

# HABITAR EN MADERA

Guía para la construcción en  
madera de alojamientos dotacionales

JOSE MIGUEL RICO-MARTINEZ  
FRANCISCO GONZALEZ QUINTIAL  
IÑAKI DEL PRIM GRACIA

erriaren Erakundeak elkarrekin



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea









«We may use Wood with intelligence only if we understand it»

Frank Lloyd Wright





# HABITAR EN MADERA

Guía para la construcción en madera de alojamientos dotacionales

Editores:

RICO-MARTINEZ, JOSE MIGUEL

GONZALEZ-QUINTIAL, FRANCISCO

DEL PRIM GRACIA, IÑAKI

eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

CIP. Biblioteca Universitaria

**Habitar** en madera [Recurso electrónico]: guía para la construcción en madera de alojamientos dotacionales / editores, José Miguel Rico-Martínez, Francisco González Quintal, Iñaki del Prim Gracia. – [Leioa] : Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, Argitalpen Zerbitzua = Servicio Editorial, [2022]. – 1 recurso en línea: PDF (231 p.). – (Ikertuz)

En port.: Eusko Jaurlaritzza = Gobierno Vasco, y Escuela Técnica Superior de Arquitectura, UPV/EHU.

Modo de acceso: World Wide Web.

ISBN: 978-84-1319-494-3.

1. Construcción en madera. 2. Viviendas – Construcción – País Vasco. 3. Arquitectura sostenible.

I. Rico Martínez, José Miguel, ed. II. González-Quintal, Francisco, ed. III. Prim Gracia, Ignacio del, ed.

(0.034)728.1:694

(0.034)694:728.1



MASTER EN ESTRUCTURAS,  
CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO  
EN MADERA



ARKITEKTURA  
GOI ESKOLA  
TEKNIKOA  
ESCUELA  
TÉCNICA SUPERIOR  
DE ARQUITECTURA

Autoras/es:

DEL PRIM GRACIA, IÑAKI

RICO-MARTÍNEZ, JOSE MIGUEL

GONZALEZ-QUINTIAL, FRANCISCO

GOIKOETXEA BURGOA, IÑAKI

MARTINEZ DE GOÑI MENTXAKA, UXUE

Colaboradores:

ERAÑA AZCONBIETA, ASIER

MAHORTUA GAMINDE, ALEJANDRO

LÓPEZ TEJADA, JULEN

Diseño y Maquetación:

MARTINEZ DE GOÑI MENTXAKA, UXUE

Imagen de portada / Azalaren argazkia: Iñaki Del Prim Gracia

© Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco  
Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzua  
ISBN: 978-84-1319-494-3



## AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Planificación Territorial, Vivienda y Transportes del Gobierno Vasco y la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la UPV/EHU por su impulso y apoyo.

A Josu Benito Ayucar y Maite Crespo de Antonio por sus aportaciones y la revisión de esta publicación.

A Pablo García Astrain por su aportación del prólogo.

A Lorena Rodríguez Villalba por su implicación en las fases iniciales del trabajo.

A Pol Massoni, Franco Piva, Carmelo Fernández Militino, Augusto Terrero Martínez, Nuria Altuna Jauregi, Julen Pérez Santisteban, Pere Linares, Pablo Tarín, Santiago Sánchez Salinas, Pedro Artolozaga Bengoetxea, Aitor Fernández Oneka, Sandra Gorostiza, Maite Apezteguia, por su colaboración en el suministro de información sobre los proyectos incluidos en esta publicación.

A las empresas Egoin, Rothoblaas, Lacol Arquitectura Cooperativa, Ergodomus Timber Engineering, Euskal TYM, Waugh Thistleton Architects, House Habitat, Degree of Freedom, Casa-Vita, TGA Arquitectos, Apezteguia Architects, por su colaboración.



# PRÓLOGO

Los alojamientos dotacionales son una tipología de solución habitacional novedosa y todavía poco conocida tanto por la ciudadanía como por el colectivo profesional. La primera promoción de alojamientos dotacionales en Euskadi data tan solo de la primera década del presente siglo.

Los edificios que albergan alojamientos dotacionales son edificios para vivir, pero entendidos y conceptualizados como equipamiento (dotación) o infraestructura, y no se consideran estrictamente de uso residencial. La Ley 2/2006, de 30 de junio, de Suelo y Urbanismo consagra jurídicamente en Euskadi esta figura. Por otro lado, los distintos Planes Directores de Vivienda elaborados desde la Vice consejería de Vivienda del Gobierno Vasco vienen apostando por esta figura de forma constante en los últimos años.

Las promociones de alojamientos dotacionales albergan en general apartamentos de tamaño reducido, en torno a 40-45m<sup>2</sup> y por su condición de equipamiento que impide prolongar su disfrute más allá de 5 años no prorrogables, son por tanto de uso rotativo y compartido en el tiempo. Esta circunstancia los convierte en la figura idónea para la emancipación de la población más joven. El ideal imaginado para los alojamientos dotacionales incluye como complemento de las unidades propiamente destinadas a alojamiento, la posibilidad de completar el edificio con servicios comunes

Existen 662 unidades de alojamientos dotacionales de promoción autonómica repartidos en 11 promociones, a lo largo y ancho de la geografía vasca, a los que habría que añadir algunas promociones municipales, fundamentalmente ubicadas en Bilbao y San Sebastián. En la actualidad contamos, además con más de 1380 alojamientos en distintas fases de desarrollo, en fase de gestión de suelo, en redacción de proyectos o en obra a través de más de 20 promociones.

Por otro lado, la construcción avanzada de edificios en madera en nuestra comunidad, pese a contar con un tejido productivo puntero, sigue siendo algo de carácter puntual y hasta inédito en lo que a alojamientos dotacionales se refiere. Sin embargo, con el precedente de la 65 Viviendas Protegidas en Alquiler promovidas por la sociedad pública VISESA en Hondarribia en el año 2018, se ha abierto claramente la puerta al uso de la madera estructural en la edificación, de hecho, desde la Dirección de Vivienda, Suelo y Arquitectura ya se está trabajando en varias promociones de viviendas y también de alojamientos dotacionales en madera de próxima licitación y construcción.

La versatilidad que aporta el tamaño reducido de las unidades de alojamiento, y su alta 'replicabilidad' hace de esta tipología de edificios una herramienta más flexible y dúctil para la construcción industrializada en madera que constituye sin duda un nuevo paradigma de eficiencia y sostenibilidad en el sector de la construcción. La digitalización de los procesos constructivos coadyuvará sin duda también en la implantación de este tipo de promociones. A nadie se escapa que la fabricación en planta, la obra seca y el montaje rápido es una trilogía que hace de los sistemas constructivos avanzados en madera una línea de futuro para el sector de la construcción de Euskadi. Por todo ello, podemos decir que la apuesta por alojamientos dotacionales construidos en madera es una línea de futuro.

Para ayudar a su generalización, la elaboración de sistemas, metodologías y guías como la presente, fruto de la colaboración entre el Departamento de Planificación Territorial, Vivienda y Transportes y la Universidad del País Vasco, constituyen una aportación crucial e indispensable que no puedo sino celebrar.

**Pablo García Astrain**

- Director de Vivienda, Suelo y Arquitectura •  
Gobierno Vasco





Fig. 1



## 1 INTRODUCCIÓN pág. 13

- Madera, Sostenibilidad y Cambio Climático
- Construcción en taller, CNC e Industrialización-Velocidad de construcción y su repercusión en obra
- Edificios de consumo casi nulo en madera - Envoltente pasiva vs. Sistema estructura
- Salud y bienestar, calidad del aire interior
- Propiedades estructurales de la madera y productos de ingeniería de la madera
- Trasmisión de cargas
- Seguridad ante el fuego
- Comportamiento acústico
- Comportamiento térmico, hermeticidad y difusión de vapor - Requerimientos higrotérmicos para los edificios de consumo casi nulo construidos en madera

## 2 ANÁLISIS TIPOLOGICO pág. 55

Introducción

Vitoria - Gasteiz / Lakuabizkarra • Eibar / Egazelaia • Gemika / Sector Santa Lucía • Getxo / Área Korfiñe • Bilbao / Txurdinaga • Irun / Oinurre • Errenteria / Arramendi • Bilbao / Arangoiti • Gasteiz / Portal de Arriaga

Conclusión

## 3 CASOS DE ÉXITO pág. 97

Introducción

Hondarribia (España) • Módena (Italia) • Barcelona - La Borda (España) • Dalston (Reino Unido) • Barcelona - Gracia (España) • Aubervilliers (Francia) • Lørenskog (Noruega) • Biel (Suiza)

## 4 PREDIMENSIONADO CLT pág. 183

Introducción

- Predimensionado de forjado biapoyado y triapoyado
- Predimensionado de cubierta biapoyada y triapoyada
- Predimensionado de muro biapoyado
- Predimensionado de forjado en voladizo
- Predimensionado de vigas biapoyadas CLT-90 y CLT-120

## 5 MODELADOR PARAMÉTRICO pág. 195

Introducción (Descripción del Proceso) • Resultado

## 6 CONCLUSIONES pág. 207

Conclusiones generales

## 7 CHECKLIST pág. 219

Introducción • Propiedades del material • Cálculo • Durabilidad • Otros aspectos • Documentación gráfica

## 8 ANEXO pág. 225

Autoría de Imágenes • Índice de Normativa • Bibliografía General



Fig. 2





# INTRODUCCIÓN

- Madera, Sostenibilidad y Cambio Climático
- Construcción en taller, CNC e Industrialización  
- Velocidad de construcción y su repercusión en obra
- Edificios de consumo casi nulo en madera  
- Envoltente pasiva vs. Sistema estructura
- Salud y bienestar, calidad del aire interior
- Propiedades estructurales de la madera y productos de ingeniería de la madera
- Trasmisión de cargas
- Seguridad ante el fuego
- Comportamiento acústico
- Comportamiento térmico, hermeticidad y difusión de vapor - Requerimientos higro-térmicos para los edificios de consumo casi nulo construidos en madera

Autoría del capítulo:  
DEL PRIM GRACIA, IÑAKI  
RICO-MARTINEZ, JOSE MIGUEL  
MARTINEZ DE GOÑI MENTXAKA, UXUE



## MADERA, SOSTENIBILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO

«Estamos viviendo en una Era que va a estar dominada por nuestra relación con el planeta», así describe la coyuntura actual Andrew Waugh, fundador del estudio Waugh Thistleton Architects (Londres). Mientras el cambio climático es cada vez más visible, la manera en que vivimos y habitamos el planeta necesariamente debe cambiar.

Un cambio fundamental en la manera en que construimos nuestras ciudades es imperativo, volviendo a aprender cómo construir en madera y cómo construir con técnicas de extrema eficiencia energética.

La madera es el único material de construcción que podemos cultivar y, mientras crece, consume carbono. Usar madera no sólo reduce nuestro impacto sobre el planeta, sino que ayuda a revertir algunos de los efectos de la industrialización del siglo XX. La construcción en madera no es sólo positiva para nuestro planeta, sino que es saludable para las personas. [•]

[•] Waugh, 2017, p.233.

Probablemente podríamos aventurar que la madera es el material para nuestro tiempo. Mientras el siglo XXI despierta, la arquitectura está en una encrucijada. Los criterios para evaluar los materiales con los que construimos han cambiado, debiendo poner en duda la hegemonía del hormigón y del acero. Más allá de la Firmitas, Utilitas y Venustas, la práctica arquitectónica debe ahora lidiar con los objetivos del cambio climático, el aumento de la densidad de población, y la escasez de viviendas a nivel global.

Por una parte, se hace necesario disminuir la energía necesaria para calentar y enfriar los edificios adoptando estándares de construcción de baja demanda y consumo energético, mediante estrategias pasivas adaptadas a las condiciones climatológicas locales. Por otro lado, reducir la energía necesaria para construir edificios, debe ser una estrategia universal. Las tipologías de edificios de viviendas urbanas de media altura son muy similares en todas partes del planeta, y habitualmente se ejecutan en combinaciones de hormigón, acero y fábrica. Sin embargo, el único material que tenemos a nuestro alcance capaz de dar

→ Selva de Arbaila, País Vasco, España. Madera, un material para nuestro tiempo.

[•] Bernheimer, 2015, p.231.

respuesta a la demanda constructiva de los próximos años, y al mismo tiempo reducir la emisión de gases de efecto invernadero, es la madera.

La densificación de la ciudad construyendo en madera será sólo una parte de la solución a todos estos problemas sociales y medioambientales, pero su aplicación a lo largo del mundo representa el tipo de pensamiento transformador y acción cooperativa que serán necesarios para recuperar el equilibrio del sistema climático del planeta, eliminando las desigualdades que han contribuido a llegar hasta nuestros problemas actuales. [•]

Uno de los objetivos de este trabajo es presentar argumentos en favor de la construcción de edificios de vivienda colectiva en madera como estrategia de densificación de nuestras ciudades, mediante los sistemas de entramado ligero y CLT, demostrando su aplicabilidad a las tipologías comentadas.

La presente guía surge con la vocación de guiar a las personas participantes en el diseño y construcción de Vivienda Pública Dotacional en madera en Euskadi, si bien muchos de los conceptos y datos son válidos para otro tipo de edificios.





## CONSTRUCCIÓN EN TALLER, CNC E INDUSTRIALIZACIÓN VELOCIDAD DE CONSTRUCCIÓN Y SU REPERCUSIÓN EN OBRA

Existe una tendencia global en el mundo de la construcción en la que se está convergiendo hacia edificios de mayor calidad, mejores prestaciones, y con un consumo mucho menor de energía. Esto es particularmente evidente en la construcción de edificios con estructura de madera, donde la construcción off-site está demostrando sus ventajas aportando precisión, componentes de altas prestaciones, y montajes o ensamblados donde se aúnan las expectativas de diseño con una larga vida en servicio del edificio. [•]

[•] Arup, 2019, p.231.

