



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA

ANÁLISIS CONSTRUCTIVO DE LA ARQUITECTURA MODULAR ACTUAL DESTINADA A VIVIENDAS UNIFAMILIARES

AUTORA ALBA LORAS MARCA
TUTOR FRANCISCO JOSÉ CUBEL ARJONA
ESCUELA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA
TITULACIÓN GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA
CURSO 2019-2020



INDICE

1. RESUMEN	2
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.....	3
3. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	4
4. INTRODUCCIÓN	6
5. RESEÑA HISTÓRICA	7
6. CLASIFICACIÓN	10
7. TIPOS ACTUALES	11
7.1. ENTRAMADOS	11
7.1.1. BALLOON FRAME.....	12
7.1.2. PLATFORM FRAME	15
7.1.3. STEEL FRAME.....	20
7.2. SISTEMA VIGA-PILAR	23
7.2.1. VIGA-PILAR DE ACERO	24
7.2.2. VIGA-PILAR DE MADERA.....	25
7.2.3. VIGA-PILAR DE HORMIGÓN.....	26
7.3. PANELES	27
7.3.1. STRUCTURAL INSULATED PANELS.....	28
7.3.2. MADERA	31
7.3.3. PANELES CONTRALAMINADOS	33
7.3.4. PREFABRICADOS DE HORMIGÓN	35
7.3.5. SÁNDWICH	39
7.4. COMPONENTES 3D	42
7.5. CONSTRUCCIÓN INTEGRADA.....	44
8. COMPARATIVA	48
9. CONCLUSIONES	49
10. BIBLIOGRAFÍA.....	50
11. ÍNDICE DE IMÁGENES.....	54

1. RESUMEN

El trabajo consiste en el estudio de la arquitectura modular, prefabricada, destinada a las viviendas unifamiliares. El trabajo tendrá una breve reseña histórica de este tipo de construcciones hasta llegar a analizar el estado actual de la arquitectura prefabricada en este ámbito. El análisis se realizará estudiando los distintos sistemas constructivos empleados, por ejemplo, módulos tridimensionales o entramados ligeros prefabricados. El estudio del sistema constructivo se materializa mediante el dibujo de los detalles constructivos con identificación de todos los componentes.

PALABRAS CLAVE: arquitectura modular, prefabricación, industrialización, detalle constructivo, construcción

RESUM

El treball consisteix en l'estudi de l'arquitectura modular, prefabricada, destinada a les vivendes unifamiliars. El treball tindrà una breu ressenya històrica d'aquest tipus de construccions fins arribar a analitzar l'estat actual de l'arquitectura en aquest àmbit. L'anàlisi es realitzarà estudiant els diferents sistemes constructius empleats, per exemple, mòduls tridimensionals o entramats lleugers prefabricats. L'estudi del sistema constructiu es materialitza mitjançant el dibuix dels detalls constructius amb identificació de tots els components.

PARAULES CLAU: arquitectura modular, prefabricació, industrialització, detall constructiu, construcció

ABSTRACT

The work consists in the study of modular architecture, prefabricated, for single-family homes. The work will have a brief historical review of this type of constructions until analyzing the current state of prefabricated architecture in this area. The analysis will be carried out by studying the different construction systems used, for example three-dimensional modules or prefabricated light frames. The study of the construction system is materialized by drawing the construction details with identification of all components.

KEY WORDS: modular architecture, prefabrication, industrialization, construction detail, construction

.... 2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

La arquitectura actual avanza a pasos agigantados, buscando ser cada vez, más ecológica, efectiva y económica. Una de las formas con las que conseguir esto es mediante la arquitectura modular/prefabricada.

A través de este trabajo se va a hacer un análisis y comparativa de los distintos sistemas de construcción modular que se usan actualmente en la arquitectura unifamiliar. Para ello, se redibujarán y estudiarán desde los tipos generados con elementos de tamaño reducido hasta, finalmente, los sistemas que generan la vivienda mediante grandes módulos.

El objetivo principal de este trabajo es analizar y entender el estado actual de la construcción prefabricada en viviendas, partiendo de un previo estudio de la evolución histórica y, por último, hacer una comparativa entre los distintos sistemas que encontramos en la arquitectura actual.

Para realizar este análisis, se ha empezado buscando bibliografía en libros y revistas especializadas, obteniendo una idea general de cómo funcionan los materiales en este tipo de construcción. Dado que este tipo de productos para la construcción modular evoluciona mucho con el tiempo, también se han comparado y tenido en cuenta las distintas casas comerciales actuales.

En la elaboración de los detalles constructivos, se han comparado distintas empresas y se han analizado los diferentes sistemas que existen actualmente en el mercado. Lo importante a observar en estos sistemas son sus soluciones y conexiones, así como no tanto en las varias formas de distribución y/o forma. Se trata, por tanto, de dibujos generales para comprender el tipo, variando sus disposiciones finales según la casa comercial y el cliente.

Finalmente, se han comparado los distintos sistemas usados en la actualidad, mostrando las diferencias y semejanzas que se tienen entre ellos. Además, se han analizado las ventajas y desventajas de los distintos tipos de edificación modular en el caso concreto de viviendas unifamiliares.

.... 3. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son una serie de metas propuestas por las Naciones Unidas que buscan dar continuidad a los Objetivos del Desarrollo del Milenio. Se trata de 17 objetivos de distinta índole con 169 metas.

El TFG está centrado en la arquitectura prefabricada en vivienda unifamiliar por lo que para su desarrollo se han tenido en cuenta estos ODS con el fin de adaptarse a ellos y tenerlos presentes. A continuación, se van a exponer qué objetivos y metas intervienen en el tema del trabajo.

En este TFG se busca investigar e informar sobre un tipo distinto de construir que pretende industrializar el proceso de edificación de las viviendas. Con ello se abarataría el coste de producción de las viviendas, permitiendo el acceso a estas por parte de sectores más desfavorecidos económicamente, ayudando al *Objetivo 1, el fin de la pobreza*.

Debido a que la producción de la vivienda se realiza mayoritariamente en fábrica, esto permite un mayor control en la ejecución y en los materiales, reduciendo los accidentes y pudiendo vigilar el uso de elementos tóxicos.

Por otro lado, se generarían puestos de trabajo especializados que, además, serían menos peligrosos para la salud del empleado. Se reducirían las amplias jornadas en las que los trabajadores están sometidos a situaciones climáticas extremas ya que la mayor parte del proceso se produce en recintos cerrados, protegidos de estas. Es por ello que se tienen también en cuenta tanto el *Objetivo 3 de Salud y Bienestar* como el *8, sobre el Trabajo Decente y el Crecimiento Económico*.

La idea de prefabricación se basa en una industrialización del proceso, por lo que se generarían nuevas industrias con nuevos empleos. Esto no tiene por qué dejar de lado a los trabajadores artesanales puesto que, a pesar de que la idea de prefabricación nos puede llevar a pensar que todo va a ser mecanizado y llevado a cabo por máquinas, gran parte del proceso se debe realizar a mano. Por otro lado, aunque es un sistema que ha sido utilizado históricamente, se sigue innovando buscando nuevas formas de producción que permitan reducir costes, tiempos y residuos (*Objetivo 9, Industria, innovación e infraestructuras*).

Teniendo en mente el *Objetivo 11 sobre Ciudades y Comunidades Sostenibles*, mediante este sistema de generación de vivienda, se agiliza mucho el proceso. Esto puede ser de gran ayuda en casos de vivienda de necesidad inmediata, así como facilitar el acceso a vivienda y servicio básicos con mayor celeridad en caso de desastre. Además, es una manera de edificar que busca consumos energéticos bajos mediante el uso de envolventes muy aisladas, lo que permitiría una reducción del uso de energía para aclimatar los espacios.

Gran parte de la edificación se lleva a cabo en una industria, permitiendo reducir los residuos generados y concentrándolos facilitando así su reciclado. Además, depende del sistema de prefabricación que se utilice, se pueden usar materiales reciclados e incluso reutilizar parte de estos residuos con distintas aplicaciones dentro de la misma construcción u otra. Esto se ve facilitado ya que en un mismo recinto se estarán realizando parte de distintas edificaciones al mismo tiempo. Es por eso que el trabajo en cuestión tiene en cuenta el **Objetivo 12 de producción y consumo responsable**.

Teniendo en mente el cambio climático y el **Objetivo 13 sobre la Acción por el clima**, se deberían adaptar las nuevas construcciones a este hecho. Para ello, se deben poder adaptar las viviendas a cambios bruscos de temperatura, desastres naturales, etc. reduciendo los efectos de estos sobre la edificación. La vivienda prefabricada, en muchos casos, incorpora en su construcción materiales reciclados y sostenibles, por lo que aparte de no producir gran cantidad de residuos, estos pueden ser reciclados.

Teniendo en cuenta todos los objetivos anteriores, se puede observar como la arquitectura modular puede ser de gran ayuda para la mejora tanto de la economía local como una ayuda al planeta en cuanto a ecología nos referimos.



Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible integrados en este trabajo (Naciones Unidas, 2015)

4. INTRODUCCIÓN

Para empezar a analizar los distintos tipos de arquitectura prefabricada que existen, primero se debe conocer qué es exactamente la arquitectura modular, como ha evolucionado y cuál es su situación hoy en día.

La arquitectura modular está basada en la construcción a través de distintas divisiones del edificio en módulos o elementos tridimensionales, permitiendo una construcción en taller y su posterior traslado a la localización final, donde serán ensambladas. (KIERAN Y TIMBERLAKE, 2015)

Junto con “modular” en la arquitectura actual se usan otras muchas palabras para definir un concepto similar: prefabricada, en serie, construcción off-site, industrializada, etc. Todas hacen referencia a que este tipo de edificaciones tiene una primera fase en taller, que puede ser totalmente industrializada o artesanal, y, posteriormente, una fase en el lugar de emplazamiento final. (SAIZ, 2015)

Con la prefabricación se busca construir/fabricar la mayor parte de la vivienda en fábrica (instalaciones, canalizaciones...) simplificando así, el proceso de montaje en obra. Esto, además, mejora los controles de calidad a los que se puede someter dicha vivienda, pues las operaciones se realizan en un espacio más controlado. Se optimiza el proceso de construcción. Para considerarse prefabricado tiene que estar mayormente fabricado en el taller y su producción debe basarse en el montaje y ensamblaje de distintas partes o piezas. (KELLY, 1951)

Existen distintos niveles de prefabricación: desde elementos precortados, a paneles, construcción de módulos tridimensionales y, finalmente, vivienda móvil. (KELLY, 1951). En este trabajo se va a analizar desde los elementos lineales, siendo una arquitectura ligeramente prefabricada hasta los módulos íntegros, donde la vivienda es prácticamente prefabricada por completo en taller.

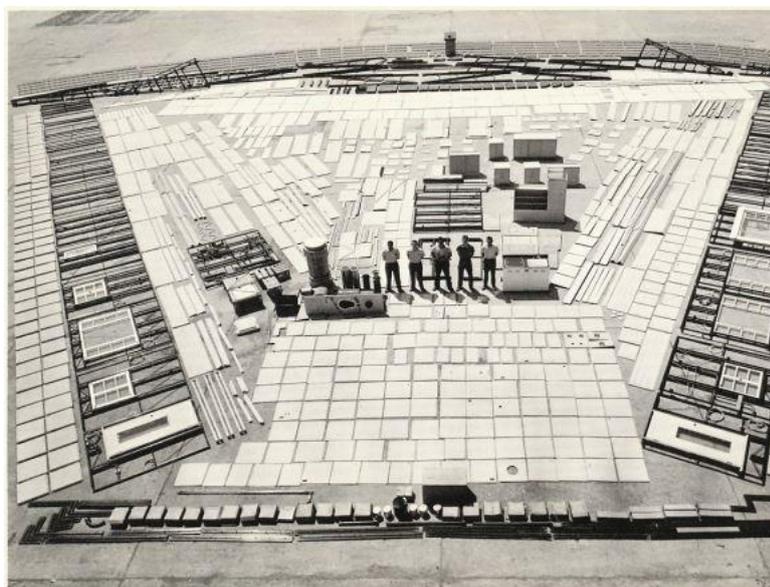


Figura 2. Piezas de Casas Lustron antes de ser ensambladas en obra en Ohio. (Newman, A. 1949)

.... 5. RESEÑA HISTÓRICA

La práctica de la construcción a través de módulos ha estado siempre presente en la arquitectura, aunque fuera en un grado menor. Por ejemplo, en las antiguas pirámides egipcias, los grandes bloques de piedra eran tallados de forma previa a la colocación. En otro momento de la historia, los humanos nómadas necesitaron trasladar su alojamiento para desplazarse. Es por eso que se fabricaron un tipo de construcciones que permitían ser montadas y desmontadas, formadas normalmente por distintos elementos de diversos materiales como la madera y las pieles. (LANTIGUA, 2014)

A lo largo de la historia, el humano ha buscado maneras más funcionales y rápidas de construir. En la revolución industrial, el material más usado era el ladrillo. El problema llegó cuando se buscó la levedad y surgió la idea de los rascacielos pues con esa materialidad no era posible realizar edificaciones de gran altura debido a la necesidad de un material de mayor resistencia estructural.

Cuando se empieza la búsqueda de un sistema de construcción más veloz y sencillo, uno de los primeros aspectos que se contempla es la ligereza, muy presente en el estilo moderno. Para ello, se opta por materiales como la madera, el acero e incluso el plástico. La necesidad de que los componentes de un edificio prefabricado tuvieran poco peso se daba por la crisis del transporte que existía en ese momento (SAIZ, 2015).

Fue en ese momento en que diversos arquitectos y productores vieron la oportunidad de generar una arquitectura que pudiera ser fácilmente fabricada en serie, ahorrando en costes de producción y tiempo de montaje en obra. Esto sucede en un momento en el que Estados Unidos está sufriendo un déficit de vivienda, por lo que se busca generar alojamientos de una manera relativamente rápida y económica.



Figura 3. Viviendas nómadas de pieles y cañas en el campamento Piegan. (Curtis. E. 1890)

La prefabricación se basa en cierta medida a la producción de coches que se hacía por entonces. Diversos arquitectos como Gropius o Le Corbusier miran al sistema de construcción de los automóviles para generar un sistema de edificación modular. (SAIZ, 2015).

Buckminster Fuller también comparaba la construcción de viviendas con la de los automóviles, recalando que un vehículo realizado tal y como se hacen las viviendas tradicionalmente, incrementaría los tiempos y los precios de la fabricación. Es por eso que, tanto para la realización de una vivienda como para un coche, recomienda la producción en serie. (BALDWIN, 1996).

Fue Buckminster Fuller quién, en la década de los 40, creó un prototipo de vivienda prefabricada llamado Dymaxion (Dinámica más eficacia máxima). Se trataba de una vivienda de poco peso para poder ser trasladada con facilidad, aerodinámica para poder hacer frente a los huracanes y sostenible, pues se diseñó de tal forma que conservaba el frío en verano y el calor en invierno. Todas sus piezas podían ser guardadas en un solo tubo cilíndrico, transportadas por un solo camión y montadas por una cuadrilla en tan solo un día. Aunque la idea y el concepto eran buenos, solo se llegaron a construir dos prototipos. (FRACALOSI, 2013)

La idea de repetición de un mismo tipo, es decir, su industrialización, es ir buscando el perfeccionamiento de un mismo modelo frente a la total originalidad de este. Es por eso que, de una misma idea, pueden surgir distintas soluciones a lo largo del tiempo. Por otra parte, la arquitectura prefabricada busca también la posibilidad de agregación y crecimiento. Es por eso que, en ocasiones, se generan tipologías y procedimientos capaces de “crecer” según las necesidades del usuario.



Figura 4. Casa Wichita, en Kansas. Uno de los prototipos de la Dymaxion de Buckminster Fuller. (1944)

Ejemplos habituales de la edificación modular son, por ejemplo, el Ballon Frame usado sobretodo en Estados Unidos o el Crystal Palace de Paxton. (ARQUINE, 2019)

Posteriormente, arquitectos como Gropius intentaron idear una nueva arquitectura basada en la industrialización influyendo de forma especial en la Bauhaus. (LANTIGUA, 2014).

Con el tiempo, la concepción que se tiene de arquitectura modular ha ido evolucionando. Esto, unido al gran desarrollo tecnológico de los últimos tiempos, ha permitido crear una gran variedad de sistemas de modulación, cambiando el concepto de arquitectura prefabricada por completo. Ahora la arquitectura modular ya no solo se usa en el caso de urgencias en cuanto a necesidad de vivienda se refiere, si no que se aplica para también para viviendas de altas prestaciones tanto por su estética, su economía y como punto fuerte, su rapidez de ejecución.

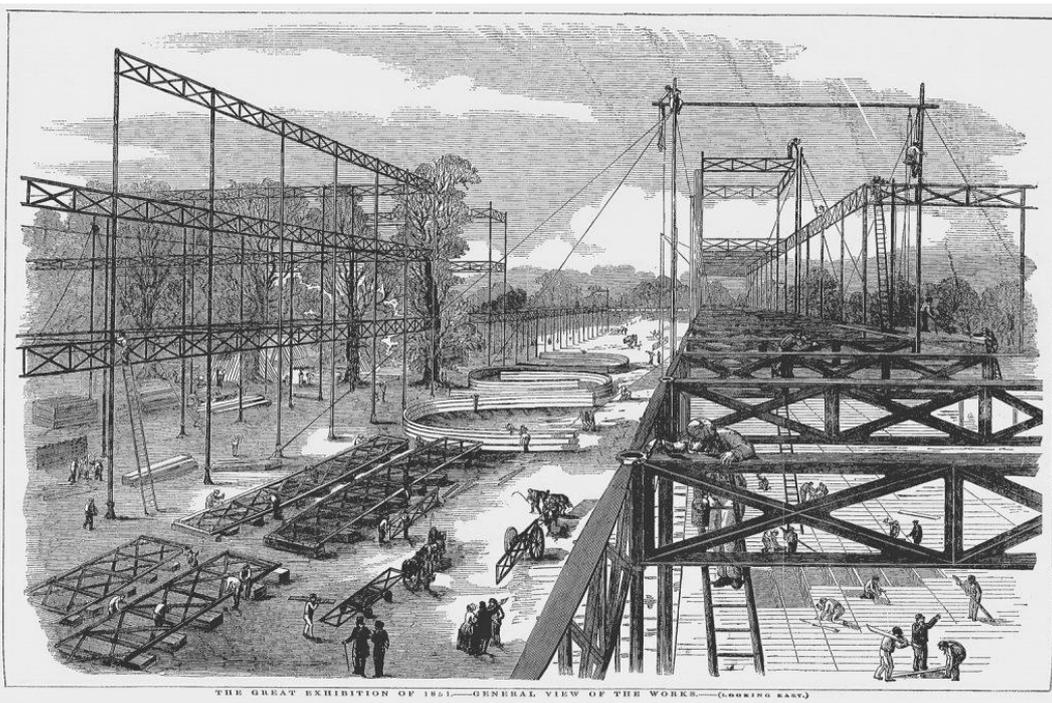


Figura 5. Vista general de la construcción del Crystal Palace de Paxton para The Great Exhibition de 1851. Estructura prefabricada de acero. (London Illustrated News, 1850)

6. CLASIFICACIÓN

Actualmente la característica diferenciadora entre los distintos sistemas reside, además de en sus materiales, en las dimensiones y formato del módulo. Esta diferencia en la división de las viviendas en distintos elementos con diferentes proporciones viene dada por la necesidad de transportar los módulos desde el taller hasta la obra. Es por eso que, según el elemento base en el que se decida descomponer una vivienda, encontramos distintos tipos de construcción prefabricada.

