....	15
<i>Ilustración 9 "El sistema GENERAL PANEL se traba como un rompecabezas chino." A partir de (Architectural Forum, febrero de 1947):</i> 116.....	16
<i>Ilustración 10 Casa Tropical de Jean Prouvé</i> .....	18
<i>Ilustración 11 Case Study House nº8 de 1950, diseñada por los esposos Ray y Charles Eames</i> .....	19
<i>Ilustración 12 Case Study nº18 diseñada por Craig Ellwood</i> .....	19
<i>Ilustración 13 Conjunto de viviendas Habitat '67, del arquitecto Moshe Safdie</i> .....	21
<i>Ilustración 14 Torre Nagakin, del arquitecto Kishio Kurokawa</i> .....	22
<i>Ilustración 15 Proyecto ganador del concurso para la Universidad libre de Berlín, proyectado por el equipo Candilis, Josic &amp; Woods</i> .....	22
<i>Ilustración 16 Axonometría constructiva del sistema Balloon Frame</i> .....	27
<i>Ilustración 17 Vivienda unifamiliar ejecutada con el sistema Platform Frame</i> .....	28
<i>Ilustración 18 Diferencias entre el Balloon Frame y el Platform Frame</i> .....	28
<i>Ilustración 19 Vivienda unifamiliar ejecutada con el sistema Steel Frame</i> .....	30
<i>Ilustración 20 Esquema de las distintas capas utilizadas en el sistema Steel Frame</i> .....	31
<i>Ilustración 21 Estructura prefabricada de madera</i> .....	32
<i>Ilustración 22 Estructura prefabricada de acero</i> .....	32
<i>Ilustración 23 Estructura prefabricada de hormigón</i> .....	32
<i>Ilustración 24 Encuentros de vigas con columnas de acero y de vigas con vigas de acero</i> .....	33
<i>Ilustración 25 Encuentros de elementos de madera</i> .....	33
<i>Ilustración 26 Encuentro de vigas con un pilar de hormigón prefabricado</i> .....	34



<i>Ilustración 27 Montaje de paneles de la Casa de Cobre, Casas que crecen, en Berlín (Gropius, 1931).</i>	35
<i>Ilustración 28 Vivienda ejecutada mediante paneles SIP.....</i>	36
<i>Ilustración 29 Ejemplo de unión de los paneles SIP. ....</i>	36
<i>Ilustración 30 Ejemplo de panel de madera para forjado alveolar. ....</i>	37
<i>Ilustración 31 Vivienda unifamiliar a partir de paneles de madera contralaminada. ....</i>	38
<i>Ilustración 32 Vivienda unifamiliar ejecutada con paneles de hormigón prefabricado.....</i>	39
<i>Ilustración 33 Detalles uniones de paneles de hormigón prefabricado.....</i>	40
<i>Ilustración 34 Placa alveolar de hormigón prefabricado. ....</i>	41
<i>Ilustración 35 Panel Sándwich con acabado de madera y aislante de poliestireno extruido.....</i>	41
<i>Ilustración 36 Panel Sándwich con acabado en acero lacado y aislante de poliuretano. ....</i>	41
<i>Ilustración 37 Panel Sándwich ecológico con acabado de cartón-yeso.....</i>	41
<i>Ilustración 38 Junta impermeable cerrada y junta impermeable abierta (Rodríguez, 1996).....</i>	42
<i>Ilustración 39 Esquema del funcionamiento de un sistema modular. ....</i>	43
<i>Ilustración 40 Propuestas de colocación de containers ISO marítimos. ....</i>	44
<i>Ilustración 41 Container City diseñado por la firma inglesa Urban Space Management .....</i>	45
<i>Ilustración 42 Estructura interna correspondiente al sistema eMii-CS de la empresa Compact Habit. 46</i>	46
<i>Ilustración 43 transporte de un módulo habitacional de la empresa InHaus. ....</i>	47
<i>Ilustración 44 Viviendas Fred y Su-si del estudio Kaufmann 96 Architektur. ....</i>	47
<i>Ilustración 45 Casa VIPP (2014) Bo Jensen, VIPP.....</i>	62
<i>Ilustración 46 Vista en planta de la Casa VIPP.....</i>	62
<i>Ilustración 47 Active House B10, de Werner Sobek. ....</i>	63
<i>Ilustración 48 Colocación de la House B10 en el solar y vista del patio de la casa. ....</i>	64
<i>Ilustración 49 Modulo estructural de hormigón eMii-C de Compact Habit. ....</i>	65
<i>Ilustración 50 Unión de dos módulos estructurales de hormigón eMii-C de Compact Habit. ....</i>	66
<i>Ilustración 51 Viviendas Tapionsolu de Heikki y Kaija Siren.....</i>	67
<i>Ilustración 52 Sistema Modular-T de la empresa Bauart homes. ....</i>	68
<i>Ilustración 53 Implantación en obra de un módulo de la empresa Modulab. ....</i>	68
<i>Ilustración 54 Ficha técnica de un módulo de la empresa Modulab. ....</i>	69
<i>Ilustración 55 Losa empleada para la cimentación de Typenhaus de e2a. ....</i>	70
<i>Ilustración 56 Estructura de la Typenhaus de e2a. ....</i>	70
<i>Ilustración 57 Typenhaus de e2a.....</i>	71
<i>Ilustración 58 Sistema modular de acero eMii-CS de Compact Habit. ....</i>	72
<i>Ilustración 59 Vista explotada Villa V.....</i>	73
<i>Ilustración 60 Alzado de la Villa V de HŠH architekti. ....</i>	73
<i>Ilustración 61 Interior de la Villa V de HŠH architekti. ....</i>	74
Estudio de los sistemas de construcción prefabricada.	110