El impacto potencial sobre el tiempo de construcción en obra al utilizar elementos prefabricados o ensamblados en taller se estima que podría estar en torno al 50%-80% en función del tipo de edificación y del grado de prefabricación. Esto puede marcar grandes diferencias en los costos del proyecto, así como disminuir las molestias al vecindario al conseguir obras más cortas y limpias, así como menos ruidosas. En un escenario en el que se enfatiza la redensificación de nuestras ciudades, las obras tienden a ser más compactas y pequeñas, con menos espacio para acopios e implantación de medios auxiliares. La prefabricación puede aliviar estos problemas facilitando la entrega justo a tiempo de los componentes, de forma que no se necesiten grandes acopios en obra, consiguiendo una instalación inmediata.

↳ Construcción industrializada en taller. Entramado ligero para albergue de peregrinos en Zegama.

Cuando construimos en madera, las ventajas de la construcción en taller son todavía más pronunciadas.

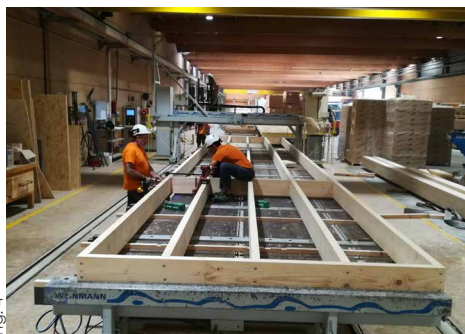


Fig. 4



Fig. 5



Además de los habitualmente prefabricados elementos estructurales, como vigas y columnas (Fig. 11), o elementos constructivos como muros, suelos y cubiertas (Fig. 12), la ligereza de la madera hace también posible la prefabricación de componentes volumétricos (Fig.13). Pueden construirse unidades modulares completamente cerradas, incluyendo todos sus acabados y accesorios, lo cual reduce el tiempo requerido en obra al mínimo necesario para el ensamblaje de los módulos (Fig. 4-7). Dependiendo del tamaño de estas unidades, es posible elevarlas y colocarlas en su lugar dentro del edificio simplemente mediante un camión grúa.

La elección del grado de prefabricación de los elementos estructurales y de envoltente, así como la combinación de varios de ellos, o la realización de estructuras mixtas, condicionará tanto el diseño como la construcción del edificio en todo el proceso.

El diseño de edificios sostenibles requiere hoy en día una planificación integral, involucrando un espectro de disciplinas que hasta hace unos años se acometían de manera individual o separada. Esto hace que esta planificación integral deba llevarse también a la construcción, de forma que se produzca un diseño integrado. Reuniendo a todas las consultorías necesarias desde el inicio del proyecto, se generan una serie de sinergias que deben ser recogidas en el diseño del edificio, minimizando los posibles conflictos que podrían ocurrir entre disciplinas. Involucrando también a fabricantes y constructoras en este diseño integrado, se ayuda a asegurar que las soluciones sean económicas y fácilmente construibles. [•]

[•] Huss, 2019, p.231.

✓ Construcción industrializada en taller. Entramado ligero para albergue de peregrinos en Zegama.



Fig. 6



Fig. 7

Fig. 10

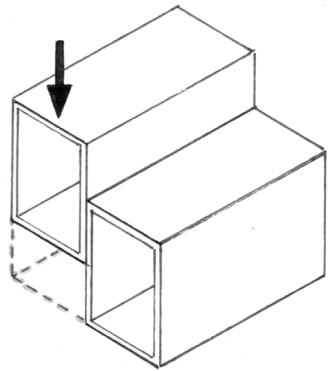


Fig. 8

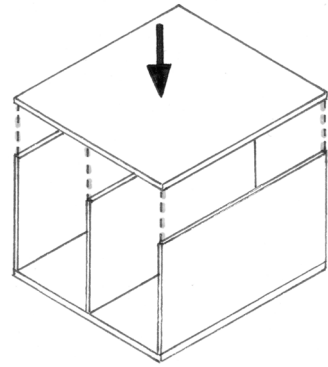


Fig. 13



Fig. 12



Fig. 11



Los elementos de madera en un edificio pueden desempeñar múltiples funciones, y las aportaciones de las diversas consultorías en un proyecto deben reconducirse para garantizar que esas sinergias lleguen a buen término. Los ejemplos más comunes de elementos multifunción que requieren la colaboración entre distintas disciplinas son: los elementos estructurales que correctamente dimensionados pueden proporcionar resistencia estructural al fuego además de la propia resistencia mecánica; maderas o fibras de madera que pueden contribuir al aislamiento térmico y acústico del edificio; paneles o tableros que pueden servir simultáneamente como acabado arquitectónico y como parte del sistema de arriostramiento lateral del edificio.

En conclusión, un diseño óptimo depende de un alto grado de integración, y el comportamiento y prestaciones óptimas del edificio dependen de una construcción con elevados estándares de calidad. Es importante que todas las personas en el proceso constructivo entiendan cómo su trabajo interactúa con el de las otras implicadas. En este sentido, la realización de edificios de altas prestaciones es un esfuerzo colaborativo, requiriendo nuevos niveles de coordinación entre profesionales del diseño, industriales y constructoras.

← Niveles de prefabricación en la construcción en madera.

Fig. 8: Vivienda unifamiliar en Mutilva.

Fig. 9: Guardería y escuela en Zaldibar.

Fig. 10: Belambre en Capbreton.

## EDIFICIOS DE CONSUMO CASI NULO EN MADERA ENVOLVENTE PASIVA vs. SISTEMA ESTRUCTURAL

Son muchos los argumentos para acometer un proyecto de Edificio de Consumo Casi Nulo basado en criterios pasivos con sistemas constructivos o estructurales basados en la madera, desde los puramente naturalistas o «verdes», a los netamente económicos. A continuación, se sintetizan esta variedad de argumentos en 5 puntos:

- **AUSENCIA DE PUENTES TÉRMICOS:** las propiedades térmicas e higroscópicas del propio material ayudan de manera determinante a generar envolventes continuas donde la presencia de puentes térmicos se ve minimizada por la configuración del propio sistema estructural. Con una  $\lambda$  de  $0,13 \text{ W/mK}$  podemos llegar a conseguir envolventes térmicas en las que todo el espesor de la fachada es aislamiento, como por ejemplo en las soluciones de entramado ligero (Fig. 15). Para soluciones basadas en paneles estructurales, tenemos la ventaja de que el espesor estructural contribuirá a una definición de una baja transmitancia del cerramiento, y contribuirá a la hermeticidad del edificio.

↘ Incidencia de la madera como puente térmico en la envolvente. Albergue de peregrinos en Zegama.

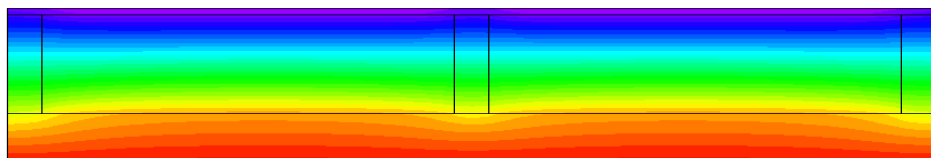


Fig. 14  
20,0 °C  
8,0 °C  
-10,0 °C



Fig. 15



Fig. 16

• **INDUSTRIALIZACIÓN:** hoy en día pocas son las obras en las que la madera estructural se trabaja de forma artesanal. En menor o mayor medida la industrialización de la madera se ha extendido en el panorama constructivo, desde la simple mecanización en taller de las secciones estructurales en algunos ejemplos de entramado ligero (Fig. 16), hasta la prefabricación casi completa de algunos modelos modulares transportables. La industrialización de la madera aporta precisión y garantía de una correcta ejecución. Permite ejecutar en taller partidas críticas como la hermeticidad y la eliminación de puentes térmicos, y da una mayor posibilidad de control tanto en proyecto como en obra, minimizando los errores constructivos.

↖ Diferentes niveles de Industrialización en Madera.  
1-6: refugio de montaña Uztarroz.  
7-8: Vivienda unifamiliar en Bizkaia.

→ Comparativa de espesores de envolvente en madera frente a envolvente tradicional.  
 1. Sistema de entramado ligero madera.  
 2. Sate sobre fachada cerámica.



Fig. 17



Fig. 18

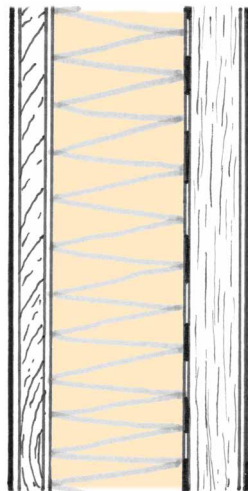


Fig. 19

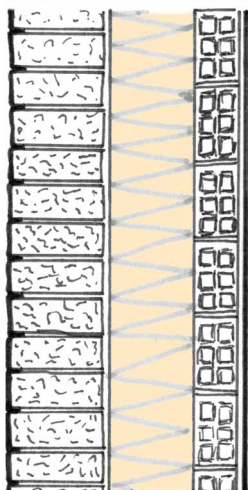


Fig. 20

- **ECONOMÍA:** si por algo brilla la construcción en madera es por su rapidez de ejecución, más si cabe si se combina con una industrialización y pre-montaje en taller inteligentes. Rapidez y facilidad de puesta en obra, por tanto, son sinónimos de construcción en madera. La no necesidad de personal de obra altamente cualificados o especializados abarata los costes de contratación y aumenta la disponibilidad de mano de obra, lográndose una alta productividad. La ligereza de las soluciones disminuye la cuantía y el alcance de los medios auxiliares y de transporte, abaratando los costes para la constructora y, por tanto, para la promotora.

- **MERCADO:** las soluciones constructivas basadas en sistemas estructurales en base madera optimizan los espesores de la envolvente como más arriba se ha explicado, de forma que tenemos más aislamiento en menos espesor (Fig. 17), garantizando hermeticidad y ausencia de puentes térmicos de una manera sencilla. Este factor deriva en una relación superficie útil / superficie construida muy interesante para la promotora de viviendas, ya que le va a permitir aprovechar más metros cuadrados de vivienda en menos superficie construida.

- **CONSTRUCCIÓN ECOLÓGICA:** Cabe subrayar que Passivhaus es un estándar de eficiencia energética basado en la limitación de la demanda tanto de calefacción como de refrigeración. Es por tanto un estándar netamente energético. Siendo esta una de sus grandes virtudes, es también uno de sus puntos débiles, debido a que denota cierta falta de carácter ecológico o «verde», que otros sellos como el Minergie sí que contemplan en alguna de sus variantes. Es ahí donde la madera entra con fuerza, presentándose como material que complementa la componente netamente energética del estándar Passivhaus con todos sus matices «verdes». Las construcciones en madera, tanto en su ciclo de vida como por ser sumideros de CO<sub>2</sub>, se colocan a la cabeza de las construcciones sostenibles.

Por tanto, entre las principales ventajas del uso de la madera en construcciones de alta eficiencia energética o consumo casi nulo se encuentra la rapidez y precisión de ejecución, pues al tratarse de elementos estructurales industrializados, su puesta en obra es inmediata y con escasas posibilidades de error. Permite que todos los trabajos se realicen en seco, eliminando así los tiempos de fraguado de materiales convencionales. También acaba con las molestias asociadas a las obras en entornos urbanos como el ruido y el polvo. [•]

Hay que resaltar, por otra parte, el ahorro económico —no solo por la disminución de los plazos de obra— sino por tratarse de un material estructural más sencillo y ligero

[•] Dickson, 2015, p.231.



que los tradicionales, que abarata también los costes de cimentación y de medios auxiliares.

La madera es un material ligero, lo que permitió solucionar también problemas específicos del proyecto de Dalston Works (Fig. 15). La línea subterránea de tren atraviesa el solar, por lo que la cimentación por pilotes necesaria para una estructura equivalente en hormigón, 5 veces más pesada que la ejecutada, no era una opción posible. El peso máximo del edificio estaba restringido a la capacidad de una losa de cimentación sobre la línea subterránea, resultando la estructura de madera la única opción viable, la cual permitió gracias a su ligereza aumentar la altura del edificio construyendo 35 viviendas más de las que hubieran sido posibles con una estructura tradicional de hormigón y acero.

Asimismo, el impacto medioambiental de la madera es menor en todo su ciclo de vida, evita el consumo de agua en obra, apenas genera residuos, a lo que hay que añadir sus elevadas cualidades como aislamiento térmico (de cara a favorecer el ahorro de energía) y acústico.

La madera es un material natural, renovable, reutilizable y reciclable, por tanto, óptimo para la economía circular.

Por todo ello, podemos concluir que la madera es probablemente el material idóneo para acometer desde una perspectiva ecológica y sostenible la construcción de un edificio de consumo casi nulo de cualquier escala con garantías de éxito.

↓ El diagrama indica una reducción aproximada de los cimientos superficiales necesarios para una versión CLT del esquema de Dalston Works.