En ocasiones se busca que los componentes puedan ser manipulados por uno o dos operarios sin necesidad de medios auxiliares. En otros casos, para ahorrar mano de obra o reducir el tiempo de montaje en obra, se usan módulos mucho mayores, con pesos o volúmenes que obligan a la manipulación por parte de los operarios con medios auxiliares como grúas. Es por eso que, según las necesidades de cada obra, se usan unos sistemas u otros.

La vivienda se disgrega en diversos componentes o elementos funcionales tal y como se haría en la producción de un vehículo. Para diferenciar entre los distintos tipos nos vamos a centrar, sobretodo, en su proporción:

- *Componentes lineales*. Son aquellos en los que una de sus dimensiones predomina frente al resto. Dentro de los componentes lineales podemos encontrar los formados por entramados como son el Balloon Frame, el Platform Frame o el Steel Frame. Por otro lado, están los formados por un sistema de pilar-viga, pudiendo ser metálicos, de madera o de hormigón.
- *Componentes bidimensionales*. Pueden estar formados bien por elementos lineales unidos, elementos bidimensionales (superficiales) e incluso la unión entre los dos. Generalmente, se trata de paneles que pueden conformar el cerramiento y la estructura al mismo tiempo, aunque en ciertos casos, son paneles apoyados en una estructura horizontal. Encontramos paneles de distintos materiales y características: de hormigón, de madera, paneles sándwich, paneles contralaminados, los Structural Insulated Panels...
- *Componentes tridimensionales*. Son los llamados sistemas 3D de módulos completos que son posteriormente ensamblados en obra. Existen desde módulos habitacionales en tres dimensiones que deben ser ensamblados entre ellos hasta la llamada construcción integrada, donde la vivienda se genera por completo en el taller y se coloca en su emplazamiento final a falta solo de las conexiones.

.... 7. TIPOS ACTUALES

A lo largo de la historia han ido surgiendo distintos modos de prefabricación de las viviendas. Esto ha hecho que, en la actualidad, la vivienda modular no sea única y homogénea, existiendo distintos tipos con diversas características. Mediante la clasificación por dimensiones, vamos a distinguir los distintos sistemas, definiendo sus propiedades y los componentes que los generan.

... 7.1. ENTRAMADOS

Las también llamadas estructuras difusas, son aquellos sistemas en los que los componentes que forman la construcción son lineales. Es decir, la carga se transmite a través de elementos lineales que forman las superficies de los muros, tabiques y forjados, oponiéndose a la clásica estructura reticular de vigas y pilares. Estos entramados portantes son posteriormente rematados mediante distintos sistemas para sus cerramientos y cubiertas.

Existen diferentes sistemas dependiendo tanto del material como del modo de ejecución. Cabe destacar que según el lugar donde se pretenda ejecutar la obra, el uso de un sistema u otro va a depender en gran medida de la disponibilidad de materia prima en las cercanías. Esto significa puede ser que el uso del Balloon Frame no sea posible en localizaciones con escasez de bosques o el Steel Frame donde no exista industria metalúrgica.

Pasamos ahora a analizar los distintos tipos de entramados ligeros partiendo del más elemental y llegando a sus distintas variaciones y evoluciones.



Figura 6. Hombres trabajando en la vivienda con Balloon Frame en Nebraska (1877)

.. 7.1.1. BALLOON FRAME

El nombre, “Entramado Globo”, se le dio por la impresión que daba al público de que la estructura saldría volando debido al viento. (BERGDOLL, CHRISTENSEN, Y VON BORRIES, 2008). El Balloon Frame fue usado por primera vez en Chicago en el 1833 y aunque ha tenido ciertas variaciones, su construcción en general sigue siendo muy similar.

El sistema consiste en la unión de elementos lineales de madera unidos mediante clavos generando bastidores. Una vez el entramado está montado, se recubre con tableros de madera clavados a la estructura. Para los cerramientos, mayoritariamente se ejecutaban en el suelo y posteriormente se elevaban para su colocación. La idea era sustituir el método de viga-pilar por otro de listones finos que facilitarían su manejabilidad y montaje, así como reemplazar las juntas de carpintería por clavos, más fáciles de ejecutar. (ARQHYS, 2012)

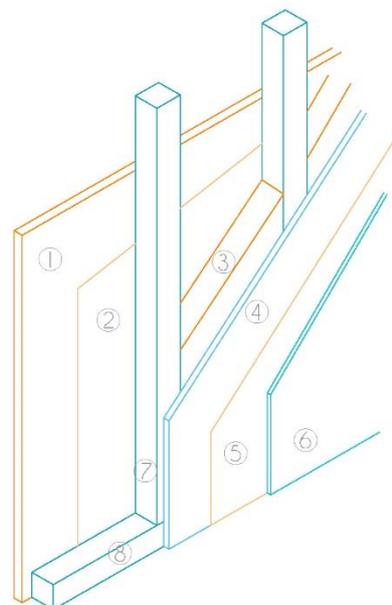
Resultó ser un modo de construcción resistente, de fácil ejecución, barato y seguro, por lo que se convirtió en un método muy popular en los Estados Unidos. El Balloon Frame permitió contratar a una mano de obra menos cualificada, pues en un principio el oficio de trabajar la madera era complicado y había escasez de carpinteros. Además, este nuevo sistema permitía construir los mismos metros cuadrados con un tercio de la madera usada en el sistema tradicional. (LANTIGUA, 2014)

Uno de los grandes defensores del Balloon Frame fue Richard Neutra, quien usó este método para varias de sus viviendas en Tejas, así como en el sur de California. (GIEDION, 2009).

La invención y uso de este nuevo sistema vino dada por la mejora de la maquinaria de las serrerías gracias a la sierra a vapor, y al aumento de la producción de clavos. Varias sierras de vapor unidas permitían generar elementos lineales de madera de diferentes tamaños de forma estandarizada, lo que facilitaba en gran manera su posterior puesta en obra a la vez que abarataba el coste de producción pues ya no tenían que ser producidas a demanda de forma artesanal. (SAIZ, 2015)

Figura 7. Capas del cerramiento en el sistema Balloon Frame (Dibujo original)

1. PLACA DE CARTÓN-YESO INTERIOR
2. BARRERA DE VAPOR
3. AISLAMIENTO DE LANA DE VIDRIO
4. PLACA DE ARRIOSTRAMIENTO. OSB
5. BARRERA DE VIENTO Y AGUA
6. RECUBRIMIENTO EXTERIOR



La industrialización de los clavos permitió una reducción considerable de su precio. Este abaratamiento cambió en gran medida las condiciones de las uniones entre las distintas piezas del sistema. Anteriormente, cada una de las uniones debía ser trabajada por una mano de obra cualificada, por un carpintero que la mecanizara y posteriormente las uniera. Con la abundancia de los clavos, este método de unión más elaborado fue sustituido por piezas clavadas entre ellas, mucho más sencillo de ejecutar. (ESCOBERO, 2012)

La cimentación más usada para este tipo de construcción, sobretudo en viviendas unifamiliares, suele ser una losa de hormigón armado sobre la que se apoya la edificación. En algunas construcciones más antiguas, el hormigón es sustituido por ladrillos o piedras. La cimentación en este caso tiene una doble función: la primera, la de resistir las cargas del edificio al suelo de una forma uniforme y la segunda, permite separar la estructura de madera del suelo, reduciendo los problemas de pudrición de la madera. (SAIZ, 2015)

Otro de los puntos a tener en cuenta con este sistema es el problema frente al fuego. Al no estar separadas las distintas plantas mediante el propio sistema, se debe recurrir a sistemas secundarios para generar los distintos sectores de incendios. (ESCOBERO, 2012)

A pesar de que este sistema se sigue usando en algunas partes de Estados Unidos, ha ido evolucionando hacia el Platform Frame y el Steel Frame que veremos más adelante debido a su mayor facilidad de montaje como de producción de los elementos que los componen.

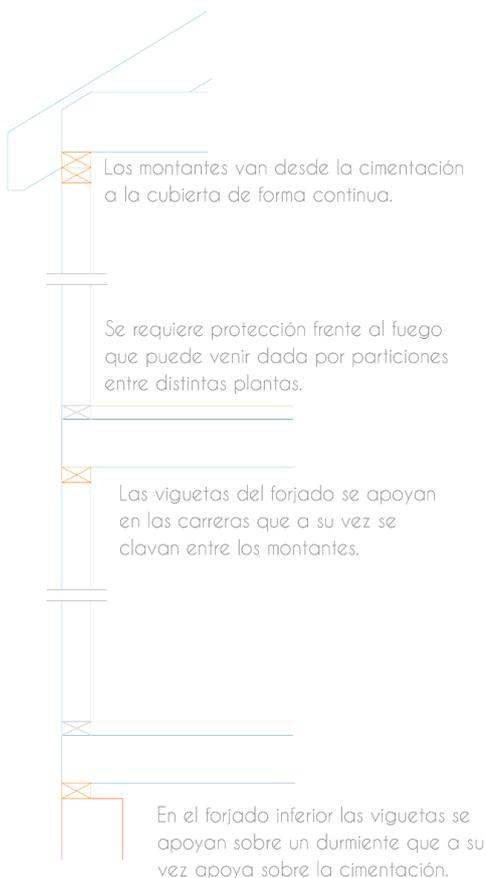


Figura 8. Sección constructiva sistema Balloon Frame. (Dibujo original)

ANÁLISIS CONSTRUCTIVO DE LA ARQUITECTURA MODULAR ACTUAL DESTINADA A VIVIENDAS UNIFAMILIARES

1. MADERA CONTRACHAPADA DE COBERTURA
2. VIGA CUMBRERA
3. VIGUETAS FORMACIÓN DE PENDIENTE DE LA CUBIERTA
4. CARRERA SUPERIOR
5. MONTANTES CONTINUOS EN TODA LA ALTURA
6. PLANCHAS DE MADERA CONTRACHAPADA
7. FORJADO DE MADERA CONTRACHAPADA
8. VIGUETAS FORJADO
9. TESTERO
10. PUNTAL
11. DINTEL VENTANA
12. ALFÉZAR VENTANA
13. ZOQUETE
14. CIMENTACIÓN
15. PLACA DE YESO INTERIOR
16. AISLAMIENTO DE LANA DE ROCA
17. PLACAS OSB DE ARRIOSTRAMIENTO
18. CARRERA INFERIOR

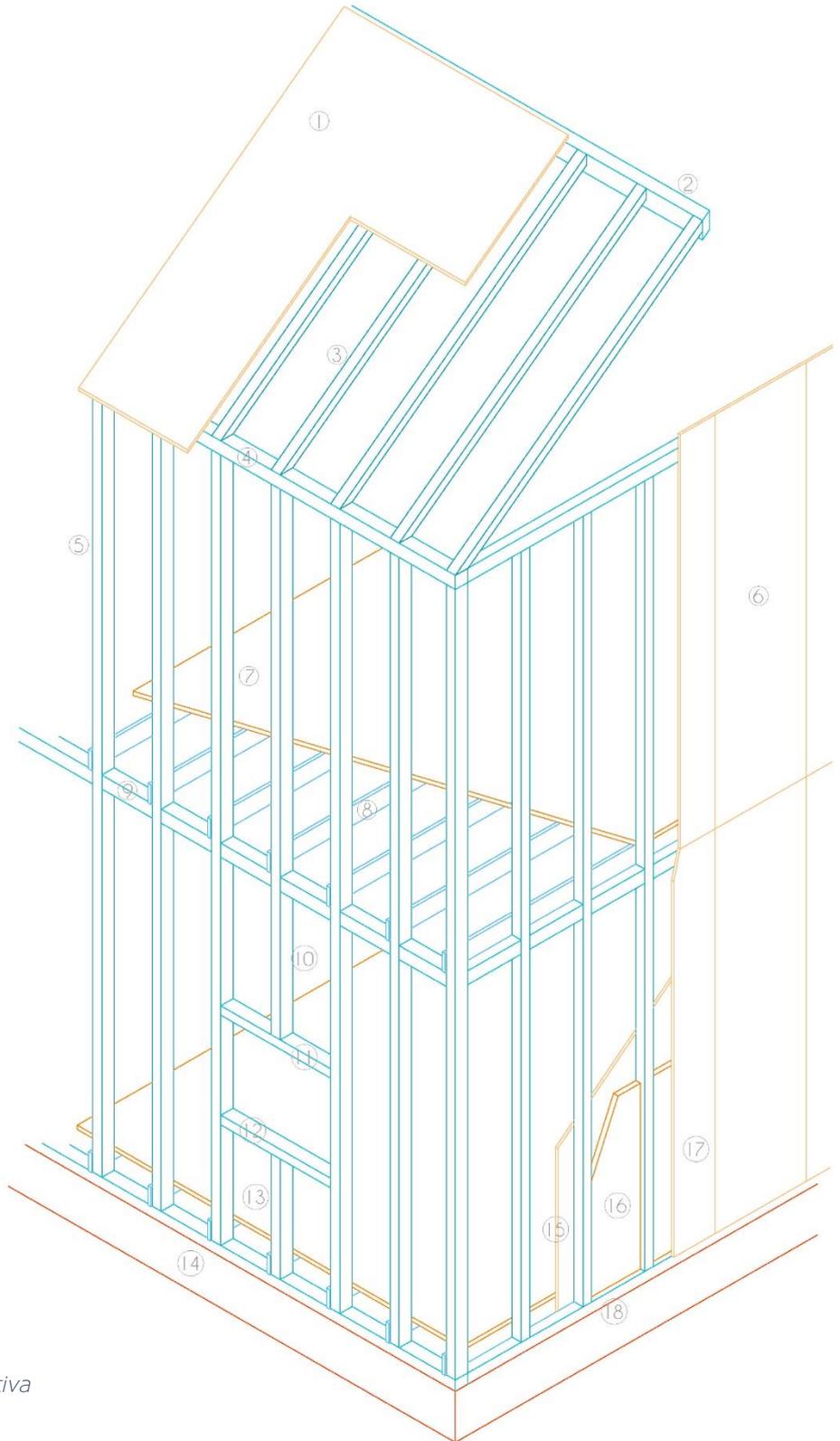


Figura 9. Axonometría constructiva
Balloon Frame (Dibujo original)

BALLOON FRAME

.. 7.1.2. PLATFORM FRAME

El Platform Frame es un método de construcción muy similar al Balloon Frame, pero con diferencias notables gracias a la evolución del primero. En este caso, la vivienda se levanta planta por planta, de tal forma que los forjados interrumpen la continuidad de la estructura. Este cambio se debe a la gran dificultad que se tenía para encontrar elementos de longitud suficiente y, posteriormente, transportarlos. Una ventaja que trajo esta partición, además de las mencionadas anteriormente, fue una mejor reacción frente al fuego, pues el forjado interrumpe el paso de este entre unas plantas y otras. (ARQHYS, 2012)

Hoy en día es uno de los sistemas de prefabricación en seco más usado a nivel mundial, sobre todo en países como Estados Unidos y Canadá, donde la madera es un material muy abundante. Además, con el cambio hacia el Platform Frame ya no se necesitan elementos tan largos si no que con maderas de menores dimensiones se obtienen resistencias mejores. Mientras que en el Balloon Frame las cargas se reparten de forma excéntrica, con el Platform Frame se hace de forma axial. (MADERA Y CONSTRUCCIÓN, 2015)

Las ventajas que tiene respecto la construcción en húmedo son diversas: la posibilidad de panelado de los elementos en taller, el poco peso de los elementos que permiten construir en lugares donde no se ha podido realizar una gran cimentación, el buen comportamiento frente a terremotos, etc. (MADERA Y CONSTRUCCIÓN, 2015)

El sistema genera un esqueleto de madera que debe protegerse de las acciones de insectos, humedades, pudrición, etc. Esto puede llevarse a cabo mediante al propio sistema posterior de panelado como a aplicaciones de productos químicos de protección.