<i>Ilustración 62 Estructura utilizada en las viviendas de la empresa KUB'S BY KIT'S.....</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 63 Vista inferior de la estructura utilizada en las viviendas de la empresa KUB'S BY KIT'S. 75</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 64 Colocación de un módulo sobre cimentación.....</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 65 Implantación de una vivienda modular de la empresa InHAUS en el solar.....</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 66 Colocación de un módulo sobre cimentación por InHAUS.....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 67 Vista del sistema EMOHA en fabrica.....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 68 Colocación de los paneles sándwich en obra.....</i>	<i>78</i>
<i>Ilustración 69 Proceso de montaje.....</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 70 Modulo tipo Monobath.....</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 71 Cotas relevantes para la instalación de los módulos.....</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 72 Izado del módulo.....</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 73 Módulo tipo Garden Pods.....</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 74 Líneas de montaje en serie.....</i>	<i>82</i>
<i>Ilustración 75 Líneas de ensamblaje entre módulos planificadas para que no queden vistas.....</i>	<i>82</i>
<i>Ilustración 76 Estructura metálica empleada en los módulos.....</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 77 Modulo siendo fabricado en serie.....</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 78 Fachada principal de la Casa Esherick.....</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 79 Diagrama de distribución.....</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 80 Fachada trasera con grandes ventanales.....</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 81 Vista de la zona de la piscina de la Casa Stahl.....</i>	<i>87</i>
<i>Ilustración 82 Alzado de la casa Farnsworth donde se puede observar la desmaterialización de los límites visuales.....</i>	<i>88</i>
<i>Ilustración 83 Diagrama de zonas.....</i>	<i>89</i>
<i>Ilustración 84 Vista explotada.....</i>	<i>91</i>
<i>Ilustración 85 Isometría de la Villa dall'Ava.....</i>	<i>92</i>
<i>Ilustración 86 Imagen de la Casa Enzo.....</i>	<i>93</i>
<i>Ilustración 87 Planta de la Casa Enzo.....</i>	<i>94</i>
<i>Ilustración 88 Masterplan de la Casa Paseo Encantado en Tesuque.....</i>	<i>95</i>
<i>Ilustración 89 Diagrama explicativo.....</i>	<i>96</i>
<i>Ilustración 90 Isometría casa Paseo Encantado de Tesuque.....</i>	<i>97</i>
<i>Ilustración 91 Sistema eMii-cs de Compact Habit.....</i>	<i>98</i>
<i>Ilustración 92 Detalle constructivo del sistema de cubierta DECK.....</i>	<i>98</i>
<i>Ilustración 93 Planta principal y sección acotadas según proyecto inicial.....</i>	<i>100</i>
<i>Ilustración 94 Planta principal y sección modificadas para facilitar la modulación de la vivienda.....</i>	<i>101</i>
<i>Ilustración 95 Ejemplo de unidad de transporte especial por carretera.....</i>	<i>102</i>
<i>Estudio de los sistemas de construcción prefabricada.....</i>	<i>111</i>



## 12. Índice de tablas

<i>Tabla 1 Comparativa entre los distintos sistemas prefabricados. ....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 2 Lista de las tecnologías de fabricación y producción automatizada .....</i>	<i>53</i>