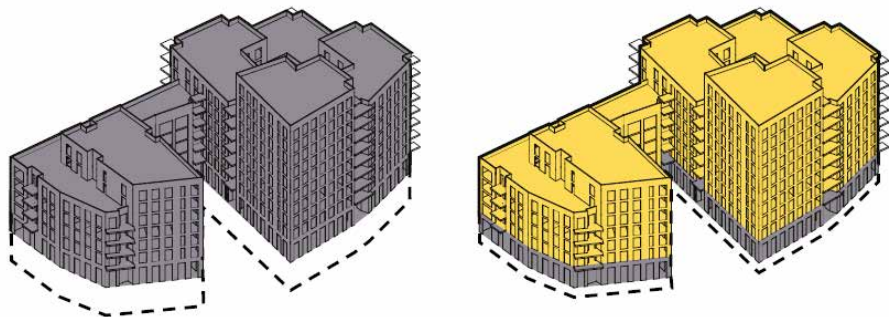


Fig. 21

## SALUD Y BIENESTAR, CALIDAD DEL AIRE INTERIOR

La madera es muy apreciada por su componente natural y su carácter auténtico. Las superficies de madera, por el carácter específico del material, color, textura y porosidad, habitualmente consiguen apelar a nuestros sentidos, como se ha demostrado en diversos estudios como el de Maximilian Moser «Interaktion Mensch und Holz» [•]. Las características estructurales y físicas específicas de la madera, como su baja conductividad térmica y su bajo coeficiente de efusividad o valor-b, hacen que las superficies de madera normalmente sean percibidas como cálidas. Las superficies de madera natural también ayudan a regular las atmósferas interiores ya que la madera absorbe humedad del aire interior y la devuelve paulatinamente de nuevo. El olor de la madera, el cual es producido por la emisión de sustancias volátiles, tiene un agradable efecto calmante sobre algunas personas. Diferentes estudios, como el más arriba mencionado, hacen hincapié en los efectos potenciales de la madera en la manera de circular o dormir en un edificio, de forma que mejora su habitabilidad y bienestar general.

[•] Teischinger, 2012, p.233.

- LA INFLUENCIA DE LA MADERA NATURAL EN LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR: Las emisiones al aire interior de los componentes de madera estructural no alcanzan concentraciones que sean peligrosas para la salud.

- LA INFLUENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN CON MADERA LAMINADA ENCOLADA EN EL AIRE INTERIOR: La invención de las maderas laminadas encoladas resultó en varios desarrollos de materiales de largo alcance que han tenido una gran influencia en la construcción con madera. Los productos de madera encolada, como la madera laminada encolada, la madera contralaminada, o la madera laminada claveteada, han abierto nuevas dimensiones en la construcción en madera.

→ Madera como generadora de atmósferas interiores saludables.

- **EMISIONES DE VOCs:** Los solventes que la madera natural y los productos constructivos en base madera contienen naturalmente pueden ser emitidos al aire interior durante la construcción dentro de la línea de hermeticidad.

- **EMISIONES DE FORMALDEHIDOS:** Las colas usadas en los productos de construcción en base madera habitualmente contienen formaldehidos. Podrían usarse colas libres de formaldehidos como el PDMI y el PUR, pero habitualmente se puede asumir que los siguientes productos en base madera contienen colas y elementos adhesivos:

- Madera laminada encolada: aproximadamente 1%-2% de adhesivo (MUF o PUR)

- Madera Contralaminada: 1% de adhesivo (MUF o PUR)

En conclusión la construcción en madera no resulta en niveles de polución del aire peligrosos para la salud siempre y cuando la propia construcción y la selección de componentes sea llevada a cabo cuidadosamente, teniendo que hacerse una distinción entre emisiones de la madera como producto natural y emisiones de los aditivos utilizados en los procesos de fabricación.





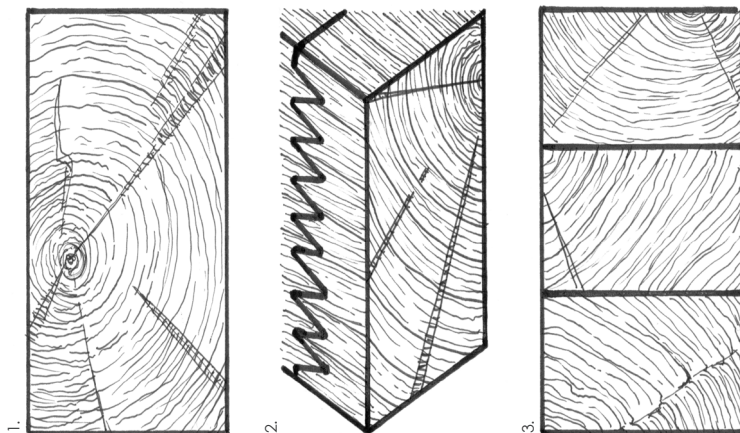
## PROPIEDADES ESTRUCTURALES DE LA MADERA Y PRODUCTOS DE INGENIERÍA DE LA MADERA

Habitualmente la madera se ha considerado un material blando, orgánico, susceptible de ser dañado por el fuego y por el agua si se mantiene húmedo durante largos periodos de tiempo. Si bien esto es relativamente cierto para la madera aserrada en su estado natural, las propiedades y prestaciones de la madera están siendo modificadas de manera significativa por los procesos de transformación actuales. Estos productos (CLT, LVL, LSL, GLULAM, etc) son más resistentes, consistentes y estables dimensionalmente que la madera sólida aserrada tradicional (Fig. 23). A pesar de ello, comprender las propiedades intrínsecas del material es fundamental para acometer con éxito el diseño de edificios de madera. [•]

[•] Herzog, 2004, p.231.

La más importante de las propiedades del material, debido a su origen orgánico y composición celular, es que su resistencia y estabilidad varía en función de la orientación de la fibra y del contenido de humedad. Controlar estas dos variables es clave para crear estructuras y componentes con un alto grado de precisión, dimensionalmente estables, resistentes y más durables.

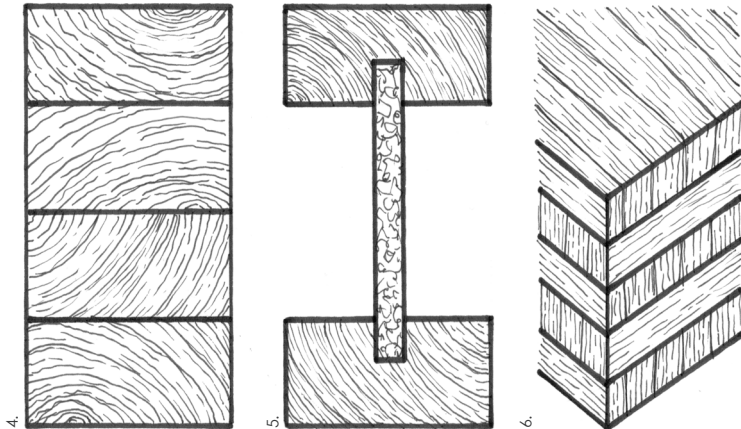
El contenido de humedad de una madera procesada para construcción, considerada seca, se define como el peso del agua contenida en la madera expresado como porcentaje del peso de la propia madera seca. Este peso



en seco se considera el peso de una muestra secada bajo condiciones de temperatura y tiempo estandarizadas. Como referencia, un árbol vivo o recién cortado puede tener un contenido de humedad del 50%, el secado natural al aire libre puede disminuirlo al 20%, y tras pasar por el secadero puede llegar al 8%.

La madera es higroscópica, y puede absorber o liberar humedad para mantenerse en equilibrio con el ambiente en el que se encuentra. Si la madera «verde» se coloca en edificios con condiciones de temperatura y humedad controladas, liberará humedad hasta reestablecer el equilibrio higroscópico con el ambiente interior en el que se encuentra, variando dimensionalmente su sección. Habitualmente, esto puede ocurrir en contenidos de humedad entre el 8% y el 12% dependiendo del clima y región, así como la estación del año.

Conforme libera humedad, la madera contrae. Esta merma es aproximadamente el 1% de la dimensión perpendicular a la fibra cada 5% de disminución de su contenido de humedad, y aproximadamente un décimo de ese valor en la dirección paralela a la fibra. Cada especie merma de manera diferente en función de la humedad ambiente. Para un único elemento de madera puede no suponer un gran problema, 2-3 mm por cada 100 mm de sección al disminuir de un contenido de humedad del 25% a un contenido de humedad considerado en equilibrio. Pero el efecto acumulativo de estas mermas puede ser un verdadero problema estructural y energético. Es preferible



← Diferentes productos de ingeniería de la madera.  
 1. Madera aserrada  
 2. Madera empalmada (KVH)  
 3. Viga trio  
 4. Viga laminada  
 5. I-Joist  
 6. CLT

Fig. 23

prescribir maderas con contenidos de humedad bajos para evitar estas variaciones dimensionales acumulativas en edificios pequeños. Para edificios de media y gran altura en madera, se ha de prestar especial atención a la prescripción de materiales y productos, así como al diseño de sistemas estructurales que puedan minimizar los efectos del movimiento y merma provocados por la humedad. Por tanto, todos los materiales deberán ser secados en hornos. Para secciones de uso estructural el contenido de humedad objetivo habitual es un 12 %.

Además de la influencia del contenido de humedad, las diferentes especies tienen diferentes características mecánicas, de estabilidad dimensional y de durabilidad, haciendo realmente importante la elección de la especie en función del tipo de proyecto y sistema estructural.

La resistencia de un material estructural es la capacidad que tiene de resistir una carga sin romper o fallar. La resistencia de la madera a los diferentes tipos de esfuerzos (compresión, tracción, flexión, cortante y torsión) varía en función de la dirección en la cual una fuerza le es aplicada. El material es más resistente a tensión y compresión paralela a la fibra (es decir una fuerza aplicada a lo largo de las fibras), y mucho más débil (se da un valor típico de diez veces menos) cuando la fuerza es aplicada perpendicular a la fibra.

La resistencia varía entre especies. Además, la variabilidad natural de la madera (fibra más o menos compacta, presencia variable de defectos, etc), significa que para los productos de madera aserrada puede haber una variación considerable de prestaciones, a pesar de existir clasificaciones estructurales para algunas especies. Esta variabilidad hace que sea incierto predecir las prestaciones de algunos elementos, por lo que en las últimas décadas la industria ha evolucionado hacia los productos de madera conformada, con el objetivo de incrementar la resistencia de la madera y reducir su variación.

Estos productos de ingeniería de la madera son manufacturados uniendo diferentes subproductos o secciones de madera para producir composites más largos, resistentes y rígidos que la suma de sus partes. Los productos habitualmente utilizados en formato paneles masivos y secciones en barra son: la madera laminada encolada (Fig. 23.4),

madera microlaminada o LVL, laminated strand lumber o LSL (Fig. 26), parallel strand lumber o PSL, madera contralaminada o CLT (Fig. 23.6), y en menor medida madera laminada clavada o NLT. A excepción de algunos CLT y sobretodo los NLT (Fig. 24) unidos mecánicamente, todos los productos de ingeniería de la madera están unidos mediante colas en base formaldehido. La incidencia de los VOCs generados por la presencia de estos formaldehidos se ha tratado en la sección anterior. Como regla general, la estabilidad dimensional y la resistencia a la humedad de estos productos incrementa con el porcentaje de colas utilizadas.

Por tanto, existe un gran abanico de productos de paneles masivos y sección tipo barra para diseñar estructuras que permitan absorber con solvencia las solicitaciones y fuerzas a las que se pueden ver sometidas en el diseño de edificios de media altura en madera. [•]

[•] Kaufmann, 2018, p.232.

↓ Paneles laminados sin colas o adhesivos:  
Fig. 24: NLT (Nail Laminated Timber)  
Fig. 25: DLT (Dowel Laminated Timber)

↓ Material utilizados estructuralmente como elementos lineales tipo barra:  
Fig. 26: LSL (Laminated Strand Lumber).

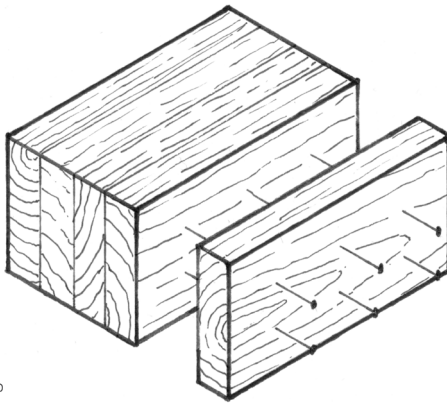


Fig. 24

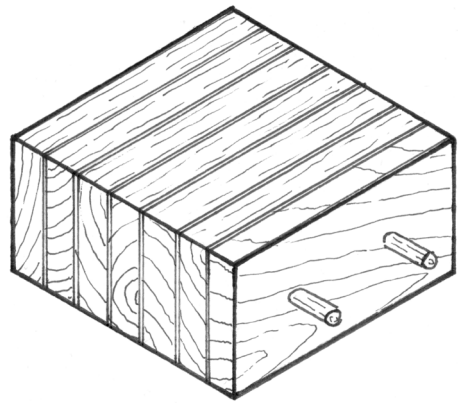


Fig. 25



Fig. 26



## TRASMISIÓN DE CARGAS

El objetivo fundamental del diseño estructural es crear una estructura capaz de resistir todas las cargas, así como dar respuesta al resto de requerimientos funcionales a la que se verá sujeta a lo largo de su vida útil, sin sufrir un deterioro prematuro, o fallo en última instancia.

Una de las consideraciones más importantes en el diseño de un edificio en altura en madera es la contracción o merma de la madera. Esto es particularmente importante cuando se detallan los elementos verticales de la estructura, ya que una excesiva, o no uniforme, contracción puede afectar a las rasantes, niveles y alineaciones de los elementos estructurales, o comprometer la integridad de la envolvente del edificio. El mejor enfoque es diseñar una estructura vertical en la que toda la madera tenga la fibra paralela al sentido de la carga, incluso superponiendo elementos verticales directamente encima de otros, o diseñando conexiones que pasen a través de aquellos elementos que dispongan la fibra en sentido perpendicular a la dirección de la carga. Por ello es interesante estudiar detalles que puedan reducir el aplastamiento de las piezas debido a las cargas verticales perpendiculares a su fibra.