Figura 10.
Vivienda unifamiliar ejecutada con sistema Platform Frame (Madera y construcción, 2015)

Los entramados que lo conforman se pueden separar en tres grupos: entramado vertical del muro, el entramado horizontal de los forjados y el entramado de la cubierta. Como se ha mencionado antes los muros en el Platform Frame se dividen en cada planta mediante los forjados, sobre los que se apoyan. La cubierta, por otro lado, tiene el mismo entramado tanto en el Platform Frame como en el Balloon Frame. Existen dos tipos de cubierta en estos sistemas, la cubierta plana y la cubierta inclinada. La pendiente de estas se forma gracias a una cercha prefabricada. (ESCOBEDO, 2012)

El proceso constructivo en este sistema consiste en levantar las plantas de forma individual. Cada una de las alturas se construye en el suelo y se eleva posteriormente. Primero de todo, se coloca el primer forjado sobre la cimentación. Este forjado hace de base para la colocación de los demás muros y forjados de la edificación. Se colocan los distintos paneles y elementos que forman el muro de la planta baja y, sobre este, se coloca la viga que hará de apoyo para la siguiente planta y así de forma consecutiva hasta llegar a la cubierta. Todos los muros y la cubierta serán revestidos con paneles que hacen de cerramiento y de arrostramiento al mismo tiempo. (ESCOBEDO, 2012)

Figura 11. Proceso constructivo del Platform Frame. (Inat Trigueros, S. 2011)

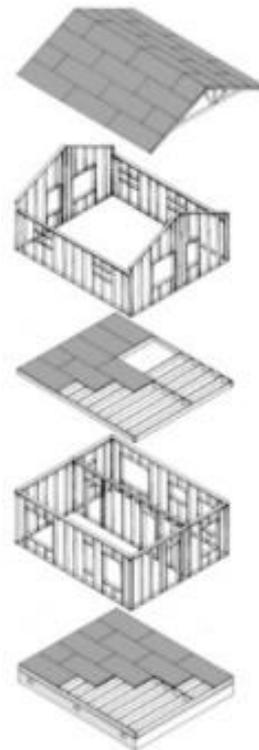


Figura 12. Sección constructiva sistema Platform Frame (Dibujo original)

ANÁLISIS CONSTRUCTIVO DE LA ARQUITECTURA MODULAR ACTUAL DESTINADA A VIVIENDAS UNIFAMILIARES

1. MADERA CONTRACHAPADA DE COBERTURA
2. VIGA CUMBRERA
3. VIGUETAS FORMACIÓN DE PENDIENTE DE LA CUBIERTA
4. CARRERA SUPERIOR
5. MONTANTES INDEPENDIENTES EN CADA PLANTA
6. PLANCHAS DE MADERA CONTRACHAPADA. PUEDEN SER AISLANTE RÍGIDO PARA REDUCIR LA TRANSMITANCIA
7. FORJADO DE MADERA CONTRACHAPADA
8. VIGUETAS FORJADO
9. REFUERZOS VIGUETAS
10. TESTERO INFERIOR
11. VIGUETA DE BORDE
12. TESTERO SUPERIOR
13. PUNTAL
14. DINTEL VENTANA
15. ALFEIZAR VENTANA
16. ZOQUETE
17. DURMIENTE
18. CIMENTACIÓN

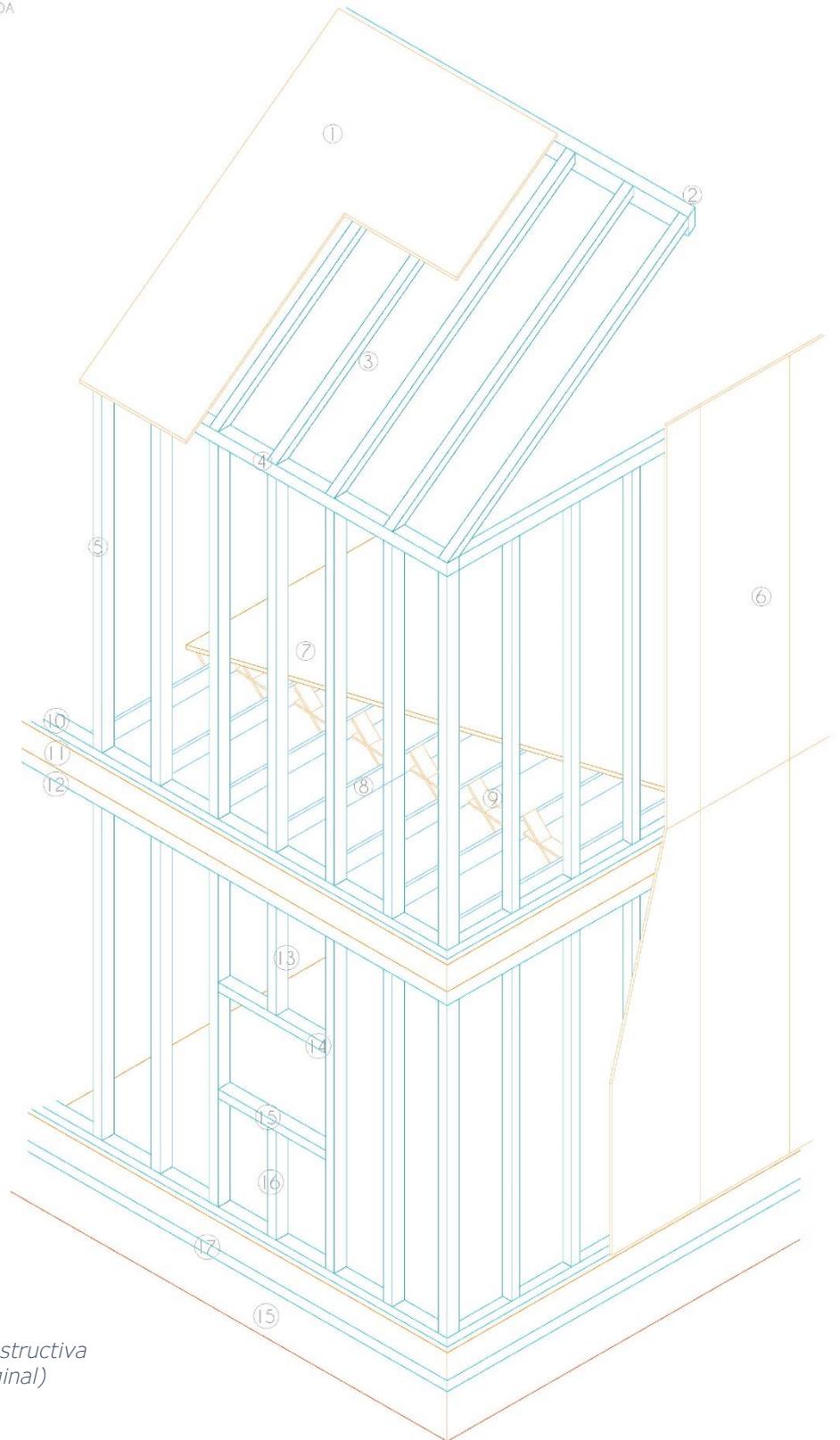


Figura 13. Axonometría constructiva Platform Frame (Dibujo original)

PLATFORM FRAME

Al Platform Frame se le incorpora posteriormente el panelamiento de elementos en taller reduciendo el tiempo de construcción en obra. Previamente a su montaje en la obra, a los elementos lineales portantes se les incorporan placas de madera u otros materiales tratados. Esto permitía que, al mismo tiempo que se generaba la estructura, se estaba colocando el cerramiento con sus acabados. Además, con este sistema de paneles se evita la necesidad de elementos diagonales para resistir los esfuerzos transversales como sucedía en el Balloon Frame. (LANTIGUA, 2014)

Mediante el panelado en taller, se solucionan muchos de los problemas que tiene el Platform Frame totalmente ejecutado en obra. Se trata de un paso más en la prefabricación de la vivienda. La ventaja que aporta este sistema, además de las mencionadas anteriormente, es la posibilidad de incorporar carpinterías e instalaciones en fábrica. Esto reduce todavía más el tiempo en obra. Por otro lado, el hecho de acelerarse su construcción, reduce los posibles daños por el clima. Otra ventaja que tiene este sistema es la gran resistencia sísmica que le dan los paneles unidos a la estructura. (ARQUIMA, 2019)

La madera es un material que permite una gran efectividad energética, sobre todo cuando va acompañada de un buen aislante. Además, se trata de un material poco contaminante y sostenible. Aunque pueda parecer que la tala de árboles es un problema, la mayoría de empresas tienen certificado de sostenibilidad por lo que siguen siendo menos dañinas que algunas construcciones de hormigón o acero. (ARQUIMA, 2019)

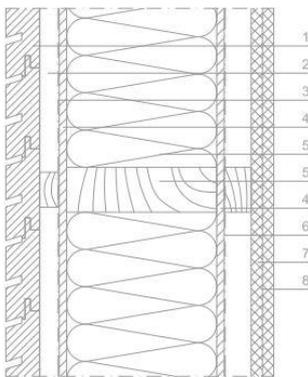
Una vivienda construida con este método tarda unos 7 días de fabricación y 7 de montaje en obra, más el tiempo de los acabados que suele rondar los 2 o 3 meses. Es por eso, que una edificación construida con este método es considerablemente más rápida que los métodos convencionales. (ARQUIMA, 2018)



Figura 14. Montaje de una vivienda mediante entramado de madera con paneles y carpinterías incorporados en fábrica. (Cubel, 2017)

Las uniones se hacen mayoritariamente con tornillos, prestando especial atención cuando estas dan a algún exterior. En ese caso, se aplican protecciones mediante distintos métodos para evitar problemas de infiltraciones o puentes térmicos. (ARQUIMA, 2018)

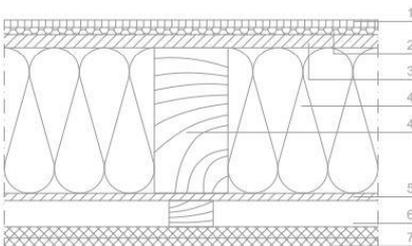
Dependiendo de la empresa que ejecute la obra, los paneles de entramado con paneles pueden venir totalmente acabados a falta de las uniones o puede ser que falten los acabados interiores. De todas las maneras, las fachadas llevan, mayoritariamente, las carpinterías y los aislantes incorporados ya de fábrica. Incluso, en ciertos casos, pueden llevar los espacios para el paso de instalaciones. (ARQUIMA, 2018)



Descripción:

1. Revestimiento exterior de madera de alerce
2. Cámara ventilada con perfiles de madera de pino tratado
3. Lámina impermeable y transpirable
4. Tablero OSB
5. Aislamiento térmico de fibras naturales $\lambda=0,036$ W/mK con estructura de madera de abeto C24
6. Barrera de vapor
7. Cámara interior para paso de instalaciones con perfiles de madera de abeto
8. Revestimiento interior con doble placa de fibroyeso

Figura 15. Envoltura con acabado de madera de alerce y entramado de madera de abeto (Arquima, 2017)



Descripción:

1. Pavimento de parquet
2. Lámina flexible de amortiguación acústica
3. Tablero OSB
4. Aislamiento acústico de fibras naturales $\alpha=0,82$ con estructura de madera de abeto C24
5. Tablero OSB
6. Cámara interior para paso instalaciones con perfiles de madera de abeto
7. Revestimiento interior con doble placa de fibroyeso

*Opción sin falso techo para paso instalaciones con perfiles de madera de abeto

Figura 16. Forjado entrepisos con terminación en parquet y estructura de madera de abeto (Arquima, 2017)



Figura 17. Colocación de un entramado con panel incorporado en obra mediante una grúa. El traslado se hace directamente desde el camión, sin necesidad de descargarlo previamente (Arquima, 2018)

7.1.3. STEEL FRAME..

Se trata de un sistema de construcción abierta en seco, una derivación del Ballon Frame, usando perfiles de poco espesor de acero galvanizado conformados en frío en sustitución de la madera. Los elementos lineales se unen mediante tornillos autoperforantes, por lo que la sencillez de montaje se mantiene. Es decir, es una evolución del proceso anterior pues, aunque el sistema es el mismo, el material no tiene problemas de pudrición por las humedades ni del ataque de los xilófagos y resiste mucho mejor a los posibles movimientos sísmicos. (SAIZ, 2015)

La prefabricación de los perfiles permite que vengan mecanizados de fábrica, lo que facilita en gran medida las obras de instalaciones hidráulicas y eléctricas, reduciendo todavía más el tiempo en obra. Otro punto a considerar respecto a este sistema es la reciclabilidad de su material, lo que permite reducir su huella ambiental. Por otro lado, al tratarse de un sistema prefabricado, todos sus elementos se calculan en fábrica conociendo previamente las necesidades de material en la obra, lo que aumenta considerablemente la eficiencia. (INSUMA SUR, 2020)

Al tratarse de un sistema donde los elementos lineales se ejecutan en taller y son montados posteriormente en obra, el sistema de Steel Frame es conocido también como Sistema Autoportante de Construcción en Seco. Cada uno de sus elementos deben ser dimensionados por un profesional competente ya que es parte de la estructura de la vivienda. (INSUMA SUR, 2020)

Para la ejecución de este método de construcción, se unen los perfiles de acero galvanizando formando bastidores. Estos bastidores serán las que soporten las distintas capas y planchas para formar las paredes, suelos y techos. Hay distintos tipos de perfiles: U, L, S, C, etc. siendo los más usados los que tienen forma de U. Además, estos perfiles cuentan con perforaciones para permitir el paso de instalaciones. (DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS, 2019).

Para asegurar y limitar la estructura frente a movimientos transversales, se opta por diversas soluciones: panelado estructural, arriostamiento mediante flejes metálicos o mediante perfiles en diagonal. (INSUMA SUR, 2020)



Figura 18. Sistema Steel Frame en una vivienda unifamiliar (Insuma Sur, 2018)

A pesar de tener el mismo nombre, hay que diferenciar este tipo del que se basa en la utilización de perfiles IPN formando un sistema de vigas y pilares pesados, que analizaremos más adelante como uno de los tipos de viga-pilar.

Este sistema es muy similar al llamado Drywall, que consiste en bastidores metálicos a los que se les colocan placas de cartón-yeso. La diferencia más notable es que, en el Steel Frame estos perfiles se sitúan más cercanos, generando una estructura mucho más rígida y que, en este sistema, hay más variedad de materiales en las capas, no solo se usan las planchas de yeso laminado. Además, el sistema de Drywall sirve meramente como cerramiento o partición mientras que el Steel Frame hace de estructura y cerramiento al mismo tiempo. En el Steel Frame es habitual usar distintos materiales como, por ejemplo: fibra de vidrio, fibrocemento o polímero que hacen la función de asilamiento, y placas de yeso o cerámicos para las terminaciones tanto en interior como en exterior. (DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS, 2019)

Todos los sistemas anteriores son, en cierta medida, un desarrollo y evolución del Balloon Frame, ya sea con distintos materiales o incluso diferentes componentes. Uno de los problemas que tienen tanto los basados en la madera (Balloon Frame y Platform Frame) como los basados en el acero (Steel Frame), es la necesidad de que los muros y cerramientos sean estructurales, lo que dificulta la apertura de grandes vanos en ellos. Lo mismo ocurre con los huecos en forjados del Platform Frame. Es por eso que diversos arquitectos buscaron un cambio en estos sistemas incorporando distintos elementos y materiales.

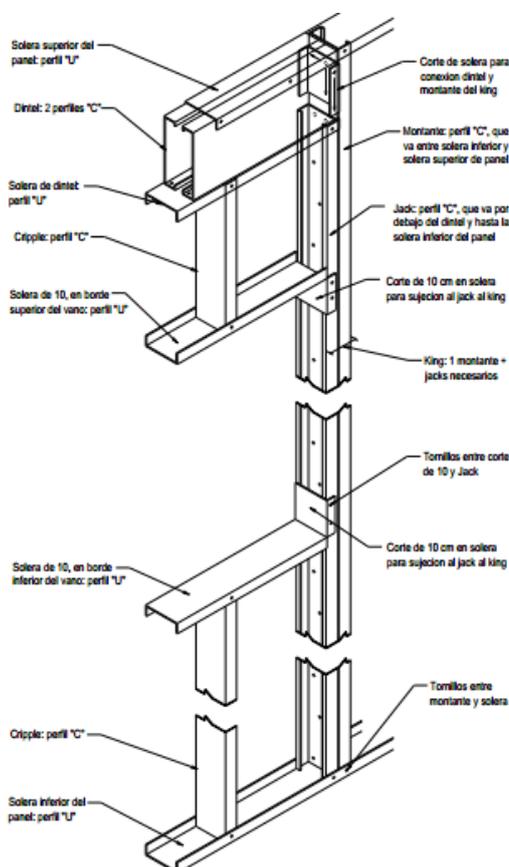


Figura 19. Detalle de construcción de un vano en un sistema Steel Frame (ConsulSteel, 2013)

ANÁLISIS CONSTRUCTIVO DE LA ARQUITECTURA MODULAR ACTUAL DESTINADA A VIVIENDAS UNIFAMILIARES

1. MADERA CONTRACHAPADA DE COBERTURA
2. VIGA CUMBRERA
3. CABIO
4. CORREAS
5. MONTANTE CUBIERTA
6. VIGA DE CIELO RASO
7. VIGA DINTEL
8. DINTEL
9. JAMBAS
10. MONTANTES DE PERFILES DE ACERO GALVANIZADO
11. ARRIOSTAMIENTO CON FLEJE METÁLICO
12. VIGUETAS ENTRESUELO
13. PERFIL ALFEIZAR
14. ZOQUETE METÁLICO
15. CANAL INFERIOR
16. VIGA DE BORDE
17. CANAL SUPERIOR
18. ENTREPISO SECO
19. PLACA CARTÓN-YESO INTERIOR
20. AISLAMIENTO LANA DE ROCA
21. CAPA PROTECTORA Y DE CUBRICIÓN
22. SOLERA
23. CIMENTACIÓN

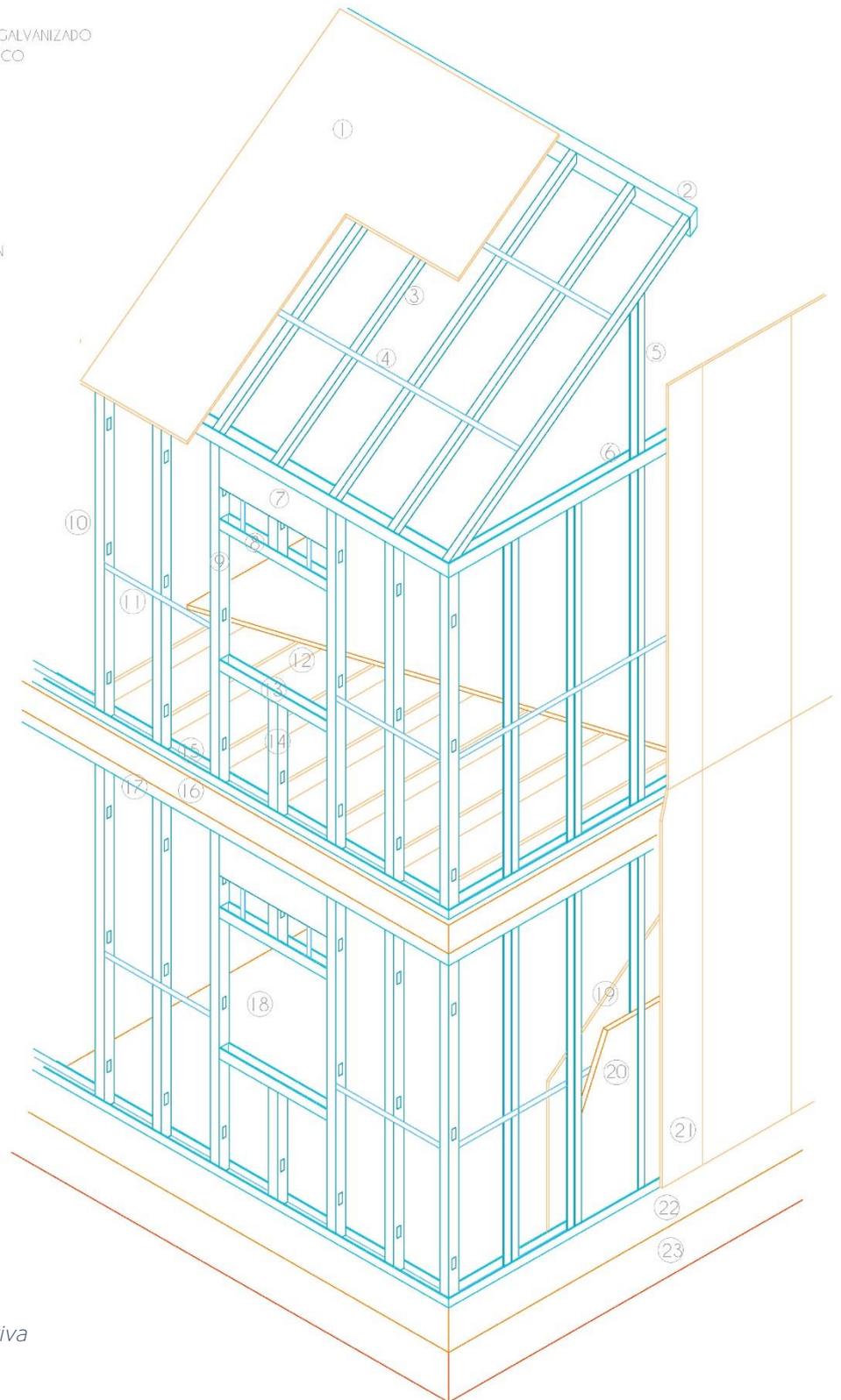


Figura 20. Axonometría constructiva Steel Frame (Dibujo original)

STEEL FRAME

... 7.2. SISTEMA VIGA-PILAR

En oposición a los sistemas de construcción difusa en las que la estructura estaba integrada con el cerramiento, aparece el sistema viga-pilar. Mediante este nuevo sistema donde elementos lineales horizontales son apoyados sobre otros verticales, se pueden generar edificaciones de mayores luces y de planta libre.

Con este método, muy usado en la arquitectura en todo el mundo, se crea una disociación entre la estructura y el cerramiento, permitiendo el uso de distintos elementos para los muros. En la actualidad, se prefabrica la estructura en taller y posteriormente, en obra, se construye el cerramiento, permitiendo una agilización del proceso. Estos cerramientos pueden ser, a su vez, elementos prefabricados en taller a los que solo les quede el montaje en 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.

La cimentación en este sistema se puede hacer mediante hormigón in-situ con distintas uniones según el material usado para la estructura, o bien con bloques prefabricados que se usan a modo de zapata y pueden venir ya unido a ciertas partes de la construcción. (SAIZ, 2015) Por otro lado, debido a que este sistema concentra las cargas en menor cantidad de elementos, puede usarse también una cimentación por zapatas, mientras que en los sistemas anteriores se recomendaba generalmente la losa.

Figura 23. Estructura prefabricada de hormigón (Zenet, 2018)



Figura 22. Estructura prefabricada de madera (Patingenaru, 2017)



Figura 21. Estructura prefabricada de acero (The constructor, 2018)



7.2.1. VIGA-PILAR DE ACERO..

En el caso del acero, encontramos distintos métodos de conformado de los elementos lineales, siendo el más habitual el acero laminado.

La industria genera ya de forma general una serie de perfiles comerciales usados de manera habitual en gran parte de las obras de construcción. A parte de estos perfiles industrializados genéricos, es posible la ejecución de otros elementos más adaptados a las necesidades resistentes y/o estéticas de cada edificación. (JURADO, 2009)

En el caso de estos elementos metálicos, la unión en obra se suele realizar mediante tornillos o soldaduras, dependiendo de las características de la obra. Una vez generada la estructura de viga-pilar, el edificio debe de cubrirse y cerrarse mediante otro sistema ya sea prefabricado o ejecutado en obra. (JURADO, 2009)

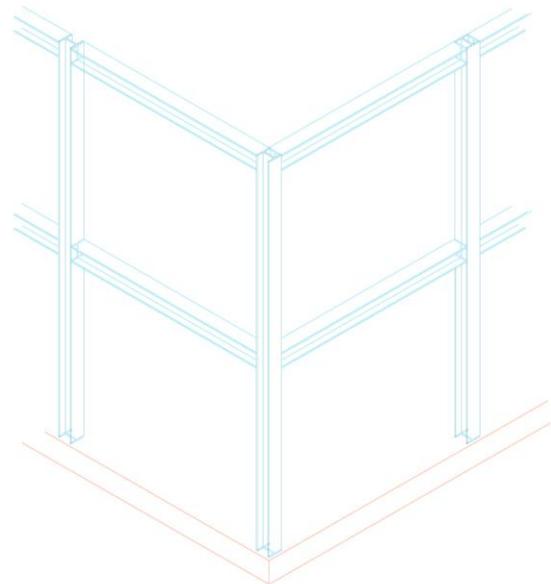


Figura 24. Axonometría constructiva sistema viga-pilar de acero (Dibujo original)

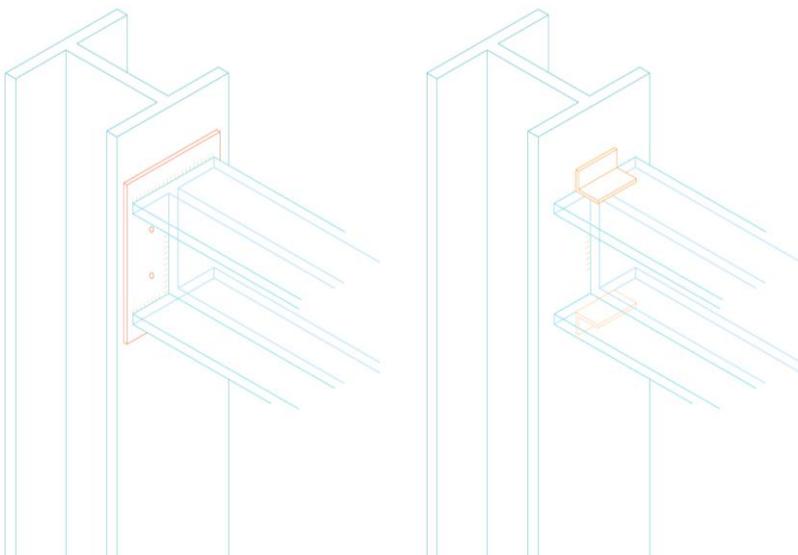


Figura 25. Ejemplos de las uniones entre viga y pilar (Dibujo original)

· 7.2.2. VIGA-PILAR DE MADERA

En el caso de las estructuras de madera, es una de las técnicas más usadas en gran cantidad de países. Aunque en nuestro país no es uno de los sistemas más habituales debido a la menor cantidad de materia prima, en zonas donde abundan los bosques y las serrerías, lo hacen también las estructuras de madera. (GROHE, 2001)

El funcionamiento es similar a las estructuras metálicas, elementos lineales de cierto espesor unidos entre ellos mediante machihembrado o tornillos. La diferencia de este con el Ballon Frame son las dimensiones y las cantidades de elementos usados, siendo en el de viga-pilar de mayor espesor y menos elementos. La madera debe cumplir ciertos requisitos de estabilidad, de resistencia y debe estar tratada para evitar deterioros que puedan dañar la estructura. (ARRIAGA, 2001)

Tanto los elementos en sí como sus juntas y uniones deben estar calculados y dimensionados para cumplir las normativas que le corresponden, así como para obtener la resistencia exigible. Además, en el caso del acero y la madera, se deben proteger tanto de la acción del fuego como de la corrosión y otros problemas derivados de la climatología. Los elementos de madera pueden ser macizos o compuestos, siempre y cuando con ellos se adquieran las propiedades necesarias.

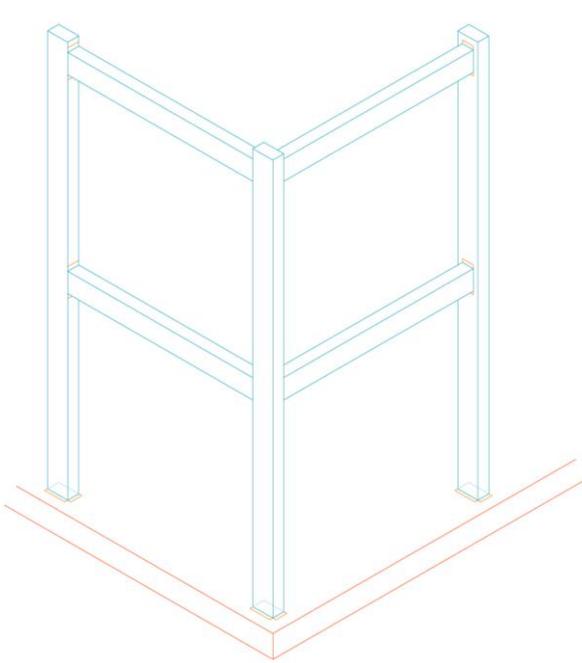


Figura 26. Axonometría constructiva sistema viga-pilar de madera (Dibujo original)

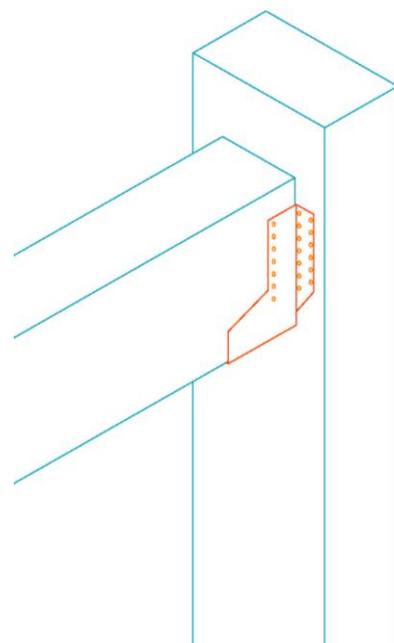


Figura 27. Encuentro entre una viga y un pilar de madera (Dibujo original)

7.2.3. VIGA-PILAR DE HORMIGÓN..

Por otro lado, tenemos las estructuras de hormigón prefabricado. Las estructuras de hormigón in-situ siguen siendo uno de los sistemas estructurales más usados. Ahora bien, gracias a las ventajas que puede aportar la ejecución de los elementos portantes en un ambiente más controlado, así como su rapidez de puesta en obra, hace que cada vez existan más edificios realizados mediante este sistema.

Las estructuras de vigas y pilares de hormigón prefabricados permiten luces mayores con menores espesores. Esto, unido a la reducción de tiempo de espera para su puesta en servicio, las hace ideales para construcciones de cierto calibre. En cuanto a las uniones, aunque en edificios con pocas exigencias se podría optar por el simple apoyo o machihembrado, lo más habitual en estructuras de viviendas es la unión por tensado que además permite rigidizar los nudos. (FISAC, 1997)

La industrialización de los perfiles prefabricados de hormigón trae consigo un gran avance en cuanto a resistencia se refiere. Gracias al exhaustivo control al que se someten estos elementos, unido a las técnicas de pretensado, permiten generar elementos para cubrir grandes luces. Si bien esto está limitado por las dimensiones de los transportes, se han creado sistemas de módulos sumables que, al unirse, funcionan como un único elemento capaz de salvar grandes distancias. (ARAUJO 1997)

Las uniones entre pilares y vigas se deben hacer mediante un hormigonado armado in-situ para asegurar su monolitismo. Esto permite reforzar las juntas, así como aumentar la resistencia de las uniones. (FISAC, 1997)

Figura 29. Axonometría constructiva sistema viga-pilar de hormigón prefabricado (Dibujo original)

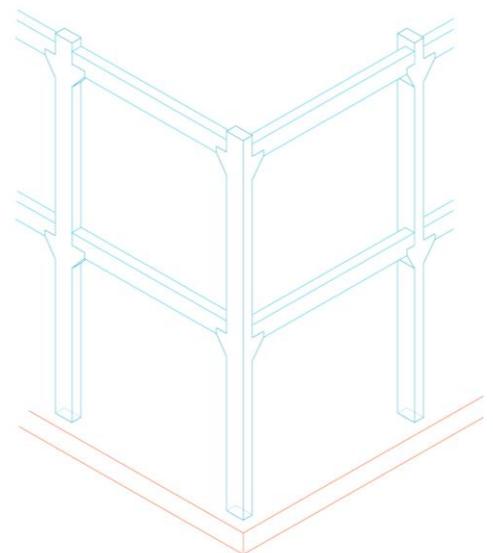
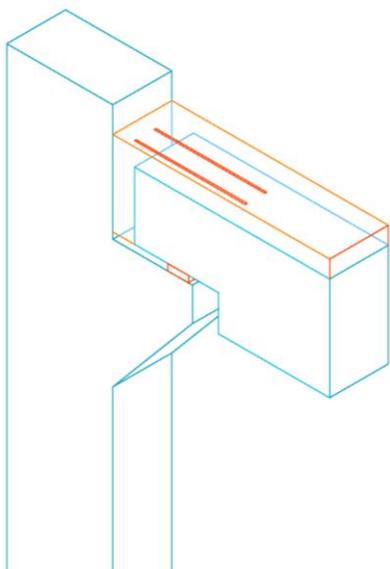


Figura 28. Encuentro entre una viga y un pilar de hormigón prefabricado. (Dibujo original)

... 7.3. 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. (SAIZ, 2015) 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. (LANTIGUA, 2014)

Existen paneles de distintas formas, componentes y materiales. Según sus propiedades, el sistema producido es similar, pero con diferencias notables que se van a analizar más adelante. Además, hay que tener en cuenta que, dependiendo de las necesidades de la obra, estos paneles pueden contar con elementos tales como huecos o distintos tipos de acabados para ajustarse correctamente al diseño. (LANTIGUA, 2014)

A pesar de que en el exterior pueden tener una apariencia similar a las viviendas fabricadas con paneles ligeros, hay que destacar sus diferencias. Mientras el sistema de paneles de fachada prefabricada permite cubrir todos los requisitos térmicos, acústicos y portantes que un cerramiento necesita, los paneles ligeros son más bien el acabado de la fachada: necesitan generalmente una hoja que sea capaz de soportar su peso y resolver las exigencias técnicas. (PATÓN, 1996)

Cada día aparecen nuevas técnicas de construcción mediante paneles, ya sea mejorando sus características como mejorando sus juntas por lo que hay gran variedad de tipos en el mercado. Se van a analizar las más usadas en la actualidad.



Figura 30. Montaje de paneles de la Casa de Cobre, Casas que crecen, en Berlín (Gropius, 1931)

7.3.1. STRUCTURAL INSULATED PANELS ..

Este sistema está formado por Paneles Aislantes Estructurales y son conocidos por sus siglas en inglés SIP (Structural Insulated Panel). Los paneles están formados por un alma de espuma aislante situada entre dos caras estructurantes, normalmente tableros de virutas orientadas OSB (Oriented Strand Board). En cuanto al material aislante, lo más común es el poliestireno expandido (EPS), el poliestireno extruido (XPS) o la espuma de poliuretano (PUR). (SIPA, 2020)

La construcción mediante el uso de estos paneles es sencilla y relativamente veloz, lo que permite la ejecución de obras en un menor tiempo. Además, debido a que llevan incorporado el aislamiento en el propio elemento, tiene un buen comportamiento térmico y acústico. Su transmitancia es muy reducida y en el caso de necesitarse mayores propiedades, se puede aumentar el espesor del aislamiento. (SIMON, 2017)

La construcción con paneles SIP evita, generalmente, tener que crear un entramado además de las propias placas pues estos son estructurales y pueden ser usados tanto para la ejecución de muros como para forjados. En ocasiones en las que se requiera una resistencia mayor, se pueden incorporar refuerzos o añadir una tercera capa de OSB. (SIMON, 2017)

Los paneles se unen entre ellos mediante grapas, clavos o tornillos. Se pueden adaptar perfectamente a otros tipos de construcción convencional. Por otro lado, su modificación en obra es relativamente sencilla. Es decir, si en algún caso las medidas previas fueran erróneas, se pueden cortar y adaptar los paneles con herramientas específicas. (SIPA, 2020)

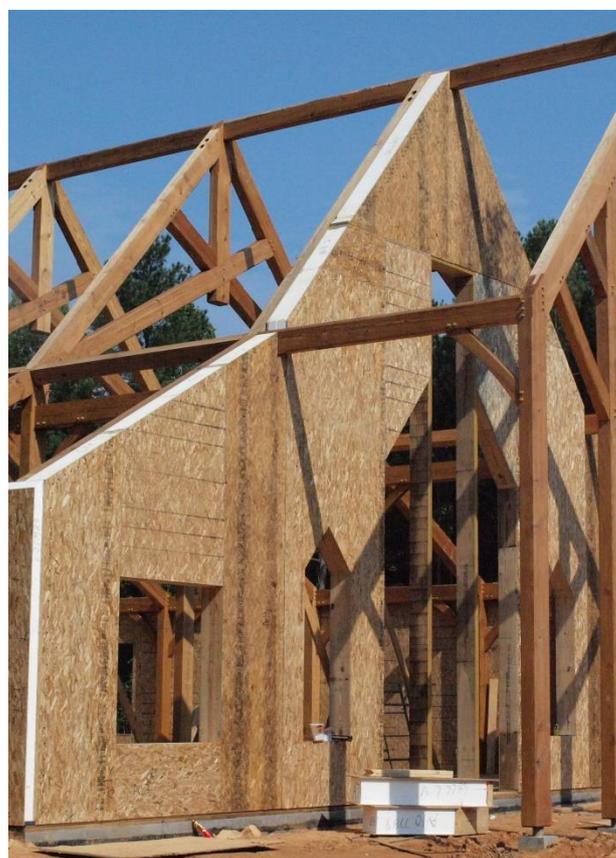


Figura 31. Vivienda construida mediante paneles SIP.
(SipSchool, 2011)

Mediante este sistema se pueden generar estructuras de hasta 4 plantas. (SIMON, 2017). A pesar de que teóricamente se podrían alcanzar alturas mayores, al trabajar como muros de carga, existirían problemas de espacio en plantas inferiores. Los paneles adaptan su grosor a las distintas necesidades, aumentando el aislamiento o los paneles según se requiera. Del mismo modo, existen paneles que vienen ya de fábrica con los huecos y sus modificaciones necesarias para la colocación de vanos. (SIPA, 2020)

Los SIP tienen muchas ventajas respecto a otro tipo de construcción. Como otros sistemas, cuenta con la posibilidad de incorporar las instalaciones en fábrica, antes de la puesta en obra. Otra de las ventajas que tiene es su capacidad de mejorar el aire interior gracias a su higroscopicidad. (SIPA, 2020)

Como en muchos de los sistemas que se están analizando, uno de los problemas que podemos encontrar son las juntas. Si, por algún caso el agua penetra en los paneles, esta puede llegar a ser muy perjudicial tanto para el aislamiento como para las propias placas estructurales. Es por eso que debe prestarse especial atención a estas, siendo protegidas normalmente mediante tiras de OBS o madera contrachapada en las ranuras. (SIMON, 2017)

Habitualmente se usan distintos materiales de acabados para cubrir el panel, ya no solo para protegerlo frente a las inclemencias del clima, sino también por un motivo estético. Pero, debido a las características antes mencionadas y sobre todo si se tienen buenas juntas, esta sería una decisión meramente estética. (SIMON, 2017)

La cimentación en este sistema es similar a las anteriores. En este caso, además, debe estar especialmente nivelada pues el mínimo desvío genera grandes problemas de escuadra. Se recomienda proteger los paneles que llegan al suelo mediante elementos impermeables, así como crear una ventilación de la solera para evitar problemas de humedades que pueden dañar gravemente los paneles.