Como concepto básico, las cargas verticales deberían conducirse a través de elementos estructurales conti-

↘ Las cargas de viento sobre las fachadas se transmiten en primer lugar a los paneles exteriores y luego a los forjados. Los forjados transmiten posteriormente las cargas horizontales a los muros de carga internos y externos mediante la acción de los diafragmas, llegando finalmente a la cimentación.

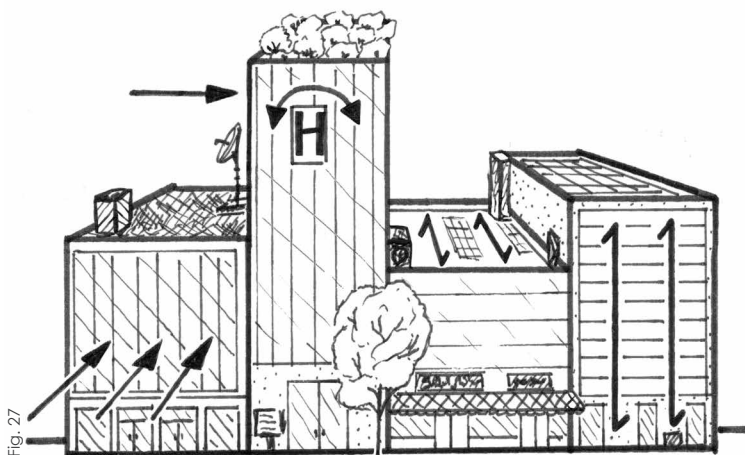


Fig. 27

nuos o superpuestos, ya sean pilares o paneles. Desalineaciones acusadas de estos elementos verticales pueden requerir detalles estructurales especiales, o piezas de transferencia (Fig. 27). [•]

[•] Waugh, 2009, p.233.

Las cargas laterales pueden resistirse mediante marcos o diafragmas rígidos en el plano vertical, elementos arriostrados o muros de cortante ubicados en el perímetro del edificio. Los muros de cortante pueden estar colocados a intervalos en dicho perímetro, o agrupados en núcleos resistentes como cajas de ascensor o escaleras, o en combinaciones de estas alternativas en función del diseño del edificio (Fig. 28). Estos sistemas de resistencia a cargas laterales deben usarse en ambas direcciones principales del edificio, y lo óptimo es que se repitan en las diferentes plantas del edificio. Para que el sistema funcione solidariamente, estos diafragmas o muros de cortante deben estar unidos planta a planta por diafragmas horizontales rígidos (forjados). El sistema completo debe estar anclado a la cimentación de forma que se transfieran las cargas laterales al terreno. Habitual-

↓ Diferentes esquemas estructurales para el arriostramiento frente a esfuerzos horizontales del edificio:

1. Muros de diafragma perimetrales.
2. Núcleo central y Forjados rígidos.
3. Combinación de ambos sistemas.

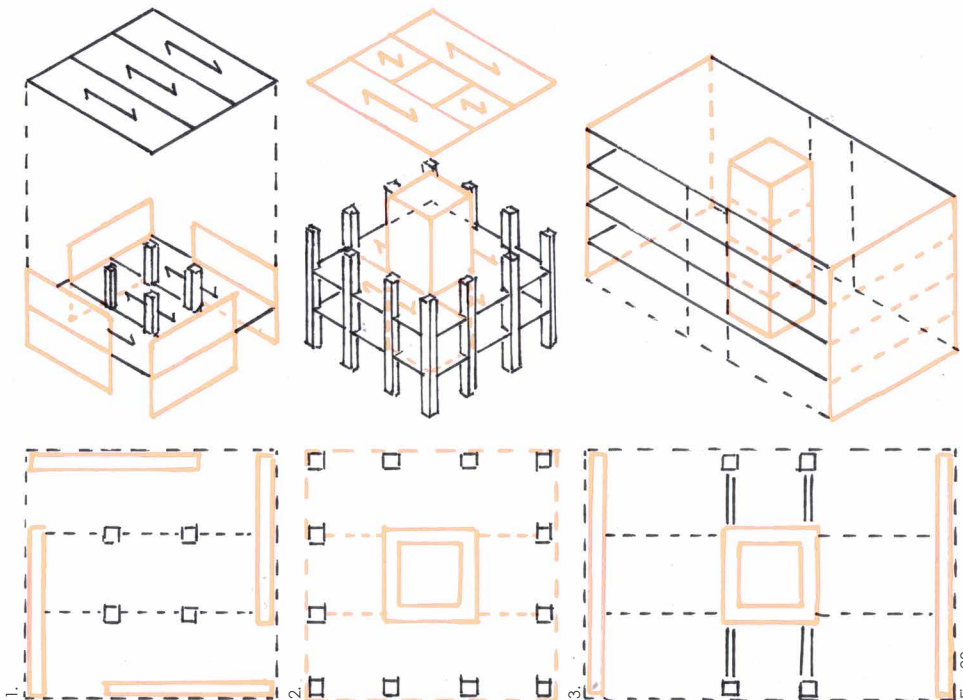


Fig. 28

→ Representación del desplazamiento vertical acumulado debido a esfuerzos horizontales.

DESPLAZAMIENTO VERTICAL ACUMULADO

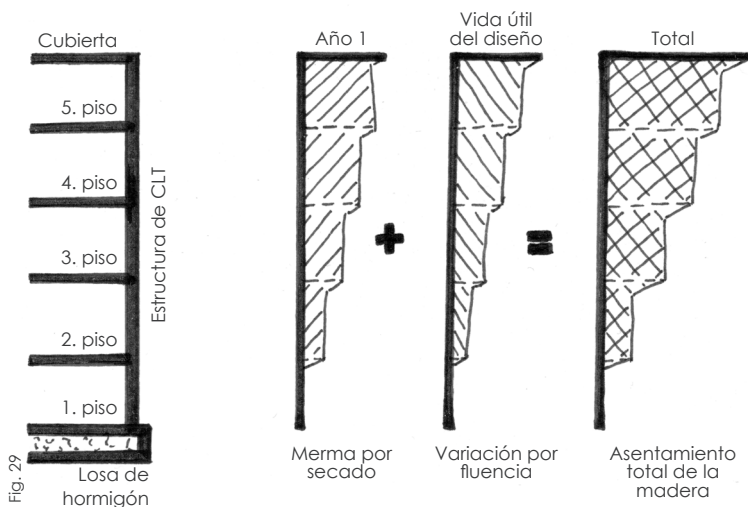


Fig. 29

mente esto se resuelve mediante las cajas de ascensor y escalera, o mediante entramados arriostrados de toda la altura del edificio. Este sistema resistente a cargas laterales debe ser consistente de una planta a otra, de forma que el arriostramiento de los muros de cortante esté en el mismo plano vertical.

Desde un punto de vista estructural, no es necesario que las cajas de ascensor o escaleras sean de hormigón, aunque sea una práctica habitual por circunstancias de seguridad ante el fuego. En el caso de realizar estos núcleos con madera, es importante crear muros de cortante continuos en toda la vertical del edificio, con los necesarios anclajes de cortante y tracción que hagan que se comporten de manera uniforme en toda su altura. [•]

[•] Young, 2017, p.233.

La decisión de utilizar hormigón o madera para estos núcleos, dependerá de muchos factores además del meramente estructural, como por ejemplo el fuego, la eficiencia de puesta en obra, la economía de las soluciones a ejecutar, e incluso la normativa local. En caso de utilizar hormigón para la ejecución de estos muros, debe hacerse especial hincapié en los movimientos diferenciales entre diferentes materiales, utilizando juntas de dilatación o elementos deslizantes para absorber los diferentes movimientos verticales, tanto en las escaleras como en las puertas de los ascensores (Fig. 29).



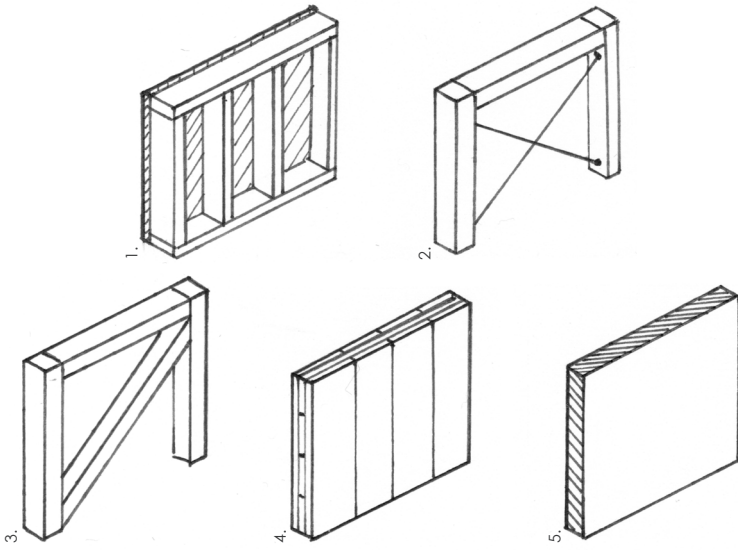


Fig. 30

- ← Tipos de diafragmas en función del sistema estructural en madera utilizado:
1. Panel de madera.
  2. Arriostramiento en cruz trabajando a tracción.
  3. Rigidización mediante elementos flexocomprimidos.
  4. Madera contralaminada
  5. Pantallas de hormigón armado.

En esta intención de convertir diferentes elementos de madera en diafragmas rígidos (Fig. 30), son las conexiones entre elementos las que garantizan la rigidez. La ductilidad de dichas conexiones, la capacidad de absorber y disipar energía con su deformación, resulta fundamental. En condiciones normales estas conexiones trabajaran de manera elástica, absorbiendo los esfuerzos del viento o sísmicos sin una deformación permanente. Ante grandes esfuerzos de viento o sismo, estas conexiones deberán funcionar de forma plástica, absorbiendo dichos esfuerzos a través de su deformación, permitiendo un menor daño a la estructura y evitando el colapso del edificio.

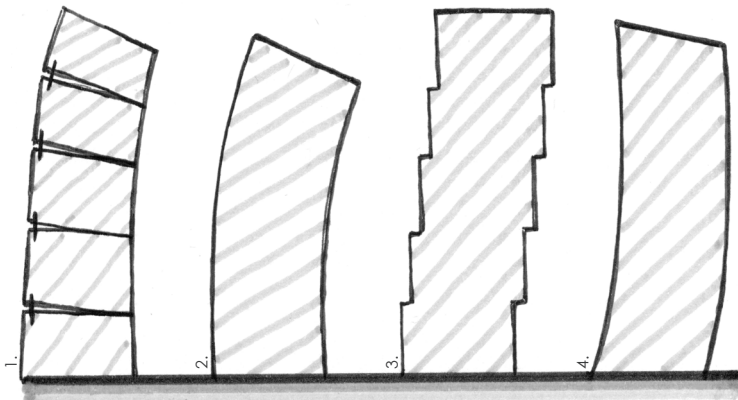


Fig. 31

- ← Deformaciones y desplazamientos de un edificio de CLT en altura frente a esfuerzos horizontales.
1. Rigidez en las conexiones y deslizamiento a tracción.
  2. Paneles rígidos frente a la flexión.
  3. Conexiones rígidas y deslizamiento a cortante.
  4. Deformación a cortante de panel.

[•] American Wood Council, 2018, p.231.

→ Anclajes en edificio de altura. 35 viviendas en Girona por «bosch. capdeferro arquitectura».

Mención aparte merecen las fuerzas de tracción. Debido a su ligereza, y teniendo poca masa e inercia, las estructuras de madera no responden adecuadamente y pueden acelerarse rápidamente frente a las ráfagas de viento, de forma que se comprometa el confort de forma que se comprometa el confort interior. Este hecho, y las fuerzas de tracción o elevación que puede generar, debe ser considerado al diseñar una estructura de madera de cierta altura. Las estrategias para hacer frente a estas fuerzas de tracción varían en función del sistema estructural, el presupuesto, y las costumbres constructivas locales. [•]

Una vez garantizado el funcionamiento solidario de los muros de cortante, estos deben ir fijados a un pódium o cimentación de hormigón mediante anclajes de acero, en la mayoría de los casos, habitualmente combinaciones de escuadras a cortante (Fig. 33) y hold-downs (Fig. 34).



Fig. 32

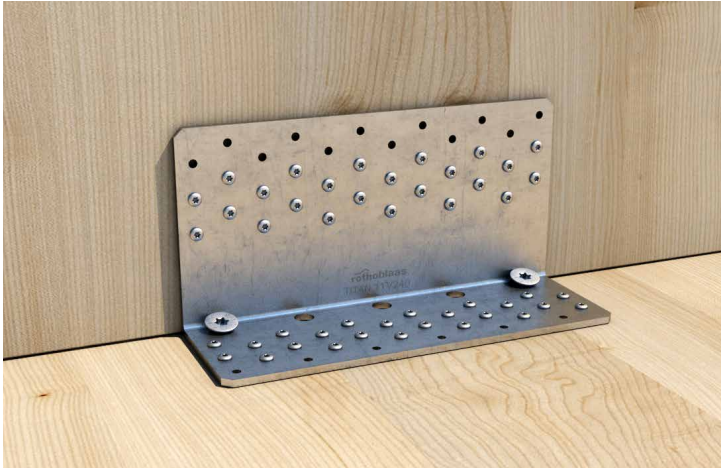


Fig. 33

← Anclajes.  
Escuadra de  
cortante.



Fig. 34

← Anclajes.  
Hold-downs.