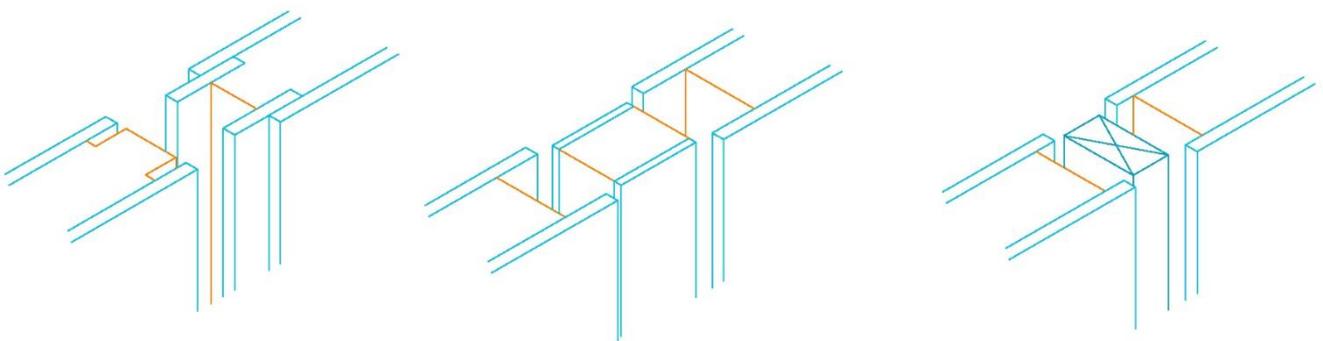


Figura 32. Juntas de los paneles SIP mediante distintos sistemas: placas de OSB, panel SIP de menor espesor y listón de madera (Dibujo original)

ANÁLISIS CONSTRUCTIVO DE LA ARQUITECTURA MODULAR ACTUAL DESTINADA A VIVIENDAS UNIFAMILIARES

1. CUBIERTA MEDIANTE PANELES SIP
2. VIGA CUMBRERA
3. CABIO
4. VIGUETAS FORJADO
5. VIGA DE BORDE
6. PANEL AISLANTE PORTANTE (SIP)
7. FORJADO DE PANELES SIP
8. ACABADO OPCIONAL DE LOS PANELES
9. JAMBA PARA LA TERMINACIÓN DE LOS PANELES
10. ALFEIZAR PARA LA TERMINACIÓN DE LOS PANELES
11. SOLERA
12. CIMENTACIÓN

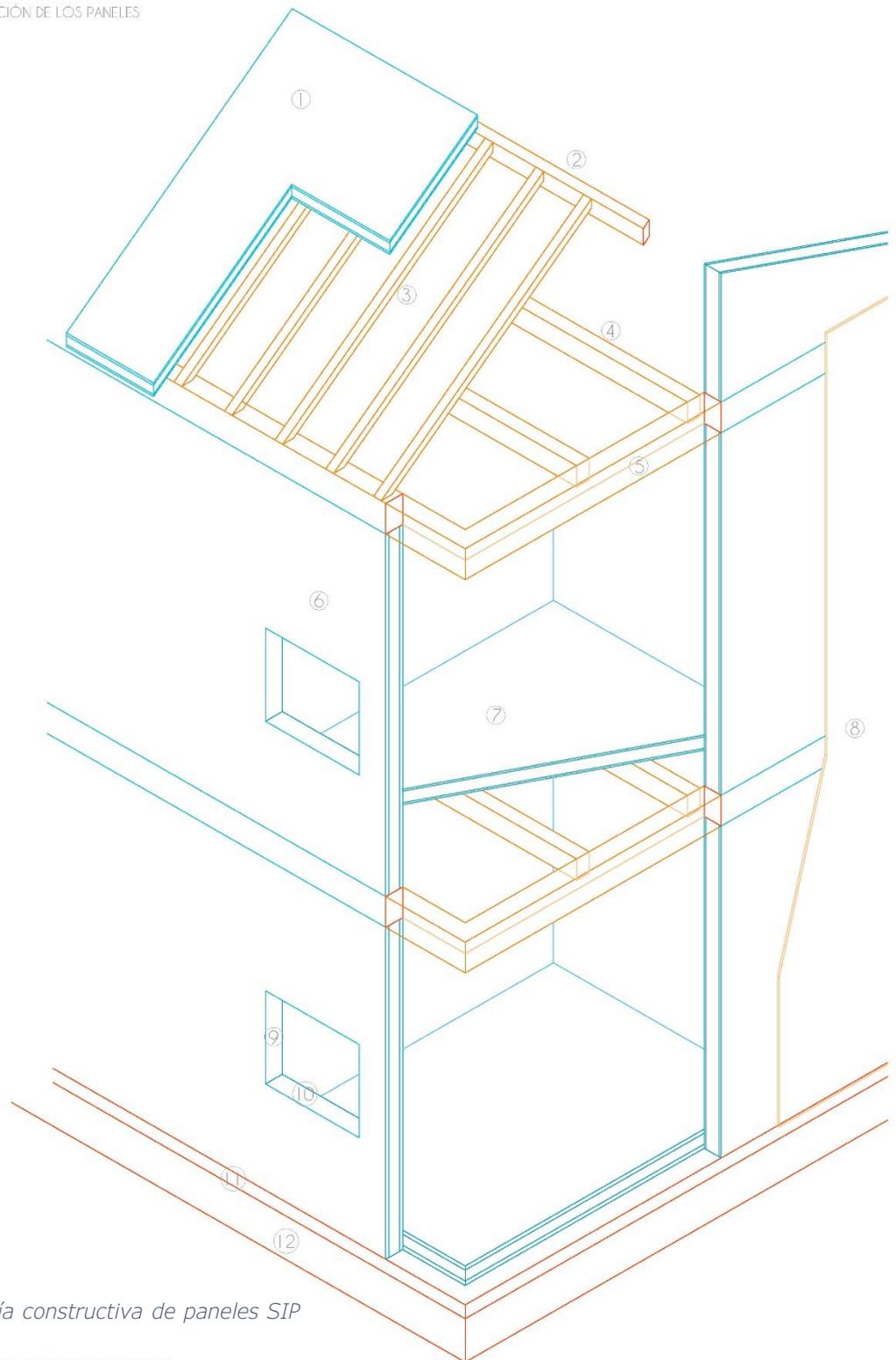


Figura 33. Axonometría constructiva de paneles SIP
(Dibujo original)

STRUCTURAL ISULATED PANEL

.. 7.3.2. MADERA

En la arquitectura tradicional, la madera se usaba como material lineal normalmente estructural, como por ejemplo en el Ballon Frame y, en ocasiones, como material de recubrimiento. Con el avance tecnológico, se ha empezado a emplear este material para generar paneles, placas, que permiten el uso de este no solo con un uso portante sino también de cerramiento.

A mediados del siglo XX se crea el General Panel System de la mano de Konrad Wachsmann en colaboración con Walter Gropius. Esta nueva forma de construir consistía en un sistema industrial cerrado modularizado, donde todo estaba estudiado: desde la planificación de la vivienda, hasta la venta y el montaje. En aquel momento no tuvo el éxito esperado debido a su poca flexibilidad ya que no permitía variaciones en las construcciones y se trataba de un sistema cerrado. (GROHE, 2001)

Con el tiempo, la tecnología ha mejorado considerablemente: lo que antes podía tardar días y costar grandes cantidades de dinero, ahora se hace en horas por mucho menos. Esto permite un cambio en la producción a gran escala, ya no es necesario que todas las piezas sean exactamente iguales para que sea viable económicamente, sino que se pueden incorporar variaciones de forma relativamente sencilla gracias a la robotización de la industria. Esto, en los sistemas de construcción mediante madera, permite mucha más flexibilidad a la hora de proyectar. (ARRIAGA, 2001)

Uno de los sistemas más utilizados tanto para muros como para forjados y cubiertas es el de las piezas estructurales nervadas o en cajón. La ventaja que tiene este sistema es que se trata de elementos con una función portante, de aislamiento acústico y térmico, con gran inercia térmica y equilibrio higroscópico y que, al mismo tiempo, hace la función de cerramiento. Gracias a su sección, puede salvar grandes luces con longitudes de hasta 16 metros. Debido a su alto grado de prefabricación, tienen gran precisión y ajuste, lo que facilita su montaje. (GROHE, 2001)



Figura 34. Vivienda ejecutada con paneles y placas de madera mediante el sistema Lignatur. (Lignatur, 2005)

Dentro de los sistemas mediante paneles de madera existen diversas variaciones. Podemos encontrar piezas en cajón, piezas nervadas, placas de madera laminada, madera alistonada contraplacada, tableros aglomerados, etc. Por otro lado, en algunos casos podemos encontrar tableros de madera donde esta va acompañada de otros materiales como resinas, cemento o yeso, que mejoran considerablemente sus propiedades técnicas. (ARRIAGA, 2001)

También existe un gran uso de placas alveolares de madera, similares a las anteriores, pero con la ventaja añadida de que sus huecos interiores continuos permiten el paso de instalaciones. En este caso, las placas solo sirven de cobertura horizontal, necesitando el uso de otro material para los cerramientos. Este tipo de construcción permite su puesta en carga inmediata, entrando en servicio inmediatamente después de su colocación, reduciendo los tiempos de ejecución. (ARRIAGA, 2001)

Diversas empresas del mercado actual incorporan en sus paneles algún material aislante que mejora considerablemente su comportamiento térmico a la vez que mantiene su función estructural.

Como en todos los sistemas en los que la madera es uno de los materiales principales, este debe protegerse frente al fuego, frente a la humedad y frente a los ataques de insectos. Para ello, muchos paneles están tratados con distintos productos químicos y barnices que permiten mantener la apariencia de madera. En otros casos, se colocan diversos acabados de otros materiales con el mismo fin. (GROHE, 2001)

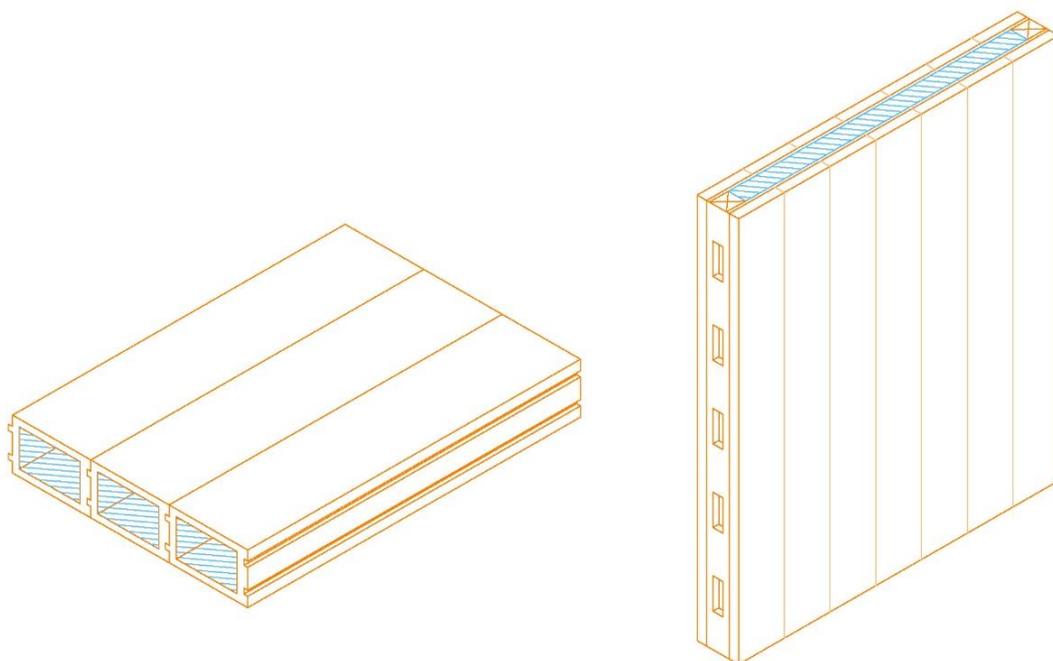


Figura 35. Ejemplo de panel de forjado y panel de cerramiento de la empresa Lignatur y Lignotrend (Dibujo original)

· 7.3.3. PANELES CONTRALAMINADOS

Los paneles de madera contralaminada han supuesto un gran cambio en la construcción en los últimos tiempos. Se trata de capas de madera aserrada encolada de tal forma que las fibras de dos capas contiguas estén orientadas de forma perpendicular. (GROHE, 2001)

La madera usada para estos paneles debe de poseer capacidad resistente suficiente. Debe estar compuesta por un número impar de capas, siendo una composición simétrica. Una vez todas las capas han sido debidamente colocadas y encoladas, se procede al prensado. Debido a rigidez que aportan las distintas capas encoladas, estas placas poseen una elevada estabilidad dimensional. (GROHE, 2001)

Los paneles contralaminados suelen constar de 3, 5 o 7 capas, que pueden ser de distintos espesores y/o maderas según las necesidades de la obra. En casos concretos, pueden formarse paneles de más capas, siempre y cuando estas sean en un número impar. Por otro lado, estos paneles se pueden dejar vistos o protegerse mediante placas de cartón yeso en el interior, o distintos acabados en el exterior. (MADERAME, 2020)

Entre las maderas más usadas para la construcción de estos paneles, encontramos el pino, el abeto, el alerce y el cedro. Además, se usan piezas pequeñas de madera por lo que se reducen los residuos aprovechando mucho mejor el árbol. Se pueden construir piezas de gran tamaño, llegando a los 20 metros, pero limitadas siempre por el transporte. (MADERAME, 2020)

En fase de diseño, se debe de tener en cuenta la función portante de los paneles a la hora de abrir huecos. En la fábrica se cortarán los distintos vanos mediante el uso de maquinaria de precisión y, posteriormente, se trasladan los elementos a la obra, donde se colocarán acabados y carpinterías. (GROHE, 2001)



Figura 36. Construcción mediante paneles CLT (EstudioK, 2013)

Figura 37. Paneles de madera contralaminada. Se puede observar el cambio de dirección de las fibras (FoB, 2019)



ANÁLISIS CONSTRUCTIVO DE LA ARQUITECTURA MODULAR ACTUAL DESTINADA A VIVIENDAS UNIFAMILIARES

1. CUBIERTA MEDIANTE PANELES CONTRALAMINADOS
2. CERRAMIENTO Y FORMACIÓN DE PENDIENTE MEDIANTE PANELES CLT
3. JAMBA METÁLICA DE PROTECCIÓN DEL PANEL
4. ALFÉIZAR METÁLICO DE PROTECCIÓN DEL PANEL
5. FORJADO MEDIANTE PANEL CLT
6. ACABADO OPCIONAL DE PROTECCIÓN PARA LOS PANELES CLT
7. PANEL DE MADERA CONTRALAMINADA DE 5 CAPAS CON LA FIBRA PERPENDICULAR PARA LA FORMACIÓN DEL CERRAMIENTO
8. LOSA DE CIMENTACIÓN

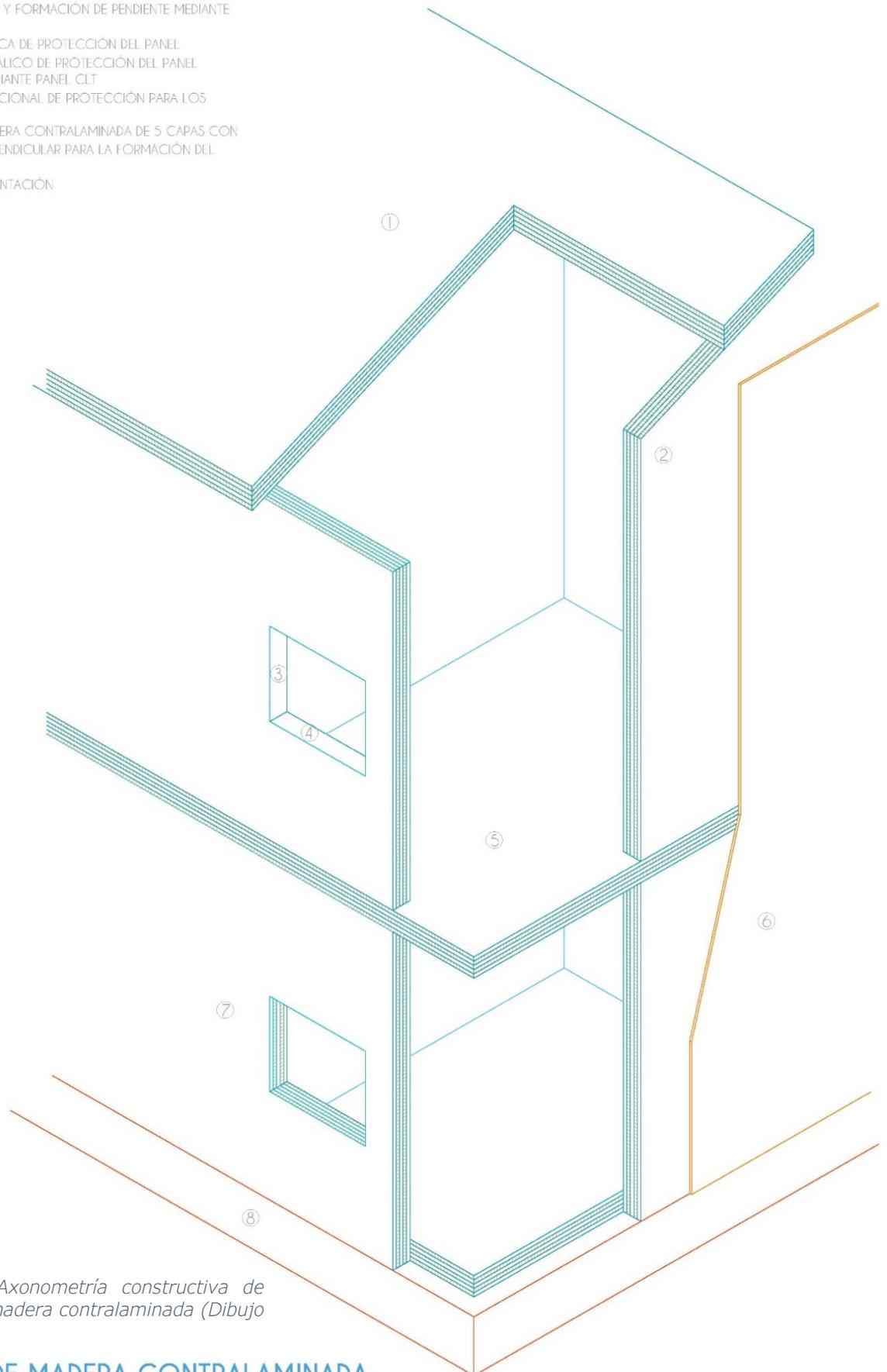


Figura 38. Axonometría constructiva de paneles de madera contralaminada (Dibujo original)

PANELES DE MADERA CONTRALAMINADA

.. 7.3.4. PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

El hormigón ha sido un constante en la historia de la arquitectura que ha ido mejorando en los últimos tiempos gracias a los distintos avances en la industria. Actualmente, aunque se sigue usando mayoritariamente como un material fraguado en obra, hay gran abundancia del uso de prefabricados de hormigón.

La industrialización de este producto reduce problemas e inconvenientes que pueden aparecer en su puesta en obra tales como las condiciones climáticas y las temperaturas que afectaban a su fraguado, el vibrado y desencofrado. Además, el resultado final está mejor controlado en una fábrica e incluso los acabados resultan de mayor calidad. La prefabricación ha permitido otros avances y mejoras en el propio hormigón, como pueden ser distintas formas de pretensado y postensado, así como la "adecuoresistencia". (ARAUJO, 1997)

A pesar de la aparente rigidez de diseño que se le puede apreciar a un panel ya conformado frente a un material amorfo como es el hormigón vertido en obra, actualmente hemos podido ver que gracias a la gran variedad de paneles que existen en el mercado, esto no es un problema. Hoy en día se pueden generar grandes proyectos de características muy diversas sin caer en la repetición. (FISAC, 1997)

Al principio, este tipo de paneles consistían en una sola hoja maciza de hormigón pero, con el tiempo, han ido evolucionando incorporando en su interior material aislante como el poliestireno extruido que mejora sus características técnicas. Uno de los avances que ha permitido el uso de los prefabricados de hormigón fue la invención del pretensado, permitiendo una reducción de la fisuración. Estos paneles pueden usarse como acabado o como cerramiento en sí, siempre y cuando sus juntas sean tratadas correctamente frente al posible paso del agua y del viento. (QUINTÁNS, 1996)



Figura 39. Encaje entre dos paneles de hormigón prefabricado (Tarrés, 2017)

Figura 40. Colocación de un panel de hormigón prefabricado con hueco y carpintería. (Tarrés, 2017)



Uno de los problemas que encontramos en este sistema, como en la mayoría de los métodos constructivos mediante paneles, son las juntas. Existen diversas formas para resolverlas, siendo este uno de los factores clave en la competencia entre las distintas empresas productoras. La más básica es la unión por simple apoyo, limitada a construcciones muy sencillas y con pocas exigencias tanto estructurales como de estanqueidad. En viviendas de pocas alturas se usan habitualmente uniones machihembradas o anclajes que posteriormente son protegidos. (ARAUJO, 1997)

Poco a poco han ido surgiendo distintas uniones de tipo rígido. De tipo rígido podemos encontrar la unión mediante placas metálicas soldadas, reservar zonas sin hormigonar para resolver los solapes de las armaduras y hormigonar en obra, las uniones mediante postensado, etc. (ARAUJO, 1997)

Para la ejecución de una obra mediante este sistema, primero se debe analizar y desglosar el edificio para saber tanto sus necesidades estructurales como técnicas. Es importante tener en cuenta si los paneles deben tener una función estructural además de su función de cerramiento, pues deben dimensionarse de tal manera que la sección de hormigón armado sea capaz de resistir las cargas del edificio. Los paneles pueden ser de un muro completo o bien de tamaño más reducido, permitiendo más libertad en obra. El inconveniente de los paneles de menor tamaño es la necesidad de gran precisión en cada una de sus uniones, dificultando su puesta en obra. (VILSSA, 2014)

En las obras construidas mediante este sistema de paneles de hormigón portantes, los forjados se suelen ejecutar con placas alveolares también de hormigón. Para su cimentación, aunque se puede usar una losa de hormigón in-situ, es también habitual el uso de cimentaciones prefabricadas. (DE CASAS PREFABRICADAS, 2018)

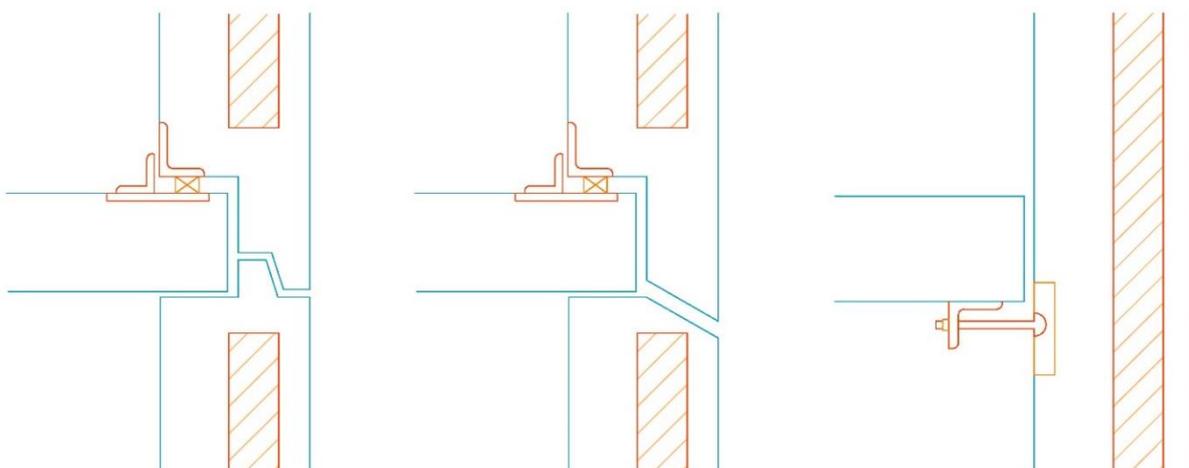


Figura 41. Ejemplos de juntas entre paneles de hormigón prefabricado con aislante y placas alveolares (Dibujo original)

Los hormigones usados para estos paneles pueden estar reforzados con diversos materiales, que permitan reducir su peso manteniendo su resistencia. Uno de los materiales más usados para reforzar los paneles de hormigón mejorando sus capacidades portantes es la microfibras de vidrio, aunque en la actualidad se está investigando con materiales reciclados, entre otros. (VILSSA, 2014)

Existen paneles armados con microfibras de vidrio, también llamados GRC por las siglas en inglés de Glass Reinforced Concrete. En los últimos años se ha aumentado considerablemente su uso gracias a la posibilidad que ofrecen aumentar sus propiedades resistentes reduciendo considerablemente la sección del hormigón. Con este material de refuerzo se pueden, además, crear paneles con geometrías singulares gracias a la facilidad de adaptarse a los moldes. (CASTAÑEDA, 2018)

Por otro lado, además de los refuerzos mecánicos, se pueden incorporar distintos pigmentos y acabados que permiten adaptar el diseño a cada edificio, generando gran variedad de estéticas. Según la empresa que fabrique el panel, podemos obtener distintas formas y anclajes, lo que hacen que cada edificio pueda tener su propio carácter. (PATÓN, 1996)

El sistema mediante paneles de hormigón reduce considerablemente los residuos en obra pues, a diferencia de muchos otros, este no se puede modificar en obra. Es decir, el panel se debe fabricar exactamente con las características necesarias en obra. En obra solo queda montarlos y unirlos entre ellos, por lo que el desperdicio de material es menor que en el hormigonado in-situ. (VILSSA, 2014)

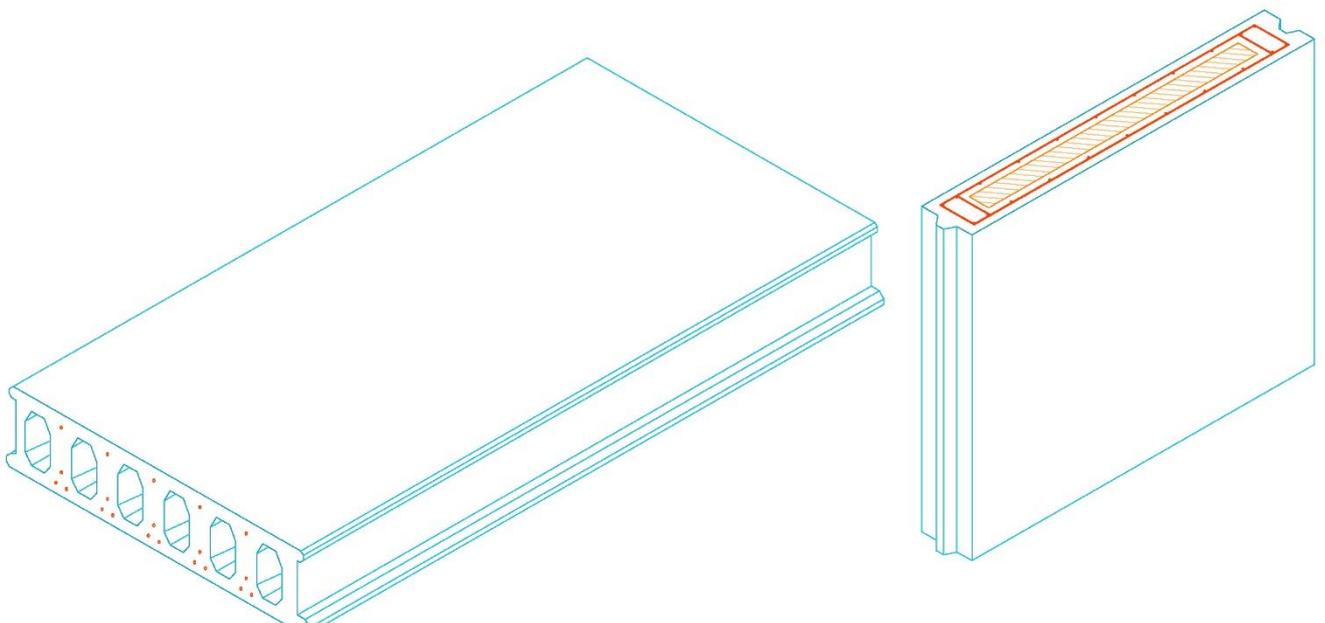


Figura 42. Elementos del sistema. Placa alveolar de hormigón prefabricado en la izquierda y placa de hormigón prefabricado armado y con aislante térmico a la derecha. (Dibujo original)

ANÁLISIS CONSTRUCTIVO DE LA ARQUITECTURA MODULAR ACTUAL DESTINADA A VIVIENDAS UNIFAMILIARES

1. CAPAS DE PROTECCIÓN E IMPERMEABILIZACIÓN DE LA CUBIERTA
2. PLACAS ALVEOLARES CUBIERTA
3. ALBARDILLA
4. PANEL DE HORMIGÓN PREFABRICADO PARA ANTEPECHO
5. PANEL DE HORMIGÓN PREFABRICADO PARA CERRAMIENTO CON AISLANTE Y ARMADURA EN SU INTERIOR MACHIHEMBADO
6. PANEL ESPECIAL PARA VANOS
7. PLACA ALVEOLAR PARA EL FORJADO
8. PIEZA DE UNIÓN Y SUJECCIÓN ENTRE EL CERRAMIENTO Y EL FORJADO
9. ACABADO OPCIONAL SUPERFICIAL DE LOS PANELES
10. LOSA DE CIMENTACIÓN

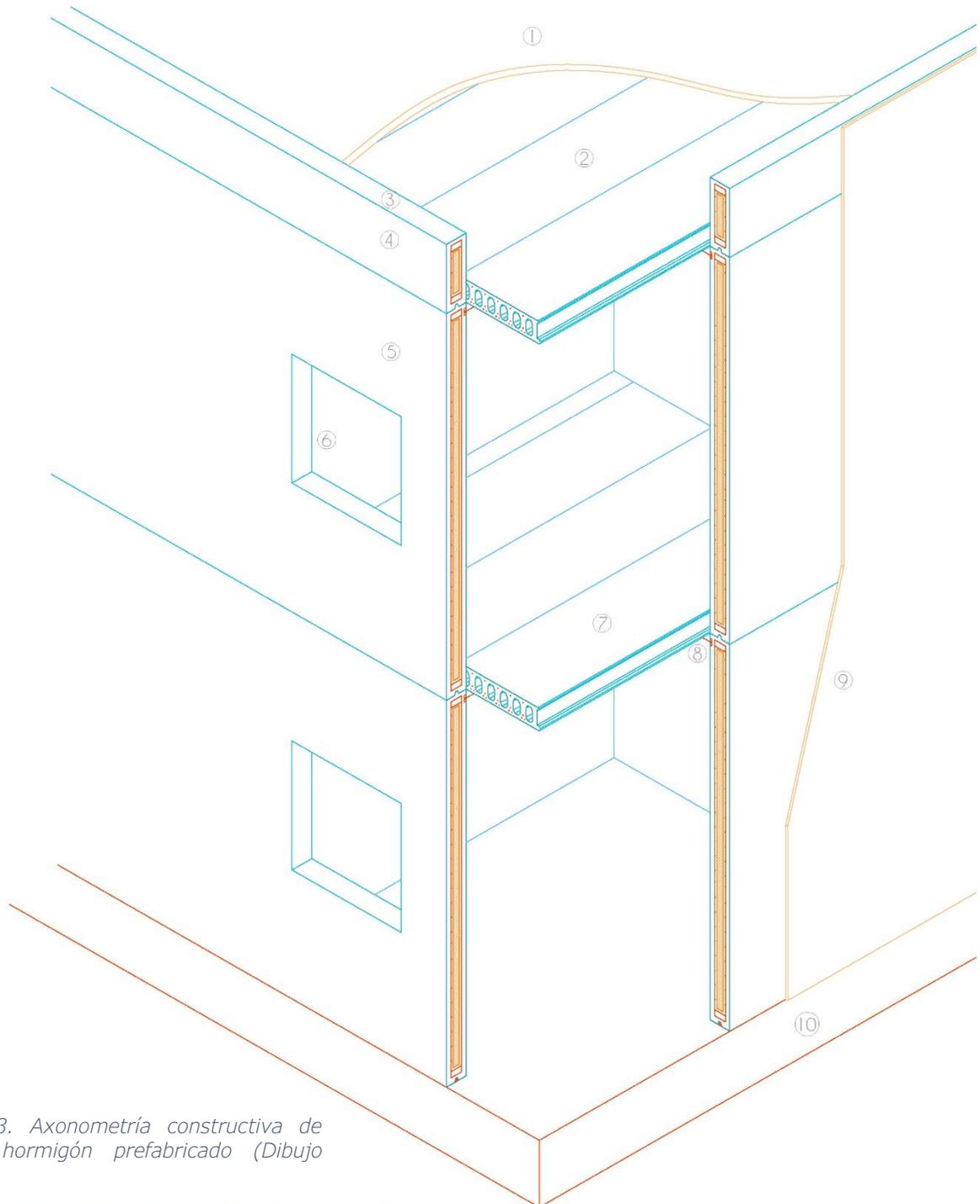


Figura 43. Axonometría constructiva de paneles hormigón prefabricado (Dibujo original)

PANELES DE HORMIGÓN PREFABRICADO

.. 7.3.5. SÁNDWICH

Los paneles Sándwich son productos prefabricados formados por un alma de un material aislante entre dos capas del material visto. Este material de recubrimiento puede ser de madera, metálico, cartón yeso, etc. Según las necesidades tanto estéticas como técnicas, existen distintas variantes de un mismo sistema.

Este tipo de paneles son un caso especial de la arquitectura prefabricada con paneles pues, habitualmente no son portantes por lo que requieren una estructura auxiliar. Aun así, siguen teniendo un alto grado de prefabricación. Se usan mayoritariamente en la ejecución de cubiertas, pero su uso está también extendido a las fachadas.

En el caso de los paneles Sándwich de madera, están formados por el aislante entre dos o más laminas derivadas de la madera. Suelen incorporar distintos tratamientos contra la humedad, acabados y/o refuerzos, generando una amplia variedad de productos. Muchas empresas diferencian los acabados según si es la cara interna o la externa del muro, usando placas de yeso laminado en el interior y tablero de OSB protegido por chapa, entablado de maderas o enfoscado, en el exterior. (ARRIAGA, 2001)

En el mercado podemos encontrar también paneles sándwich con un acabado metálico, con una aplicación más generalizada. Existen distintos metales usados para ello: el aluminio, el acero, aluminio-acero, acero inoxidable, cobre, zinc, aleaciones de distintos metales, etc. (RODRÍGUEZ, 2006)

El panel metálico más usado es el de aluminio. En este caso el alma está formada por un núcleo de polietileno o de un compuesto mineral. Las caras de aluminio pueden ser lisas, perforadas, con un recubrimiento polimérico, etc. Además, deben tratarse para evitar problemas derivados del paso del tiempo a la intemperie, así como evitar el contacto con materiales que pudieran acelerar su deterioro. Por otro lado, en el caso de que los paneles sean pintados o barnizados, el recubrimiento usado debe ser lo suficientemente resistente a los movimientos de la placa. (RODRÍGUEZ, 2006)



Figura 44. Panel Sándwich con acabado de madera y aislante de poliestireno extruido (Laripan, 2018)



Figura 45. Panel Sándwich con acabado en acero lacado y aislante de poliuretano (PanelSandwich, 2020)



Figura 46. Panel Sándwich ecológico con acabado de cartón-yeso y aislante de conglomerado de corcho expandido (Caliplac, 2020)

Aunque mayoritariamente los paneles sándwich requieren una estructura horizontal y vertical adicional, en ocasiones podemos encontrar paneles sándwich portantes para edificaciones de poca altura. Esto ocurre cuando se colocan bastidores de madera incorporados en el propio panel, además del material aislante. Con este sistema se evitaría tener que colocar montantes para sostener los paneles sándwich y, si el edificio no es muy alto, incluso hacer función de estructura de este. (ARRIAGA, 2001)

Para la unión entre los distintos paneles existen diversas metodologías: machihembrado, unión por anclajes, clavos, roscas, etc. Mayoritariamente se trata de juntas secas que hay que tratar posteriormente para evitar infiltraciones y humedades. Existen diversos tipos ampliamente estudiados y aplicados: la junta impermeable abierta, la junta impermeable cerrada y la junta abierta permeable. (RODRÍGUEZ, 2006)

En el caso de los paneles sándwich metálicos, es muy importante tanto la junta como la unión entre las capas de un mismo panel. Esto se debe a que, si la capa exterior de aluminio está en contacto con la capa interior, se crea un puente térmico que podría dar problemas técnicos (RODRÍGUEZ, 2006)

Hoy en día existen en el mercado paneles sándwich altamente reciclables o incluso fabricados con materiales reciclados, tanto su aislamiento térmico como sus caras exteriores. En ciertas empresas se trata de sustituir el polietileno que forma la capa aislante por otros materiales más respetuosos con el medioambiente como el corcho, papel reciclado, fibra de madera, entre otros. (CONSTRUIBLE, 2017)

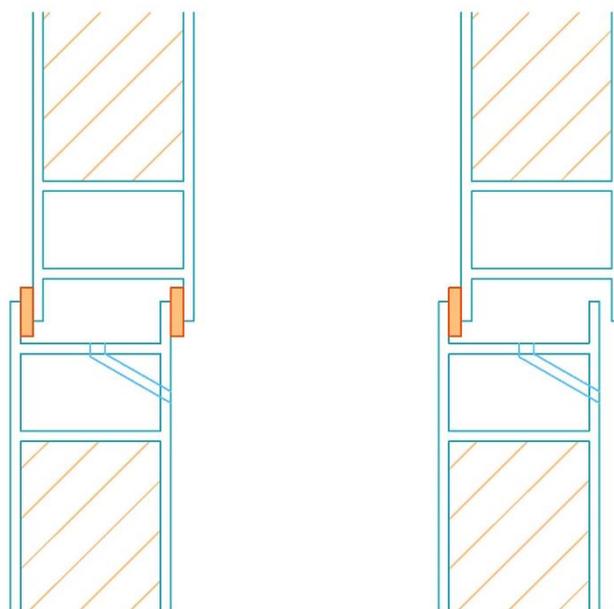


Figura 47. Junta impermeable cerrada y junta impermeable abierta (Rodríguez, 1996)