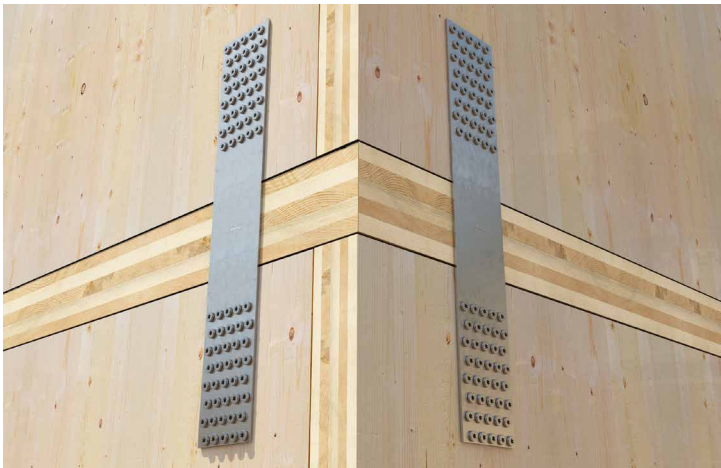


Fig. 35

← Anclajes.  
Placas de  
Tracción.

## SEGURIDAD ANTE EL FUEGO

Ciertos conceptos erróneos del comportamiento ante el fuego de la madera siguen siendo la causa de que su uso se vea muy penalizado por mucha de la normativa actual. Habitualmente estos conceptos están basados en experiencias de incendios con estructuras muy ligeras que poco tienen que ver con las estructuras de madera masiva utilizadas en edificios de cierta envergadura.

Una normativa prescriptiva nos dice cómo debe construirse un edificio, en vez de como se comporta, asumiendo que sólo existe una manera de llegar al estándar requerido. Durante décadas se ha seguido este criterio, si bien estamos en una transición desde las normativas prescriptivas a los códigos basados en objetivos, donde quienes diseñan puedan aportar soluciones y materiales que cumplan con los requerimientos especificados.

En caso de incendio, es importante entender que el mayor peligro para una estructura y sus ocupantes proviene siempre de fuegos producidos en el interior de los edificios. De ahí la necesidad recogida en la mayor parte de la normativa vigente de compartimentar los edificios mediante paredes y suelos resistentes al fuego, que delimiten e impidan la propagación del incendio por el interior del edificio, permitiendo su evacuación. El objetivo fundamental en todo diseño anti-incendios es mantener la estabilidad estructural y soportar las cargas necesarias en caso de incendio, de forma que el edificio no colapse de forma prematura durante la extinción del fuego. Igual de importante es mantener espacios seguros entre plantas o compartimentos del edificio. Esto requiere implementar medidas que restrinjan la propagación del fuego a otras áreas del edificio.

Normalmente esto se consigue aplicando medidas pasivas y activas. Las pasivas engloban atributos físicos del edificio como la especificación de materiales, cargas de fuego, compartimentación de espacios, y localización y diseño de vías de evacuación, etc. Entre las medidas activas estarían las alarmas de incendios, detectores de

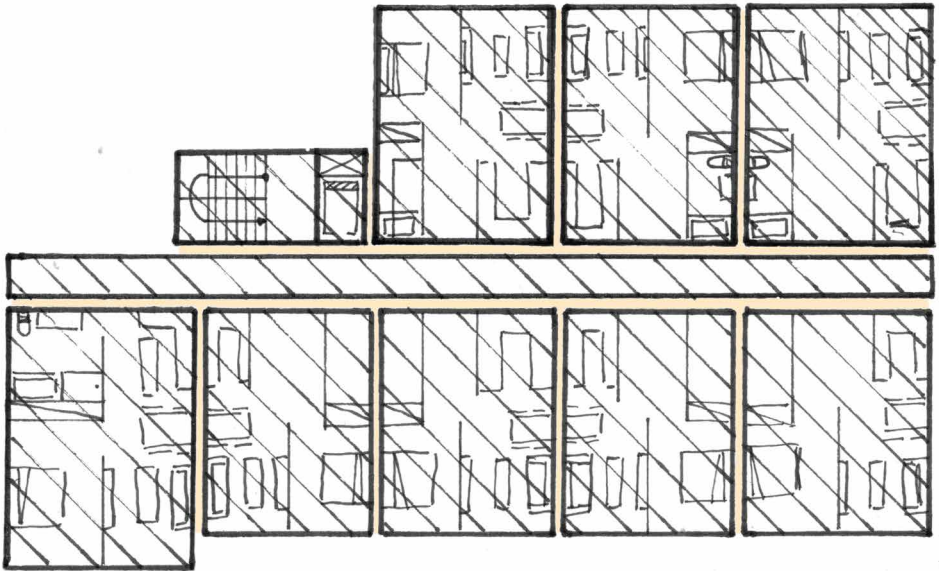


Fig. 36

humo, rociadores automáticos, etc. La combinación de todas ellas debe ser evaluada a la hora de diseñar una estructura de madera. [•]

El comportamiento predecible de los elementos masivos de madera en caso de incendio, se debe a la combinación de diversos factores. El calor de las llamas hace que la propia humedad de la madera se desplace hacia el interior de la sección del elemento, a la vez que la carbonización superficial genera una capa aislante tanto del calor del fuego como del oxígeno necesario para la combustión. La conclusión es que los elementos masivos de madera, aun estando expuestos dentro del edificio, no contribuyen de manera decisiva a la propagación del incendio o a la carga de fuego del mismo.

Teniendo todo lo anterior en cuenta, la aproximación hacia la protección frente al fuego pasa por diversas estrategias. La primera de ellas sería encapsular completamente la estructura, envolviendo los elementos de madera con materiales resistentes al fuego. Esta solución, tal vez la opción más conservadora, se basa en estrategias testadas y habitualmente utilizadas en estructuras de acero, por ejemplo. De esta manera, el diseño de la estructura no estaría determinado por su resistencia al fuego.

↑ Compartimentación de edificio frente a la propagación interior del fuego.

[•] Kaufmann, 2018, p.232.

→ Tabla 1 sobre velocidad de combustión de diferentes especies y tipos de elementos de madera.

Una estrategia menos conservadora es el encapsulado parcial, donde algunos de los elementos estructurales en madera se dejan expuestos al interior. Los techos son unos de los elementos críticos de una estructura frente al fuego, ya que es donde la capa de humo se acumula elevando la temperatura del elemento. Sin embargo, en los muros el riesgo es menor, por lo que es habitual que queden vistos con mayor frecuencia.

Una consideración importante es si el material de protección está fijado directamente a los elementos estructurales, o mediante rastreles o elementos suspendidos, creando cámaras de instalaciones. En estos casos, conviene tomar otras precauciones como el uso de aislamientos con buen comportamiento ante el fuego, como lanas minerales, o rociadores en las cámaras para evitar la propagación del fuego y el humo por esos espacios.

La tercera estrategia sería la de dejar la mayor parte de la estructura vista, y utilizar el cálculo de resistencia ante el fuego para demostrar que los elementos estructurales resisten el tiempo necesario mediante el aumento de las secciones, dimensionando la capa de sacrificio necesaria para proteger a la sección estructural del fuego. Este espesor se calcula en base a una velocidad de carbonización, la cual varía en función de la especie de madera (Tabla 1). No obstante, en una construcción no encapsulada, el punto débil siempre serán los anclajes y conexiones de acero. Por tanto, todos estos elementos deben protegerse por otros medios, u ocultarse dentro de la madera.



Tabla 1: Índices de carbonización  $\beta_0$  y  $\beta_n$  del diseño de la madera, LVL - madera microlaminada, paneles de madera y tableros de madera. Norma de: EN 1995-1-2 (2004) (English): Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-2: General - Structural fire design.

<b>Material</b>	<b>Velocidad de carbonización unidimensional <math>\beta_0</math> (mm/min)</b>	<b>Velocidad de carbonización nominal <math>\beta_n</math> (mm/min)</b>
<b>Madera blanda y haya</b>		
Madera laminada encolada con una densidad característica de $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0.65	0.7
Madera maciza con una densidad característica de $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0.65	0.8
<b>Madera dura</b>		
Madera maciza o laminada encolada con una densidad característica de $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0.65	0.7
Madera maciza o madera laminada encolada con una densidad característica de $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0.50	0.55
<b>LVL – Madera microlaminada</b>		
con una densidad característica de $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0.65	0.7
<b>Paneles</b>		
Paneles de madera	0.9 <sup>1)</sup>	
Madera contrachapada	1.0 <sup>1)</sup>	
Paneles de madera, aparte del contrachapado	0.9 <sup>1)</sup>	

1) Estas cifras se aplican a una densidad aparente característica de  $450 \text{ kg/m}^3$  y a un material de 20 mm de espesor.



## COMPORTAMIENTO ACÚSTICO

El comportamiento acústico es fundamental para garantizar el confort interior de un edificio, sobre todo en edificios residenciales. Este confort acústico está condicionado por el grado de aislamiento acústico entre espacios, así como entre interiores respecto al exterior, y de la acústica de la propia estancia, que determina el tiempo de reverberación y la inteligibilidad al hablar.

En los edificios el sonido se transmite tanto por el aire como por los elementos sólidos que definen un espacio o elemento constructivo. El ruido aéreo traspasa las particiones que separan los espacios, y el ruido de impacto que se transmite a través de los elementos sólidos se transfiere habitualmente por techos y suelos, y sobre todo a través de la estructura. Además de estos dos caminos, el sonido también se transmite por flanqueo, de un espacio a otro por rutas no directas, de la misma manera que el agua en el caso de una gotera. El ruido de flanqueo puede viajar tanto a través del aire como a través de los elementos sólidos (Fig. 37).

↓ Transmisión  
por ruido aéreo y  
ruido de impacto.

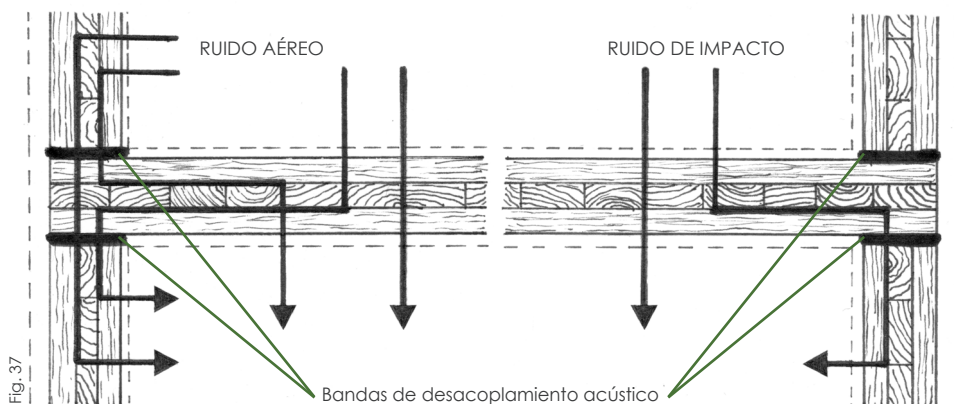


Fig. 37

Para un comportamiento acústico óptimo, es importante que tanto el ruido aéreo como el ruido de impacto estén controlados. Sin embargo, las estrategias pueden ser diferentes en ambos casos. La masa de un elemento juega un papel importante en ambos casos. A partir de ahí las estrategias divergen. [•]

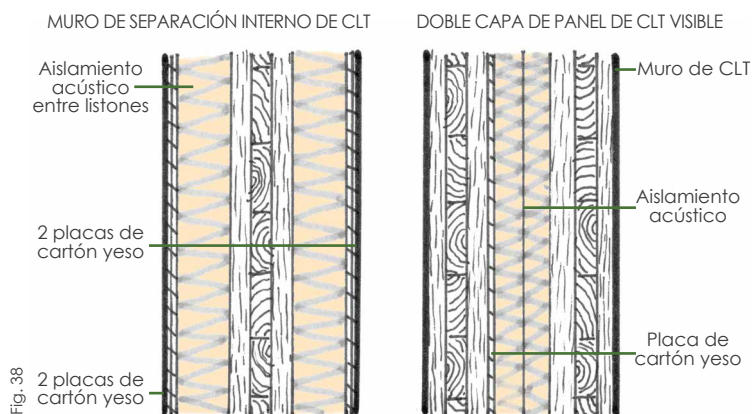
[•] American Wood Council, 2018, p.231.

El ruido aéreo puede atenuarse mediante aislamiento acústico colocado en las cámaras o trasdosados. La composición de estos aislamientos es como un laberinto donde las ondas acústicas rebotan y pierden energía acústica transformándola en calor.

El ruido de impacto se controla rompiendo la continuidad física de los elementos que podrían suponer un camino directo para la transmisión de las vibraciones. El diseño cuidadoso de las uniones entre materiales es fundamental para controlar el ruido de impacto y de flanqueo, así como las diferentes penetraciones realizadas por las instalaciones a través de los elementos separadores de espacios.

En estructuras murarias, una estrategia habitual es utilizar CLT para la envolvente exterior, combinado con paneles de entramado ligero para la tabiquería interior, o separaciones entre viviendas, donde más atenuación acústica se necesita. Habitualmente se utilizan dos muros de entramado en paralelo con una pequeña separación entre ellos para romper la continuidad física y reducir la transmisión de sonido. Exteriormente ambos muros se terminan en tableros de cartón-yeso para aumentar la masa, y en las cámaras interiores se coloca aislamiento acústico. En algunas situaciones también puede introducirse una discontinuidad entre los paneles de suelo en estos puntos, rellenando el hueco con materiales resistentes al fuego si es necesaria la compartimentación entre plantas. En el caso de separaciones con CLT, habitualmente un único panel se trasdosa por ambas caras con paneles de cartón-yeso sobre perfiles desolidarizados del CLT, y con aislamiento acústico en las cámaras. Otra opción suele ser utilizar dos paneles de CLT de menor espesor, rellenando la separación con aislamiento acústico, dejando los paneles vistos o trasdosándolos con cartón-yeso. El tamaño de esas cámaras entre elementos es determinante en las prestaciones de aislamiento acústico de estas particiones (Fig. 38).

→ Diferentes estrategias de atenuación acústica en separaciones verticales.



El diseño de suelos y techos puede variar considerablemente, con la opción básica del panel de CLT recubierto por un material absorbente directamente sobre él. Sin embargo, es más efectivo situar una cámara donde incorporar el material absorbente entre el CLT y el falso techo inferior. Si el espacio lo permite, y el falso techo puede sujetarse de manera independiente, las prestaciones acústicas mejoran considerablemente. En el caso de forjados de entramado ligero, la falta de masa del componente debe solventarse mediante soleras secas o húmedas desolidarizadas de los elementos estructurales, de forma que se garantice el buen comportamiento frente al ruido de impacto (Fig. 39).

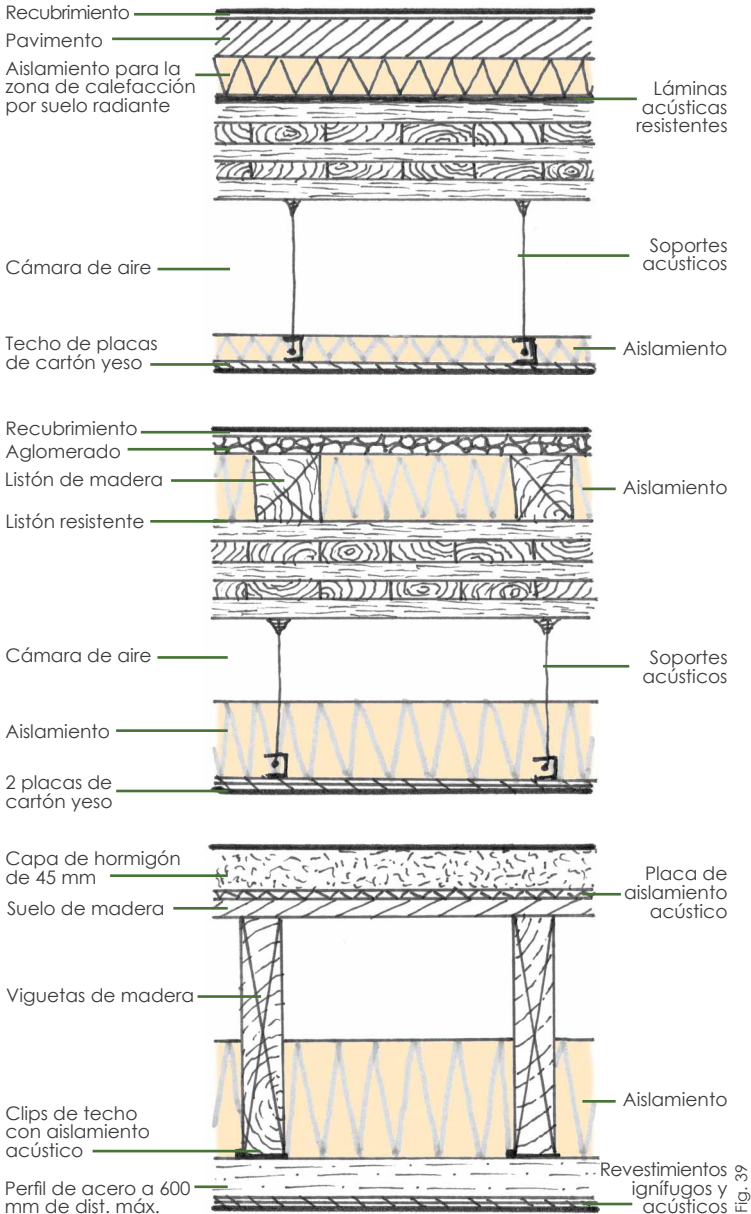
El diseño de estos elementos puede variar en función de la disponibilidad de espesor o profundidad de los elementos, la necesidad de aislamiento de un determinado espacio respecto de los adyacentes, si el propio elemento tiene también requerimientos ante el fuego, si va a instalarse o no un suelo radiante en el elemento horizontal, los acabados, etc.

Los requerimientos acústicos pueden entrar en conflicto con otros requisitos constructivos, por lo que las estrategias de diseño deben tener en cuenta diversas cuestiones al mismo tiempo. Por ejemplo, en los suelos los acabados blandos y flotantes minimizan el ruido de impacto, pero pueden comprometer el funcionamiento de un suelo radiante. Cuando las placas de cartón-yeso se montan con perfilera flotante, o sobre bandas acústicas, la cavidad resultante puede utilizarse para el trazado de las instalaciones, lo cual también forma parte de las estrategias de encapsulamiento

frente al riesgo de incendios. El aislamiento acústico habitualmente funciona también como aislamiento térmico. Las variables de diseño y sinergias entre estrategias son múltiples para conseguir prestaciones acústicas adecuadas para los edificios residenciales en madera. [•]

[•] Gagnon, 2011, p.231.

← Diferentes estrategias de atenuación acústica en separaciones horizontales.



## COMPORTAMIENTO TÉRMICO, HERMETICIDAD Y DIFUSIÓN DE VAPOR REQUERIMIENTOS HIGROTÉRMICOS PARA LOS EDIFICIOS DE CONSUMO CASI NULO CONSTRUIDOS EN MADERA

La envolvente del edificio actúa como separación entre el ambiente interior y el exterior. Su función principal es frenar la acción del clima exterior, y mantener un confort térmico, ambiental y acústico en el interior del edificio. Los factores que determinan la definición de la envolvente en función de sus prestaciones y su durabilidad son: la selección de los materiales; el detalle de los diferentes encuentros para evitar los puentes térmicos, y el control en el movimiento del aire, el vapor y la humedad; y el control de calidad durante los procesos de fabricación y construcción para garantizar que los aspectos anteriores se cumplen a lo largo de la vida útil del edificio.

Para el diseño de las envolventes en un edificio de madera hay que tener en consideración las propiedades particulares del material, especialmente cómo puede verse afectado ante una exposición prolongada frente al agua, así como las contracciones o mermas a corto y largo plazo que puedan producirse por la acción de cargas estructurales o cambios en el contenido de humedad.

Habitualmente estos cerramientos tendrán la doble función de envolvente y estructura, por lo que deberán estar diseñadas para resistir esos esfuerzos estructurales, así como los movimientos diferenciales que se puedan producir, los cuales pueden variar ostensiblemente de la parte inferior a la superior del edificio. Igualmente deberán facilitar el secado de la humedad que pueda infiltrarse en la envolvente desde el interior o el exterior. La protección de los elementos de madera durante la construcción es un factor fundamental en la calidad del edificio (Fig. 40).

Por definición, los edificios de bajo consumo energético deben incluir altos niveles de aislamiento en la envolvente. Esto produce un enorme gradiente térmico entre el interior y el exterior tanto en fachadas como en cubiertas, lo cual requiere un diseño riguroso y una construcción precisa, donde la física de la construcción adquiere una importancia decisiva, así como el control de los puentes



Fig. 40

térmicos, la humedad y el movimiento del aire, evitando condensaciones y crecimiento de mohos.

El aislamiento es sólo uno de los componentes que forman la envolvente del edificio, pero probablemente sea el más importante en términos de conservación de la energía y confort térmico. El aislamiento térmico tiene en todos los casos un impacto medioambiental positivo porque reduce la demanda de energía que necesita el edificio durante su vida en uso. Sin embargo, la huella ecológica del propio material aislante debe tenerse en consideración. Este impacto depende de muchos factores, incluyendo los métodos de extracción, procesamiento y fabricación. Habitualmente se consideran medioambientalmente adecuados materiales como la fibra de vidrio y la lana mineral, así como las fibras de madera y celulosa, si bien los diferentes análisis de ciclo de vida pueden hacer difícil la comparación entre materiales.

El aislamiento térmico también puede cumplir otras funciones: resistencia al fuego, control de la humedad o atenuación acústica. Tanto la fibra de madera como la celulosa son más sensibles a la exposición al agua que los materiales de fibras minerales. Sin embargo, si se controla esta exposición a la humedad, la naturaleza higroscópica de estos materiales puede contribuir a estabilizar la hume-

↑ Estrategias de protección frente a la humedad y la lluvia de una estructura de madera durante su montaje.

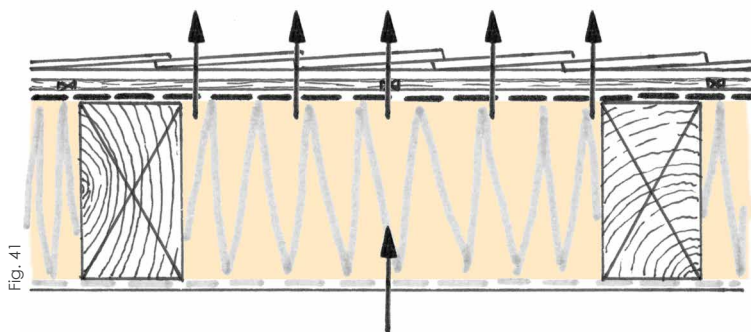


dad ambiental interior, haciéndolos particularmente útiles en una construcción abierta al paso de vapor.

Para unas mismas prestaciones térmicas, los espesores de aislamiento varían entre materiales minerales y materiales orgánicos como la fibra de madera y la celulosa, consiguiéndose menores espesores con los primeros. Sin embargo, esta menor prestación térmica puede ser contrarrestada con otras prestaciones a tener en cuenta en el diseño, como por ejemplo la inercia térmica que proporciona la mayor densidad de estos materiales, la cual ayuda a la estabilización de la temperatura, la resistencia al fuego o las prestaciones acústicas. Teniendo en cuenta la condición estructural de muchos de estos cerramientos, la interacción entre dimensiones estructurales y necesidades de espesor de aislamiento en función de los materiales elegidos, cobra especial importancia en la definición de la envolvente de los edificios de consumo casi nulo.

Los frenos de vapor se utilizan para controlar la difusión de vapor de agua a través de los cerramientos, y para prevenir las condensaciones en las superficies frías mientras el vapor migra a través del cerramiento. Estos frenos de vapor son más importantes en climas fríos, donde la necesidad de calefacción es mayor. Se colocan en la cara caliente del aislamiento, y deben estar definidos por el valor de resistencia al paso de vapor  $S_d$ . El freno de vapor debe elegirse en función de los valores de permeabilidad al paso del vapor de los diferentes materiales que conforman un cerramiento. Es importante entender el funcionamiento frente al paso del vapor de todas las capas del cerramiento, para obtener cerramientos abiertos a la difusión de vapor del interior al

→ Difusión de vapor a través de un cerramiento superaislado mediante una correcta elección de las láminas. Barrera de vapor con alto valor  $S_d$  al interior, lamina impermeable transpirable con bajo valor  $S_d$  al exterior.



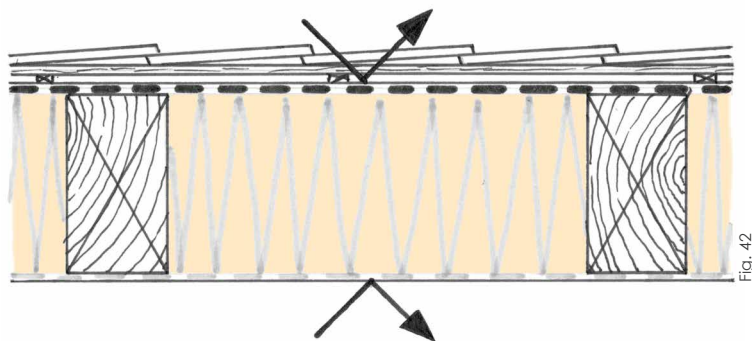


Fig. 42

← Funcionamiento variable según la humedad de las láminas frente a la difusión de vapor: en invierno más cerradas a la difusión de vapor protegiendo el aislamiento ante la entrada de humedad; baja resistencia a la difusión de vapor en verano permitiendo el secado y redifusión desde el aislamiento hacia el interior.

exterior del edificio. La secuencia de capas aislantes debe ser cada vez más permeable al vapor conforme vamos del interior al exterior del cerramiento. Así, en el caso de que la humedad penetre en el cerramiento, o que ocurran condensaciones intersticiales, se permite que sequen de manera natural, con la humedad migrando del interior al exterior (Fig. 41).

Las barreras al aire, se utilizan para impedir el paso del aire exterior al ambiente interior o viceversa, de forma que se controla las pérdidas o ganancias de energía, así como la transferencia de humedad. Es lo que se denomina hermeticidad de la envolvente. La cantidad de aire que pasa a través de estas barreras depende de la diferencia de presión de un lado al otro de la barrera. Con el edificio en servicio, estos parámetros dependerán de la presión mecánica dentro del edificio, la velocidad del viento y su dirección (generando presión y depresión) y la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del edificio. Mantener la continuidad de estas barreras tanto en su unión con otros materiales herméticos, como en las perforaciones que sea necesario realizar, es crucial para mantener unas prestaciones elevadas de confort y baja demanda energética. El vapor de agua también puede ser transportado por el aire. [•]

Las barreras resistentes al agua se colocan habitualmente en el exterior de los cerramientos para proteger los componentes vulnerables del daño causado por el agua que pueda penetrar desde el exterior. Como en las barreras al aire, el detalle de sus numerosos encuentros, sellados, etc., es de especial importancia en la construcción con madera,

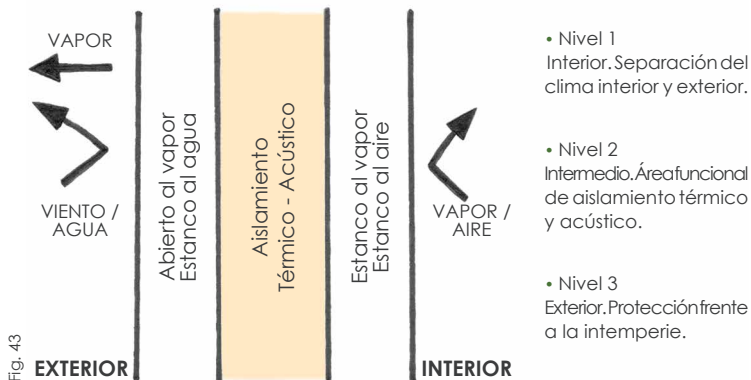
[•] Knaak, 2018, p.232.

ya que una exposición prolongada a la humedad puede causar hongos o moho, o crear condiciones propicias para el ataque de insectos.