1. CAPAS DE PROTECCIÓN E IMPERMEABILIZACIÓN DE LA CUBIERTA
2. PANEL SÁNDWICH CUBIERTA
3. ALBARDILLA METÁLICA
4. FALSO TECHO
5. PANEL SÁNDWICH CON JUNTA IMPERMEABLE
6. PANEL ESPECIAL PARA VANOS
7. FORJADO CONVENCIONAL
8. CANAL DE SUJECIÓN DE LOS PANELES
9. ACABADO OPCIONAL DE LOS PANELES
10. TRAVESAÑO DE LA ESTRUCTURA AUXILIAR
11. MONTANTE DE LA ESTRUCTURA AUXILIAR
12. CANAL DE APOYO DE LOS PANELES
13. LOSA DE CIMENTACIÓN

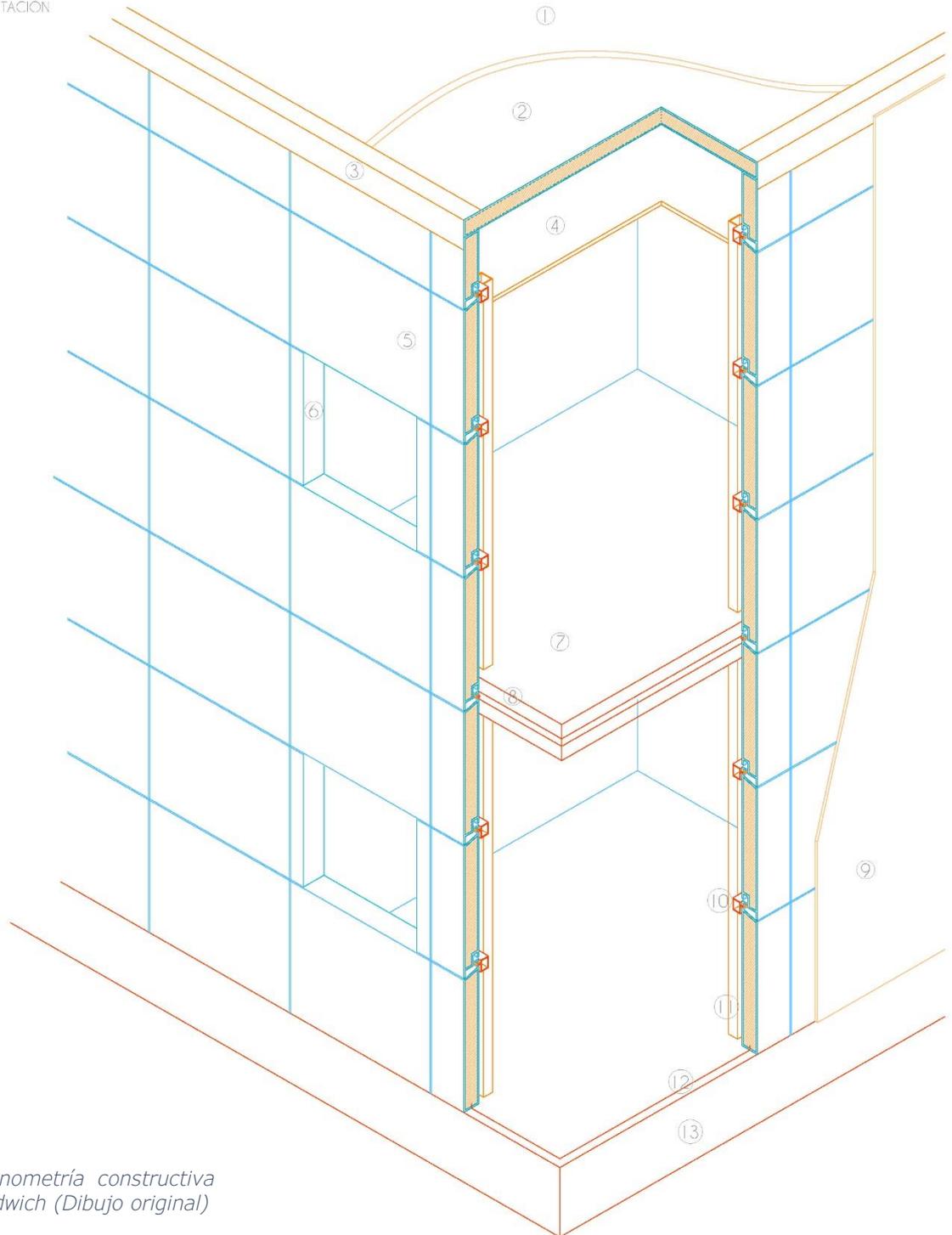


Figura 48. Axonometría constructiva de paneles Sándwich (Dibujo original)

PANELES SÁNDWICH

7.4. COMPONENTES 3D ...

Cuando se habla de componentes 3D está referido a módulos completos de la vivienda ejecutados en el taller. Se trata de cajas o secciones que se trasladaran a la obra donde se ensamblaran. Hay que tener en cuenta las limitaciones de los transportes, pues tanto las dimensiones como el peso son limitadas. (SAIZ, 2015)

La construcción por componentes se entiende cuando se realiza una edificación mediante módulos casi terminados: acabados, instalaciones, muros, forjados, carpinterías, etc. que se generan en una fábrica para ser trasladados posteriormente a la obra. Se reducen al mínimo los trabajos en el lugar, quedando solo las uniones y las conexiones a los servicios. En ocasiones pueden incorporar elementos más complejos incorporados en estos módulos como podrían ser escaleras. (LÓPEZ VIDAL, 2017)

La elección de cómo se subdivide la vivienda está relacionada más con el transporte y su fabricación que con la propia vivienda. Aunque, a veces, se opta por elegir los módulos siguiendo los usos y funciones de cada espacio: baño, cocina, dormitorio, etc. A estos módulos se les llama bloques técnicos y pueden incorporar las instalaciones de fontanería y electricidad, el mobiliario, los sanitarios, los electrodomésticos... Es decir, venir totalmente terminados de fábrica. (LÓPEZ VIDAL, 2017)

Una de las ventajas que aporta este sistema por módulos es la posibilidad de dejar conexiones para anexionar otro módulo en el futuro, ampliando la vivienda. Estos crecimientos pueden ser tanto en horizontal como en vertical. (LÓPEZ VIDAL, 2017)

Cabe destacar que, aunque el proceso puede parecer muy industrializado, este puede ser altamente artesanal, pero realizándose en el taller. De la misma forma, cada vivienda puede ser personalizada en un grado muy elevado, siempre que los componentes elegidos puedan combinarse debidamente. (SAIZ, 2015)

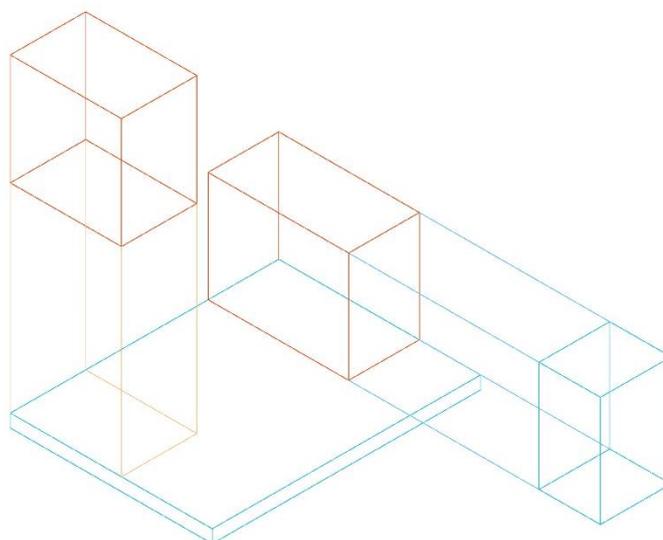


Figura 49. Para este sistema se unen módulos de distintos usos a una base de cimentación. (Dibujo original)

La construcción mediante módulos tridimensionales recuerda a la construcción de barcos, coches o aviones, ya que estos unen piezas de diferentes dimensiones que, finalmente, generaran un elemento completo. (SAIZ, 2015)

Generalmente, estos módulos 3D son autoportantes, pero deben ser conectados con una estructura mayor cuando la vivienda es de dimensiones importantes. Para su cimentación, se suele recomendar una losa de hormigón armado para hacer tanto de base como de protección. Dicha losa debe estar perfectamente nivelada pues una ligera desviación podría dar grandes problemas a la hora del montaje. (OVACEN, 2015)

Los materiales usados para la construcción modular son el acero, la madera y el hormigón. Cada uno tiene características que se adaptan mejor a unas necesidades que otras, pero al final todo depende de la disponibilidad del material. (CASAS PREFABRICADAS 24, 2017)

La construcción por módulos 3D reduce en gran medida los problemas de las juntas puesto que la mayoría de ellas son ejecutadas en fábrica, con grandes controles de calidad. En obra la ejecución es más simple y rápida, a pesar de que su transporte suele ser más complejo y costoso. (LÓPEZ VIDAL, 2017)

En este sistema, el método de unión, así como los acabados y estructura, dependen en gran medida de la empresa que los distribuya.



Figura 50. Módulo habitacional con 6 caras envolventes. Sale de fábrica totalmente terminado, quedando únicamente en obra la cimentación y las redes de servicios. (Worldmeter, 2017)

7.5. CONSTRUCCIÓN INTEGRADA...

Si se lleva la prefabricación al extremo, se llega a la construcción integrada. En ella, la mayor parte de ejecución se realiza en fábrica y solo se necesita la cimentación y las conexiones de las instalaciones en el emplazamiento final.

Estas viviendas surgen en ocasiones de la necesidad de construir más allá de donde es habitual, alejadas de todo. Es por eso que en ocasiones estos módulos nos pueden recordar a las caravanas o casas móviles, capaces de ser trasladadas de un lugar a otra. La diferencia de la vivienda móvil con la construcción integrada es que, normalmente, una vez ubicadas en un lugar este se vuelve su emplazamiento definitivo. (SAIZ, 2015)

Con esta modalidad, todo viene integrado de taller, incluso el mobiliario, reduciendo los tiempos de ejecución en obra. Esto hace que, en ocasiones, se puedan generar este tipo de viviendas mediante una producción en serie, reduciendo costes y tiempos. (SAIZ, 2015)

Este sistema tiene muchas ventajas respecto a los anteriores. Al ser construido totalmente en taller excepto la última fase, los problemas por los inconvenientes meteorológicos se reducen considerablemente. Debido a que se hace todo en fábrica, se reduce en gran medida la contaminación ya que todo está concentrado en un mismo lugar. Por otro lado, disminuyen los peligros laborales al ser un ambiente mucho más controlado. (OVACEN, 2015)

Hay que tener en cuenta que, debido a la necesidad de transporte del elemento, no se pueden desplazar módulos íntegros de más de 50 m². Esto genera problemas en cuanto se tienen que desplazar viviendas de gran tamaño por lo que se suele optar en subdividir las. El coste de transporte en este tipo de construcción es elevado pues se requiere un gran volumen para poco peso. (LÓPEZ VIDAL, 2017)



Figura 51. Vivienda Fred en proceso de fabricación. Se termina en fábrica para ser trasladada a obra. (Ignacio Martínez, 2001)

El sistema de viviendas modulares prefabricadas funciona de distintas formas según la empresa. Algunas empresas optan por modelos diseñados cerrados en los que se pueden personalizar algunos detalles mínimos como los acabados. Por otro lado, encontramos aquellas que te permiten crear un diseño desde cero, tal y como si de una vivienda de obra tradicional se tratara. (INHAUS, 2020)

Dependiendo de si la vivienda ha sido elegida entre un catálogo de diseños cerrados o es un diseño totalmente prefabricado, hay diferencias. En el caso de tratarse de un modelo prediseñado, se sabe de antemano el precio final que va a tener la vivienda, así como la cimentación, las conexiones y los acabados. En cambio, si se trata de un diseño original, el precio no se sabrá definitivamente hasta el final de la obra. (INHAUS, 2020)

Aunque el proceso constructivo puede variar según la empresa con al que se decida ejecutar la obra, generalmente sigue la misma línea. Se selecciona un terreno y se comprueba que se pueda construir según la normativa del lugar. Se selecciona una empresa que se adapte a las necesidades del cliente. Posteriormente, se selecciona el diseño o modelo, los acabados, las orientaciones, etc. (CASAS NATURA, 2015)

Una vez seleccionada la vivienda, se solicitan los permisos necesarios para la implantación. El técnico calcula tanto la cimentación como las instalaciones necesarias en obra para la colocación. Al mismo tiempo, la vivienda se empieza a construir en fábrica, donde el cliente podrá comprobar y ajustar algunos detalles. Finalmente, se procede al transporte y al ensamblaje de los módulos en su destino final. (CASAS NATURA, 2015)

Para la cimentación de las viviendas modulares se suele optar por una losa de hormigón in-situ armado o bien por vigas continuas, anclando la estructura de los módulos. La cimentación debe ser uniforme y estar nivelada con tal de no generar ningún problema en la implantación de la vivienda. (INHAUS, 2020)



Figura 52. Colocación del módulo de la tercera planta de una vivienda unifamiliar. (CasasNatura, 2019)

Los módulos son autoportantes en la mayoría de casos, ocultando su estructura en los cerramientos. Esto permite una gran libertad en su diseño interior, facilitando las reformas posteriores. Los módulos son apilables, se pueden colocar uno encima de otro. Esto hace que la vivienda se pueda ampliar en un futuro según las necesidades del propietario. (INHAUS, 2020)

Las viviendas producidas mediante este sistema suelen ser estructuras metálicas con cerramientos de panel Sándwich, tanto para fachada como para cubiertas. Por otro lado, sus tabiques interiores se suelen realizar con entramados autoportantes con yeso laminado.

El sistema de construcción modular puede generar desde viviendas mínimas que pueden ser transportadas de una sola pieza a la parcela hasta viviendas de grandes dimensiones o incluso bloques de varias alturas. Para ello, se debe dividir la vivienda en módulos de menores dimensiones. (INHAUS, 2020)

Uno de los puntos a destacar cuando se debe proceder a la selección del tipo de vivienda, así como a la empresa, es dónde tienen sus sedes. Esto ya no es solo por la facilidad del transporte desde la fábrica hasta la parcela. Hay que tener en cuenta que el clima y la meteorología no son las mismas en todo el mundo por lo que una vivienda adaptada a las necesidades de un país nórdico puede no ser la más adecuada para una ciudad del sur de España y viceversa. Es importante, por tanto, informarse y ser asesorado en cuanto a la elección de materiales se refiere.



Figura 53. Colocación de módulo en una vivienda de dos alturas mediante una grúa de camión (Inhaus, 2020)

Un ejemplo de este tipo de viviendas son las del estudio Kaufmann 96 Architektur: Fred y Su-si. Este tipo de viviendas o módulos son construidas por completo en la fábrica, con unos plazos de prefabricación y montaje realmente cortos. En estos casos, la vivienda se construye con un sistema de entramado sobre el que se colocan unos paneles. Y, en el caso de Su-si, se trata de una unidad de habitación extensible. Para la cimentación del tipo Fred, la vivienda se coloca sobre una estructura metálica que la eleva del suelo mientras que en Su-si, se ubica en unos durmientes de hormigón. (ROSSELLÓ, 2001)

Como podemos ver, en las viviendas de construcción integrada existen muchas variables que generan tipos muy distintos ya sea por sus materiales, los propios sistemas, el que sean o no móviles...

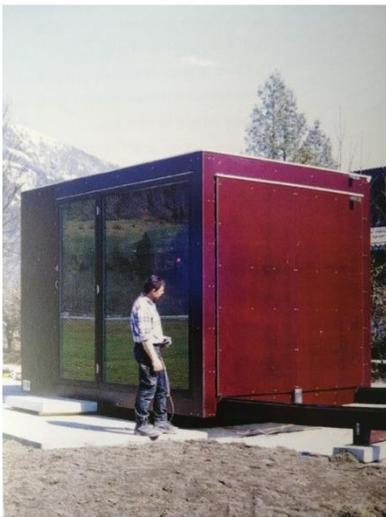


Figura 55. Vivienda extensible modular Su-si implantada en el lugar. (Ignacio Martínez, 2001)



Figura 54. Vivienda Inhaus para Open House Valencia. Ensamble de una vivienda modular en la Plaza del Ayuntamiento de Valencia. Se puede ver el interior de una de las fachadas. (Inhaus, 2019)

8. COMPARATIVA ...

Una vez analizados los sistemas existentes para construir viviendas unifamiliares modulares en la actualidad, se debe hacer un balance de los pros y contras.

Cabe destacar que esto es una comparativa entre los distintos sistemas, es meramente orientativo. De igual manera, no se trata de comparar de forma específica pues las características finales de cada sistema dependen en gran medida de la empresa y el lugar de implantación de la vivienda.

A la hora de elegir cualquiera de estos sistemas, hay que tener en cuenta distintos puntos como pueden ser su facilidad de montaje, el peso, volumen, versatilidad, etc. Por otro lado, se debe tener presente que muchos de los métodos anteriores son complementarios o variaciones de un mismo sistema, por lo que sus características en ciertos puntos serán muy similares.

Los sistemas lineales y de entramados tienen un nivel menor de prefabricación frente a los paneles y las soluciones en tres dimensiones. En cuanto a relación entre el peso y el volumen, estos últimos ocupan más volumen. En cuanto a reciclaje y flexibilidad en planta, todos los sistemas tienen más o menos alto, siendo uno de los puntos menos determinantes. En la relación entre el tiempo en fábrica frente al tiempo en obra, mientras los elementos lineales requieren de más tiempo de montaje en la obra, los componentes de mayores tamaños permiten una mayor prefabricación en fábrica. Todos los sistemas requieren operarios cualificados para el montaje, pero algunos resultan más sencillos, facilitando el proceso.

Con el fin de que las propiedades diferenciadoras se entiendan de manera más sencilla, se ha elaborado una tabla comparativa entre los distintos tipos mencionados anteriormente. Se ha usado un sistema de colores: el azul oscuro representa un grado alto, el gris un grado medio y el naranja un grado bajo.

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

.... 9. CONCLUSIONES

Tras realizar un análisis de los distintos tipos actuales de construcción prefabricada en viviendas unifamiliares, podemos observar que existe una gran variedad, siendo la mayoría de gran calidad. Gracias a la industria y a los avances tecnológicos que se tienen hoy en día, la arquitectura modular ha avanzado a pasos agigantados permitiendo gran libertad y rapidez en su diseño y montaje.