Estos elementos están orientados a controlar la presencia de humedad en el interior de los cerramientos, lo cual debe hacerse también durante las fases de transporte y montaje. El contenido de humedad de los componentes de madera no debe superar el 19-20%, lo cual debe testarse durante el proceso de construcción. La protección de los elementos durante el montaje e instalación debería convertirse en una práctica habitual, ya sea mediante la instalación de toldos o andamios móviles en obra, o mediante la prefabricación de los diferentes elementos de envoltente colocando las láminas protectoras en taller. Mantener el contenido de humedad adecuado en la vida en uso del edificio depende de la efectividad del diseño y las estrategias de hermeticidad al paso del aire y difusión de humedad y vapor a través de los cerramientos. De esta manera el contenido de humedad de la madera estará en equilibrio, manteniéndose entre el 8% y el 12% en la mayoría de las situaciones.

Por último, el comportamiento térmico de la envolvente del edificio depende no sólo de la continuidad de las barreras de aire, sino también de la continuidad del aislamiento, minimizando o eliminando los puentes térmicos, donde el flujo de energía y las condensaciones pueden ocurrir. Debido a su mayor resistencia térmica, los elementos de madera pueden penetrar a través de la envolvente, o formar parte de ella, sin que afecten significativamente

→ Regla de las tres capas, principio de estanqueidad y aislamiento del cerramiento y sus juntas: Separación del Clima Interior y Exterior/ Aislamiento térmico y acústico/ Protección frente a la intemperie.



a sus prestaciones. Esto tiene especial importancia en la definición de envolventes estructurales, aleros, balcones, anclajes de fachadas ventiladas, etc, las cuales se pueden considerar que tienen el puente térmico roto en el caso de la madera. En cualquier caso, es necesario un estudio y cálculo detallado de los diferentes encuentros constructivos para analizar la incidencia en el flujo de energía y posibles condensaciones de estas disposiciones constructivas. [•]

[•] Klein, 2008, p.232.

En conclusión, cuando se incorpora la madera de manera estructural en la definición de una envolvente de altas prestaciones habitual en edificios de bajo consumo, es necesario tener en cuenta sus propiedades únicas como material, así como conocer y aplicar la física de la construcción. Los gradientes de temperatura, las diferencias de presión, la difusión de vapor y demás factores medioambientales, tienen que tomarse en consideración cuando definimos materiales y detalles constructivos. Igualmente, es importante la fabricación precisa de estos elementos en taller y su montaje en obra, así como la protección frente a la humedad durante el transporte y la construcción, para garantizar una ejecución exitosa de una envolvente efectiva, duradera y de confianza.



FIG. 44

# ANÁLISIS TIPOLÓGICO



## Introducción

- Vitoria - Gasteiz / Lakuabizkarra
- Eibar / Egazelaia
- Gernika / Sector Santa Lucía
- Getxo / Área Kortziñe
- Bilbao / Txurdinaga
- Irun / Oinaurre
- Errenteria / Arramendi
- Bilbao / Arangoiti
- Gasteiz / Portal de Arriaga

## Conclusión

Autores del capítulo:

GONZALEZ-QUINTIAL, FRANCISCO

RICO-MARTINEZ, JOSE MIGUEL

LÓPEZ TEJADA, JULEN

ERAÑA AZKONBIETA, ASIER

DEL PRIM GRACIA, IÑAKI

MARTINEZ DE GOÑI MENTXAKA, UXUE







# INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, el Gobierno Vasco, a través de sus diferentes entidades públicas, ha promovido numerosos edificios de apartamentos dotacionales en Euskadi.

De una primera selección de 20 ejemplos de alojamientos dotacionales estudiados, se han seleccionado 9 ejemplos que se consideran paradigmáticos por sus características tipológicas y por su implantación urbana. Con esta selección se pretende recoger de manera suficiente el abanico de posibilidades y distintas características proyectuales y tipológicas existentes a la hora de enfrentarse a un proyecto de estas características, analizando cada uno de los edificios desde su adaptabilidad a los tipos estructurales en madera.

Por tanto, se analizan y comparan a continuación 9 edificios de alojamientos dotacionales promovidas o construidas en la Comunidad Autónoma del País Vasco. El análisis se centra principalmente en las dimensiones, distribuciones y alturas de las viviendas de cada uno de los edificios en cuestión. De cada propuesta se ha desarrollado una ficha técnica en la que se encuentra una definición del edificio, planos generales del edificio, plantas existentes, esquemas tipológicos y esquema estructural según el modelador paramétrico. En dicho modelador se ha propuesto el cumplimiento de las normativas de habitabilidad actualmente en desarrollo, incluyendo la posibilidad de incorporar espacios exteriores a cada uno de los apartamentos, a modo de balcón o terraza, aunque el proyecto original no los contemplase. En estas fichas comparativas se propone también un pre-dimensionado estructural a modo de resolución básica del esquema de la estructura portante de madera para cada una de las tipologías analizadas.

## VITORIA-GASTEIZ. LAKUABIZKARRA.

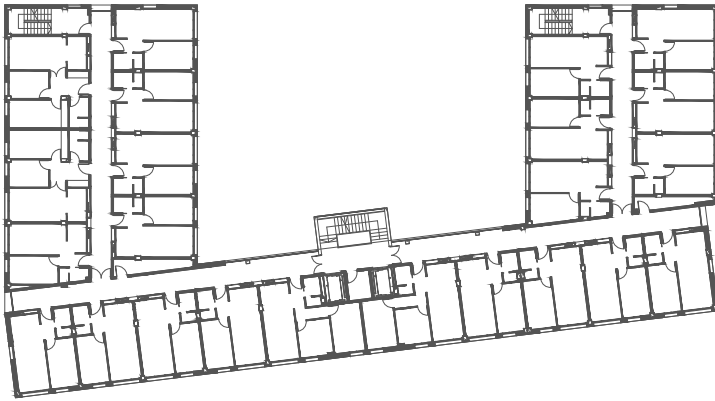
---

- Proyecto original: Augusto Terrero Martínez, Nuria Altuna Jauregi
- Proyecto ejecución: SATIE
- Nº de plantas: sótano+PB+3
- Superficie vivienda individual: 35,70 m<sup>2</sup>
- Superficie vivienda doble: 53,57 m<sup>2</sup>
- Superficie vivienda adaptada: 42,24 m<sup>2</sup>
- Sistema estructural: Hormigón armado

El edificio de 4 plantas sobre rasante, se organiza en forma de C en la que la agregación de los apartamentos se hace de manera lineal siguiendo un corredor de distribución a lo largo de toda la planta. Con el afán de presentar un frente urbano más consolidado, en los brazos cortos del conjunto se ubican apartamentos a ambos lados del pasillo distribuidor, mientras que en el brazo largo los apartamentos ocupan sólo la fachada hacia la calle arbolada, presentando una galería abierta hacia el patio de manzana, en la que se resuelven las comunicaciones.

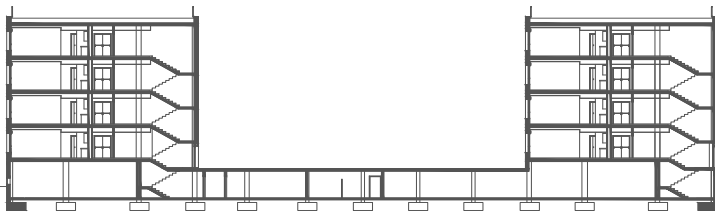
La tipología de apartamento se resuelve mediante la adición de crujías perpendiculares a fachada, planteando en todas ellas un distribuidor de entrada a la vivienda centrado, de forma que el interior se presenta compartimentado. Esta abundante compartimentación permite plantear la estructura principal con la dirección principal en cualquiera de los dos ejes, facilitando su ejecución y minimizando sus espesores.

La propuesta incorpora la generación de energía a través de placas fotovoltaicas en las cubiertas planas del edificio.



← Planta general.

Fig. 45



← Sección general.

Fig. 46



← Render, vista del edificio desde el parque delantero.

Fig. 47

## PLANTA TIPO PROYECTO

## ESQUEMA TIPOLOGICO

### VIVIENDA 1 DORMITORIO

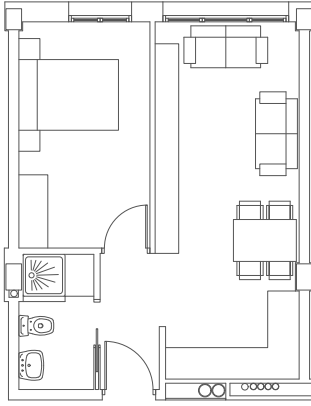


Fig. 48

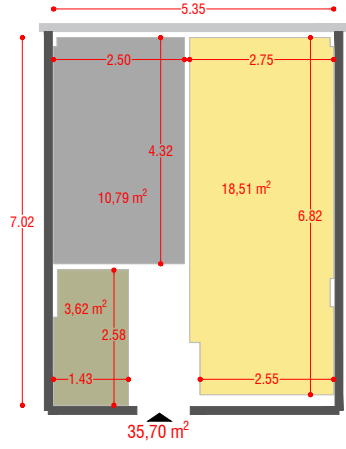


Fig. 51

### VIVIENDA 2 DORMITORIOS

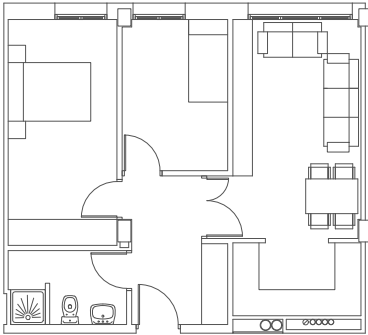


Fig. 49

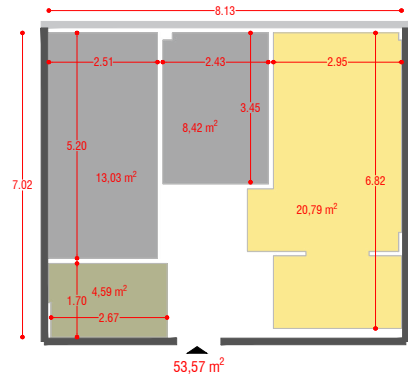


Fig. 52

### VIVIENDA ADAPTADA

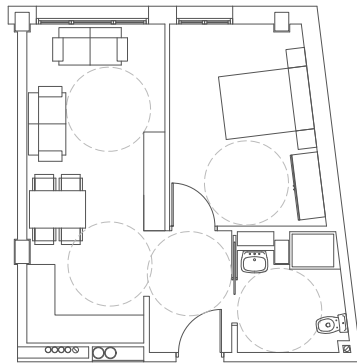


Fig. 50

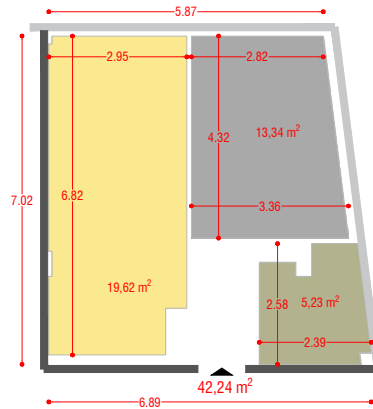
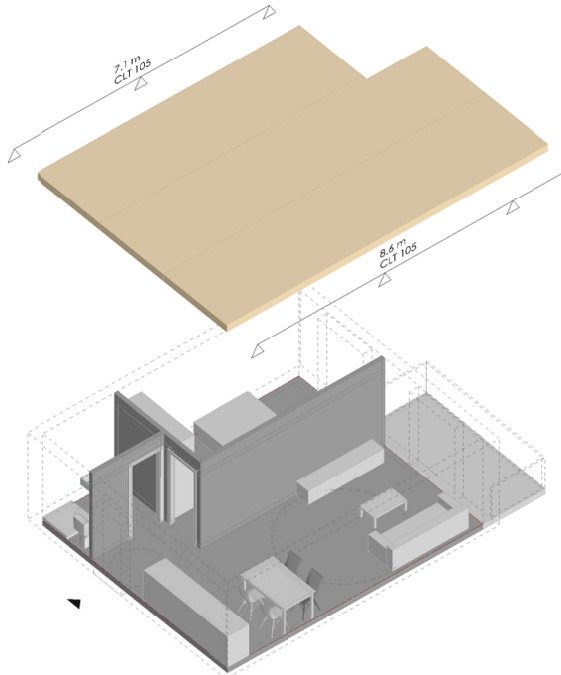


Fig. 53

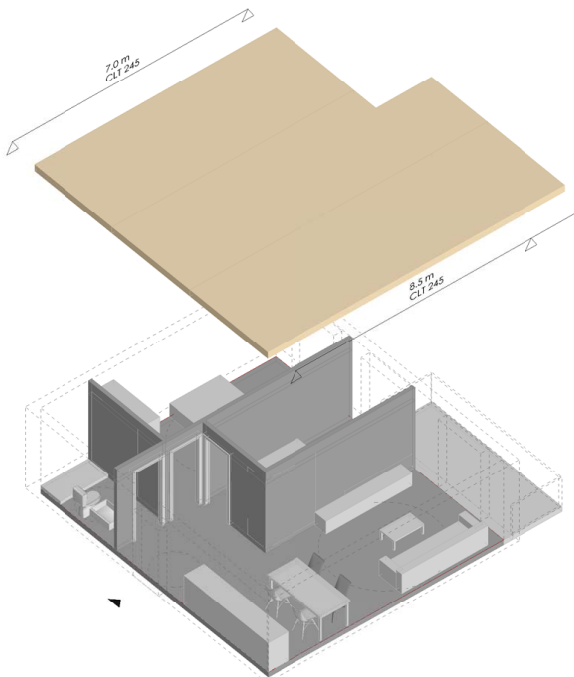
# ESQUEMA SEGÚN MODELADOR PARAMÉTRICO



← Paneles CLT según luz y apoyos:

7,10 m / CLT 105  
8,60 m / CLT 105

Fig. 54



← Paneles CLT según luz y apoyos:

7,00 m / CLT 245  
8,50 m / CLT 245

Fig. 55



- Arquitectos: Pedro Artolozaga Bengoetxea, Zona Novarino S.L.
- Nº de plantas: 9 (3 bajo rasante)
- Superficie vivienda individual: 42,15 m<sup>2</sup>
- Superficie vivienda doble: 52,70 m<sup>2</sup>
- Superficie vivienda adaptada: 48,95 m<sup>2</sup>
- Sistema estructural: Hormigón armado

En un entorno urbanísticamente abigarrado se emplaza este edificio de 9 plantas, proponiendo la densificación urbana mediante la agregación de apartamentos en altura siguiendo, como en el caso anterior, un corredor central, de forma que las comunicaciones del conjunto se resuelven con un único núcleo vertical.