Uno de los mayores problemas a los que se enfrentaba un arquitecto cuando se disponía a realizar una vivienda usando cualquiera de estos sistemas era la escasez de empresas, así como la rigidez en el diseño. Pero como se ha podido observar en el desarrollo del trabajo, esto ya no es un problema real debido a las nuevas maquinarias y sistemas de módulos menores y adaptables a las necesidades.

Otro de los inconvenientes que presentaba la arquitectura modular era la creencia popular de que se trataba de vivienda de poca calidad comparada con la construcción puramente in-situ. En cambio, dado a que la mayor parte de la obra se realiza en fábrica, en un ambiente totalmente controlado y bajo un control mucho más exhaustivo, la construcción prefabricada resulta ser más precisa y de gran calidad.

Construir mediante sistemas modulares es, en su gran mayoría, mucho más veloz, lo que reduce considerablemente el tiempo en obra y, por lo tanto, los inconvenientes que el clima puede suscitar en la construcción. Aunque esto puede llevar a la conclusión de que las viviendas prefabricadas son menos costosas debido a sus tiempos reducidos, esto no siempre es cierto. La variación de precio entre una vivienda tradicional y una modular va a depender más de los materiales y de las características concretas de cada sistema que del tiempo de ejecución en obra.

Por otro lado, se ha podido ver que la utilización de estos sistemas industrializados reduce la huella climática a la hora de la ejecución de una vivienda, así como mejoran las condiciones de trabajo de sus empleados.

Los distintos sistemas son usados en mayor o menor grado dependiendo del lugar que se analice. Es por eso que sistemas como el Platform Frame se usa sobre todo en países con gran industria maderera mientras que en España abundan sistemas de construcción integrada, existiendo gran cantidad de empresas. A la hora de elegir un sistema u otro, se debe atender a las necesidades tanto del futuro usuario como las de lugar.

Con este trabajo se ha podido observar y analizar la gran variedad de sistemas existentes, así como sus ventajas y virtudes respecto a la construcción tradicional. Es por eso que, como se ha visto a lo largo del trabajo, la vivienda modular en sus distintas formas es un sistema de construcción muy usado en la actualidad y con una gran proyección hacia el futuro.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, Javier (2017). "Formas de construir las casas prefabricadas de hormigón". En Prefabricado Seguro, 25 de octubre de 2017. <<http://prefabricadoseguro.com/formas-de-construir-las-casas-prefabricadas-de-hormigon/>> [Consulta: 16 de julio de 2020]
- Andece (2019) *Estructuras prefabricadas de hormigón. Guía técnica de Industria prefabricada del hormigón.* <http://www.andece.org/images/BIBLIOTECA/guia_tecnica%20estructuras_%20prefabricadas_hormigon_andece.v1> [Consulta: 14 de julio de 2020]
- Araujo, Ramón. (1997) "Hormigón prefabricado y construcción en altura" en Tectónica. Hormigón (II). Número 5: Prefabricado. Madrid: ATC Ediciones. p. 4-14
- Arqhys. (2012) *Ballon Frame.* <<https://www.arqhys.com/articulos/balloon-frame.html>>
- Arquine (2019). *Charles Babbage sobre el Crystal Palace.* En Arquine, 6 de agosto de 2019. <<https://www.arquine.com/charles-babbage-sobre-el-crystal-palace/>> [Consulta: 15 de junio de 2020]
- Arquima (2019). "Por qué la madera juega un papel fundamental en la transformación de comunidades". En Arquima, 1 de agosto de 2019. <<https://www.arquima.net/por-que-la-madera-juega-un-papel-fundamental-en-la-transformacion-de-comunidades/>> [Consulta: 17 de julio de 2020]
- Arquima (2018) "Preguntas más frecuentes a Arquima". En Arquima, 4 de septiembre de 2018. <<https://www.arquima.net/preguntas-mas-frecuentes-a-arquima/>> [Consulta: 17 de julio de 2020]
- Arriaga, Francisco. (2001) "Estructuras de Madera" en Tectónica. Maderas (II). Número 13: Estructuras. Madrid: ATC Ediciones p. 4-28
- Baldwin, J. (1996) *BuckyWorks: Buckminster Fuller's ideas for today.* Nueva York: Wiley
- Bergdoll, B., Christensen, P. y Von Borries, F. (2008). *Home delivery: fabricating the modern dwelling.* Nueva York: The Museum of Modern Art.
- Casas Natura (2015). *Proceso de construcción de una casa de madera.* <<https://www.casasnatura.com/proceso-construccion-de-una-casa-de-madera/>> [Consulta: 19 de julio de 2020]
- Casas Prefabricadas 24 (2017). *Casas prefabricadas.* <<https://www.casasprefabricadas24.com/>> [Consulta: 17 de julio de 2020]

- Castañeda, E., Lauret, B., Ovando, G., Lirola, J.M. (2018) "Nuevos métodos de fabricación digital de paneles de GRC de forma libre", *Informes de la Construcción*, vol. 70, no. 551.
- Construible (2017) "Nuevo Panel Sándwich ONDUTHERM con aislamiento ecológico de Fibra de Madera" En *Construible*, 26 de agosto de 2017. <<https://www.construible.es/2017/09/26/nuevo-panel-sandwich-ondutherm-aislamiento-ecologico-fibra-madera>> [Consulta: 16 de julio de 2020]
- ConsulSteel (2013). *Construcción con aceros livianos: Vanos*. <<http://consulsteel.com/vanos/>> [Consulta: 13 de julio de 2020]
- Crespo, Juan Miguel (2020) "¿Qué son las casas prefabricadas modulares?" En *Prefabricadas10*, 27 de abril 2020. <<https://www.prefabricadas10.com/modulares/>> [Consulta: 17 de julio de 2020]
- De Máquinas y Herramientas. (2019) *¿Qué es el Steel Framing? Una guía para saber de qué se trata*. <<https://www.demaquinasyherramientas.com/maquinas/que-es-el-steel-framing>> [Consulta: 6 de mayo de 2020]
- Escobedo, Mireya. (2012). "Sistema Constructivo." En *Urban Craft*, 13 de noviembre de 2012. <<https://urbancraftuah.wordpress.com/2012/11/13/sistema-constructivo/>> [Consulta: 6 de julio de 2020]
- Extock Panel (2017). *Panel Sandwich Fachada. Fijaciones ocultas*. <<https://panelsandwichmadrid.es/productos/panel-sandwich/panel-sandwich-fachada/>> [Consulta: 23 de julio de 2020]
- Fisac, Miguel. (1997) "Durable-traccionable" en *Tectónica. Hormigón (II)*. Número 5: Prefabricado. Madrid: ATC Ediciones. p. 2-4
- Fracalossi, Igor. (2013) *Clásicos de Arquitectura: La Casa Dymaxion/ Buckminster Fuller*. En *Plataforma Arquitectura*, 27 de agosto de 2013. <<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-288162/clasicos-de-arquitectura-la-casa-dymaxion-buckminster-fuller>> [Consulta: 20 de junio de 2020]
- Giedion, S. (2009). *Espacio, tiempo y arquitectura (Edición definitiva): Origen y desarrollo de una nueva tradición*. Barcelona: Reverté.
- Grohe, Gerd. (2001) "El futuro de la construcción con madera" en *Tectónica. Maderas (II)*. Número 13: Estructuras. Madrid: ATC Ediciones p. 28-38
- Inat Trigueros, Santiago. (2011) *Sistema de Plataforma con entramado ligero de madera. Puesta en Obra y aceptación en España*. Trabajo Final de Máster. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya

- Inhaus (2020). *Construcción de casas*.
<<https://casasinhaus.com/construccion-casas/>>
[Consulta: 18 de julio de 2020]
- Inhaus (2020). *Casas modulares a medida. inHAUS On Demand*. <<https://casasinhaus.com/casas-modulares-a-medida/>> [Consulta: 18 de julio de 2020]
- Inhaus (2020). *Casas InHaus. Memoria de calidades*.
<https://casasinhaus.com/wp-content/uploads/2020/06/Casas-inHAUS_Memoria_de_Calidades.pdf> [Consulta: 19 de julio de 2020]
- Insuma Sur (2020). *Perfiles para Steel Framing (Viviendas)*
<<https://www.insumasur.com/perfiles/perfiles-steel-framing/>> [Consulta: 9 de julio de 2020]
- Jurado Egea, José (2009). "El bloque con esqueleto de acero" en *Tectónica. Acero (II)*. Número 29: Estructuras Apiladas. Madrid: ATC Ediciones p. 4-30
- Kelly, B. (1951) *The Prefabrication of Houses*. Cambridge: Mass Technology Press
- Kieran y Timberlake. KieranTimberlake.
<<https://kierantimberlake.com/posts/view/320>>
[Consulta: 10 de abril de 2020]
- Lantigua De La Cruz, S. (2014) *Prefabricación ligera por paneles enfocados en la vivienda*. Trabajo de Fin de Máster. Valencia: Universitat Politècnica de València.
<<https://riunet.upv.es/handle/10251/49728>>
[Consulta: 30 de abril de 2020]
- Lignatur. (2020) *One Idea, One System, One Team*.
<<https://www.lignatur.ch/en/product/lignatur-element/>> [Consulta: 14 de julio de 2020]
- López Vidal, Alejandro (2017) "Construcción modular en hormigón: una tendencia al alza". En *Revista Técnica Cemento Hormigón*, Mayo-Junio 2017. Número 980. Andece
- Lurdes (2018). "Componentes prefabricados de hormigón para viviendas modulares". En *De Casas Prefabricadas*, 2018.
<<https://casasprefabricadasya.com/componentes-prefabricados-de-hormigon-para-viviendas-modulares/>> [Consulta: 15 de julio de 2020]
- Madera y Construcción. (2015) *Sistema de construcción Platform Frame: la evolución del Ballon Frame*
<<http://maderayconstruccion.com.ar/sistema-de-construccion-platform-frame-la-evolucion-del-ballon-frame/>> [Consulta: 16 de abril de 2020]
- Maderame. (2020). *Construcción con Paneles o Madera Contralaminada (CLT)*
<<https://maderame.com/paneles-madera-contralaminada/>> [Consulta: 15 de julio de 2020]

- Ovacen (2015). *Casas prefabricadas y modulares*. <<https://ovacen.com/casas-prefabricadas-y-modulares/>> [Consulta: 17 de julio de 2020]
- Patón, Vicente. (1996) "El nacimiento de una técnica" en *Tectónica. Envolvertes (II)*. Número 2: Cerramientos pesados: aplacados y paneles. Madrid: ATC Ediciones p. 4-12
- Patón, Vicente. (1996) "Una historia superficial" en *Tectónica. Envolvertes (I)*. Número 1: Fachadas ligeras. Madrid: ATC Ediciones p. 4-10
- Quintáns, Carlos. (1996) "Cerramientos pesados" en *Tectónica. Envolvertes (II)*. Número 2: Cerramientos pesados: aplacados y paneles. Madrid: ATC Ediciones p. 12-28
- Rodríguez Cheda, José Benito (2006) "El aluminio en la construcción" en *Tectónica. Aluminio*. Número 22. Madrid: ATC Ediciones p. 4-24
- Roselló, Graciela (2001). "Viviendas transportables Fred y SuSi: Kaufmann 96 Architektur" en *Tectónica. Madera (II)*. Número 13: Estructuras. Madrid: ATC
- Saiz Sánchez, P. (2015) *La casa industrializada. Seis propuestas para este milenio*. Tesis. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid
- Simon, K. (2017). *Structural Insulated Panels (SIPs)*, en *Whole Building Desing Guide*, 14 de Marzo. <<https://www.wbdg.org/resources/structural-insulated-panels-sips>> [Consulta: 7 de mayo de 2020]
- SIPA (Structural Insulated Panel Association) <<https://www.sips.org/about/what-are-sips>> [Consulta: 16 de abril de 2020]
- Tarrés, Eloy. (2017) "«Casa de la luz» con certificación passivhaus", en *Evowall Technology*, 6 noviembre 2017 <<https://evowall.com/casa-de-la-luz-con-certificacion-passivhaus/>> [Consulta: 15 de julio de 2020]
- Tectónica (2001). *Maderas (II)*. Número 13: Estructuras. Madrid: ATC Ediciones
- Vilssa. (2014) *Construir con paneles de hormigón prefabricado*. <<https://vilssa.com/construir-con-paneles-de-hormigon-prefabricado>> [Consulta: 15 de julio de 2020]
- Wood Solutions. *Structural Insulated Panel Systems (SIPS)* <<https://www.woodsolutions.com.au/applications-products/structural-insulated-panel-systems-sips>> [Consulta: 14 de julio de 2020]

11. ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1. Piezas de Casas Lustron antes de ser ensambladas en obra en Ohio. (Newman, A. 1949)	6
Figura 2. Viviendas nómadas de pieles y cañas en el campamento Piegan. (Curtis. E. 1890).....	7
Figura 3. Casa Wichita, en Kansas. Uno de los prototipos de la Dymaxion de Buckminster Fuller. (1944)	8
Figura 4. Vista general de la construcción del Crystal Palace de Paxton para The Great Exhibition de 1851. Estructura prefabricada de acero. (London Illustrated News, 1850)	9
Figura 5. Hombres trabajando en la vivienda con Balloon Frame en Nebraska (1877).....	11
Figura 6. Capas del cerramiento en el sistema Balloon Frame (Dibujo original)	12
Figura 8. Sección constructiva sistema Balloon Frame. (Dibujo original).....	13
Figura 7. Axonometría constructiva Balloon Frame (Dibujo original).....	14
Figura 9. Vivienda unifamiliar ejecutada con sistema Platform Frame (Madera y construcción, 2016).....	15
Figura 10. Proceso constructivo del Platform Frame. (Inat Trigueros, S. 2011)	16
Figura 11. Sección constructiva sistema Platform Frame (Dibujo original)	16
Figura 12. Axonometría constructiva Platform Frame (Dibujo original).....	17
Figura 13. Montaje de una vivienda mediante entramado de madera con paneles y carpinterías incorporados en fábrica. (Cubel, 2017)	18
Figura 14. Envolvente con acabado de madera de alerce y entramado de madera de abeto (Arquima, 2017)	19
Figura 15. Forjado entrepisos con terminación en parqué y estructura de madera de abeto (Arquima, 2017).....	19
Figura 16. Colocación de un entramado con panel incorporado en obra mediante una grúa. El traslado se hace directamente desde el camión, sin necesidad de descargarlo previamente (Arquima, 2018).....	19
Figura 17. Sistema Steel Frame en una vivienda unifamiliar (Insuma Sur, 2018).....	20
Figura 18. Detalle de construcción de un vano en un sistema Steel Frame (ConsulSteel, 2013)	21
Figura 19. Axonometría constructiva Steel Frame (Dibujo original).....	22

Figura 20. Estructura prefabricada de acero (The constructor, 2018)	23
Figura 21. Estructura prefabricada de madera (Patringenaru, 2017)	23
Figura 22. Estructura prefabricada de hormigón (Zenet, 2018)	23
Figura 23. Axonometría constructiva sistema viga-pilar de acero (Dibujo original).....	24
Figura 24. Ejemplos de las uniones entre viga y pilar (Dibujo original)	24
Figura 25. Axonometría constructiva sistema viga-pilar de madera (Dibujo original)	25
Figura 26. Encuentro entre una viga y un pilar de madera (Dibujo original).....	25
Figura 27. Encuentro entre una viga y un pilar de hormigón prefabricado. (Dibujo original).....	26
Figura 28. Axonometría constructiva sistema viga-pilar de hormigón prefabricado (Dibujo original)	26
Figura 29. Montaje de paneles de la Casa de Cobre, Casas que crecen, en Berlín (Gropius, 1931)	27
Figura 30. Vivienda construida mediante paneles SIP. (SipSchool, 2011).....	28
Figura 31. Juntas de los paneles SIP mediante distintos sistemas: placas de OSB, panel SIP de menor espesor y listón de madera (Dibujo original).....	29
Figura 32. Axonometría constructiva de paneles SIP (Dibujo original)	30
Figura 33. Vivienda ejecutada con paneles y placas de madera mediante el sistema Lignatur. (Lignatur, 2005).....	31
Figura 34. Ejemplo de panel de forjado y panel de cerramiento de la empresa Lignatur y Lignotrend (Dibujo original)32	
Figura 35. Construcción mediante paneles CLT (EstudioK, 2013)	33
Figura 36. Paneles de madera contralaminada. Se puede observar el cambio de dirección de las fibras (FoB, 2019)	33
Figura 37. Axonometría constructiva de paneles de madera contralaminada (Dibujo original)	34
Figura 38. Colocación de un panel de hormigón prefabricado con hueco y carpintería. (Tarrés, 2017)	35
Figura 39. Encaje entre dos paneles de hormigón prefabricado (Tarrés, 2017).....	35

Figura 40. Ejemplos de juntas entre paneles de hormigón prefabricado con aislante y placas alveolares (Dibujo original)	36
Figura 41. Elementos del sistema. Placa alveolar de hormigón prefabricado en la izquierda y placa de hormigón prefabricado armado y con aislante térmico a la derecha. (Dibujo original).....	37
Figura 42. Axonometría constructiva de paneles hormigón prefabricado (Dibujo original)	38
Figura 43. Panel Sándwich con acabado de madera y aislante de poliestireno extruido (Laripan, 2018)	39
Figura 44. Panel Sándwich con acabado en acero lacado y aislante de poliuretano (PanelSandwich, 2020)	39
Figura 45. Panel Sándwich ecológico con acabado de cartón-yeso y aislante de conglomerado de corcho expandido (Caliplac, 2020).....	39
Figura 46. Junta impermeable cerrada y junta impermeable abierta (Rodríguez, 1996).....	40
Figura 47. Axonometría constructiva de paneles Sándwich (Dibujo original)	41
Figura 48. Para este sistema se unen módulos de distintos usos a una base de cimentación. (Dibujo original)	42
Figura 49. Módulo habitacional con 6 caras envolventes. Sale de fábrica totalmente terminado, quedando únicamente en obra la cimentación y las redes de servicios. (Worldmetor, 2017).....	43
Figura 50. Vivienda Fred en proceso de fabricación. Se termina en fábrica para ser trasladada a obra. (Ignacio Martínez, 2001)	44
Figura 51. Colocación del módulo de la tercera planta de una vivienda unifamiliar. (CasasNatura, 2019).....	45
Figura 52. Colocación de módulo en una vivienda de dos alturas mediante una grúa de camión (Inhaus, 2020)	46
Figura 53. Vivienda extensible modular Su-si implantada en el lugar. (Ignacio Martínez, 2001).....	47
Figura 54. Vivienda Inhaus para Open House Valencia. Ensamble de una vivienda modular en la Plaza del Ayuntamiento de Valencia. Se puede ver el interior de una de las fachadas. (Inhaus, 2019)	47
Figura 55. Objetivos de Desarrollo Sostenible integrados en este trabajo (Naciones Unidas, 2015)	5

**ANÁLISIS CONSTRUCTIVO DE
LA ARQUITECTURA MODULAR
ACTUAL DESTINADA A
VIVIENDAS UNIFAMILIARES**