En cuanto a la distribución del apartamento tipo, ésta se resuelve de una manera similar al edificio de Vitoria, planteando en todas sus variaciones un distribuidor de entrada a la vivienda centrado, de forma que el interior se presenta compartimentado, si bien en este caso se propone una comunicación más fluida entre dicho distribuidor y la zona de día. Como en el caso anterior, la distribución permite plantear la estructura con su dirección principal en cualquiera de los dos ejes predominantes, en función de las necesidades de liberar la fachada de su componente estructural.

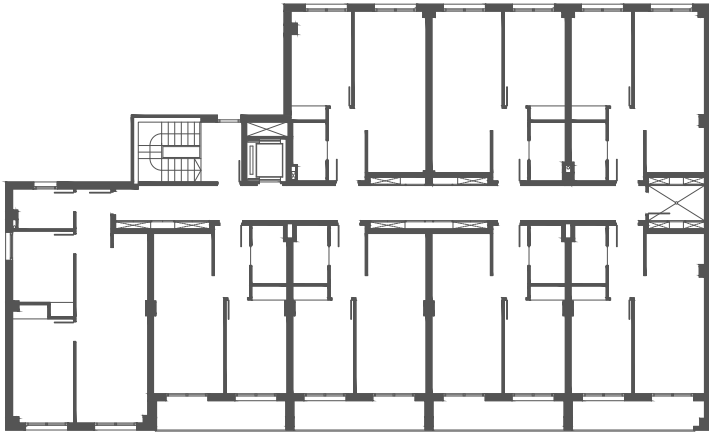


Fig. 56

← Planta general.

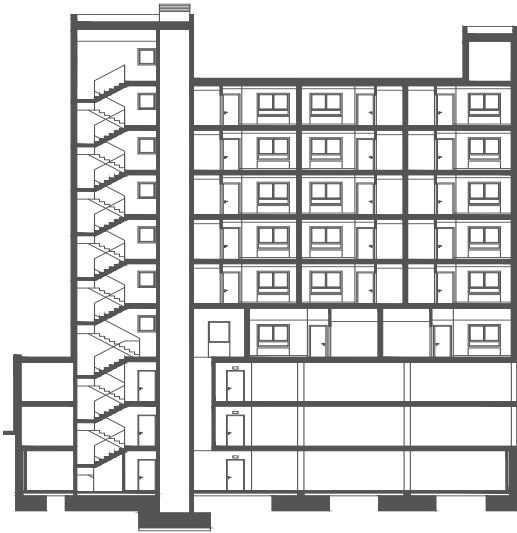


Fig. 57

← Sección general.



Fig. 58

← Vista del edificio desde carretera principal.

## PLANTA TIPO PROYECTO

## ESQUEMA TIPOLOGICO

### VIVIENDA 1 DORMITORIO

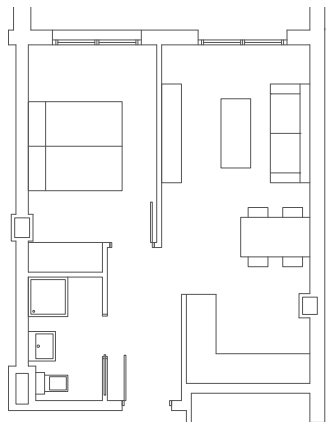


Fig. 59

### VIVIENDA 2 DORMITORIOS

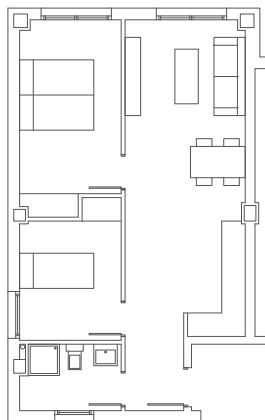


Fig. 60

### VIVIENDA ADAPTADA

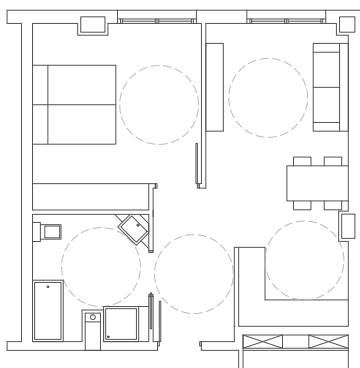


Fig. 61

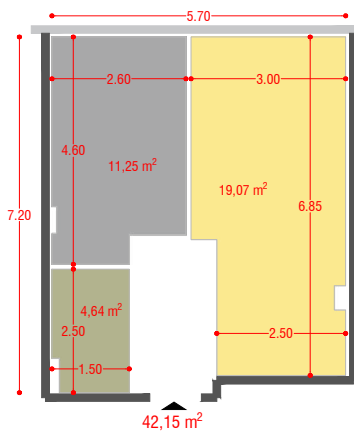


Fig. 62

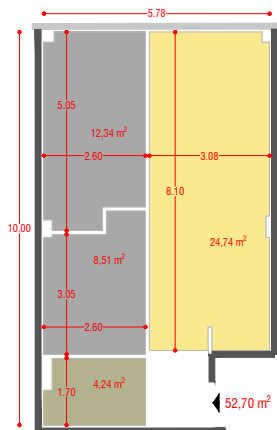


Fig. 63

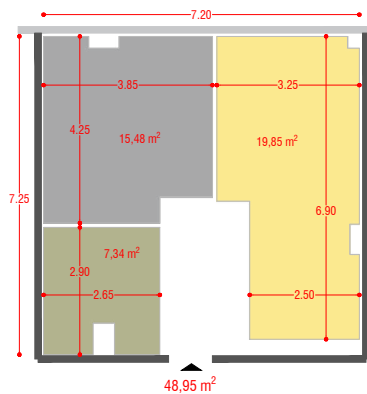
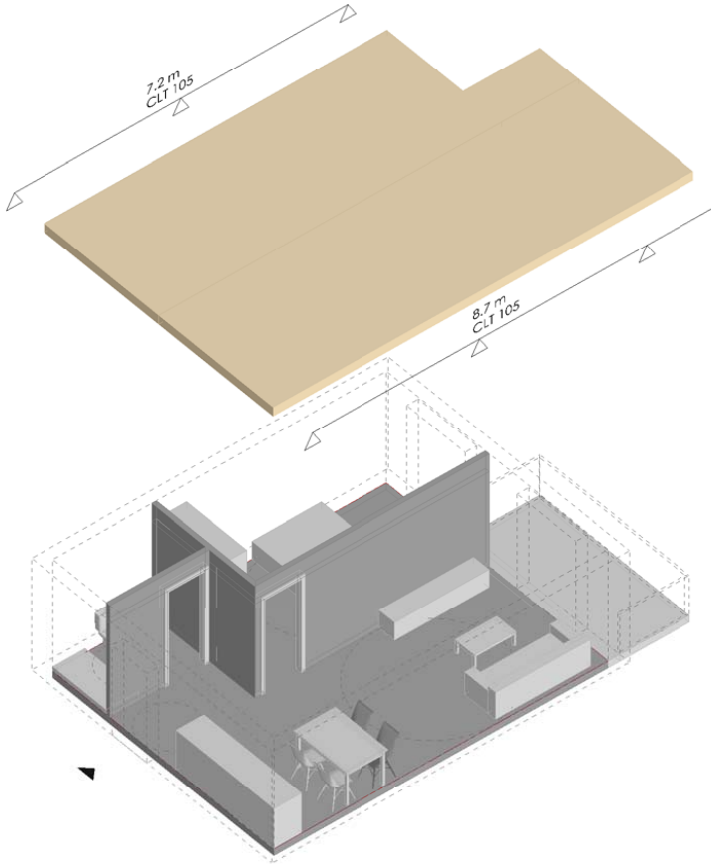


Fig. 64

# ESQUEMA SEGÚN MODELADOR PARAMÉTRICO



← Paneles CLT  
según luz y  
apoyos:

7,20 m / CLT 105  
8,70 m / CLT 105

Fig. 65

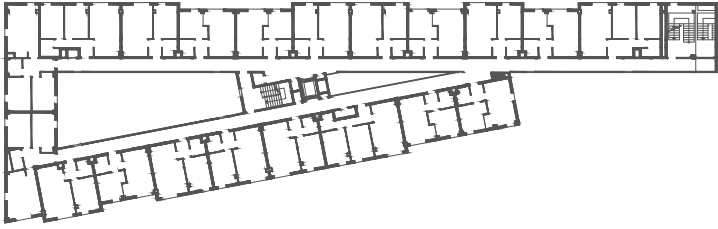
## GERNIKA. SECTOR SANTA LUCÍA.

---

- Arquitectos: Josu Gárate Suinaga
- Nº de plantas: PB + 4
- Superficie vivienda individual: 42,12 m<sup>2</sup>
- Superficie vivienda doble: 58,28 m<sup>2</sup>
- Superficie vivienda adaptada: 48,27 m<sup>2</sup>
- Sistema estructural: Hormigón armado

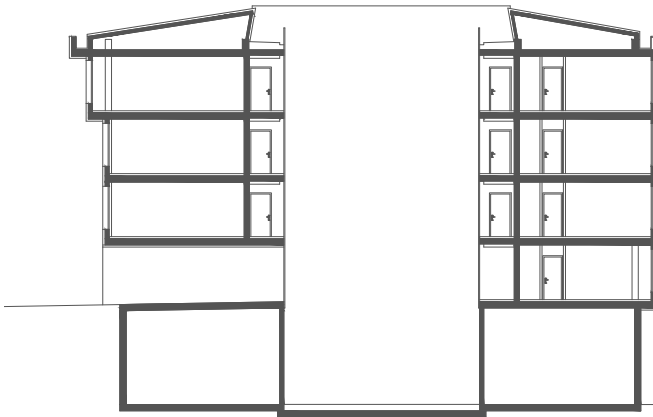
La propuesta plantea un edificio lineal que se desarrolla por agregación de los apartamentos en torno a un corredor de gran longitud, únicamente en uno de sus lados. Esta cinta programática de apartamentos con corredor se pliega en uno de los extremos de la parcela para seguir la alineación de la misma, generando un patio interior de forma poligonal al que vierten las galerías de acceso a las viviendas, presidido por el núcleo vertical de comunicaciones del conjunto. El esquema se repite en las 4 plantas alzadas del edificio.

La tipología de apartamento difiere de las anteriores, proponiendo un desarrollo extensivo en la dirección paralela a fachada, disminuyendo el fondo de la célula tipológica. De esta forma la profundidad del apartamento tipo ronda los 6,30 metros, permitiendo la generación de espacios interiores más flexibles al liberar a las separaciones perpendiculares a fachada de su misión estructural. Esta característica sí que condiciona en mayor medida el esquema estructural del conjunto, pareciendo evidente la idoneidad de que la dirección principal de los forjados sea perpendicular a fachada en este caso.



← Planta general.

Fig. 66



← Sección general.

Fig. 67



## PLANTA TIPO PROYECTO

## ESQUEMA TIPOLOGICO

### VIVIENDA 1 DORMITORIO

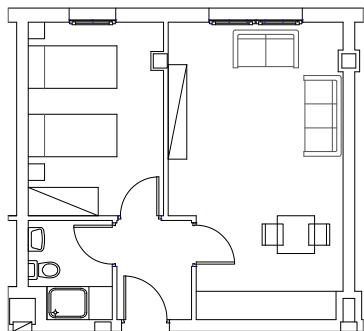


Fig. 68

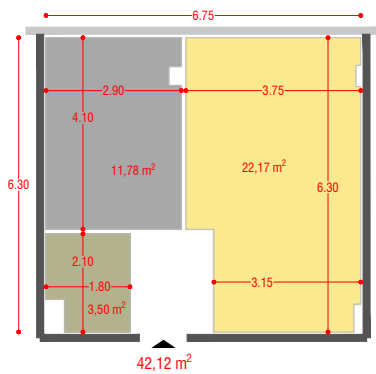


Fig. 71

### VIVIENDA 2 DORMITORIOS

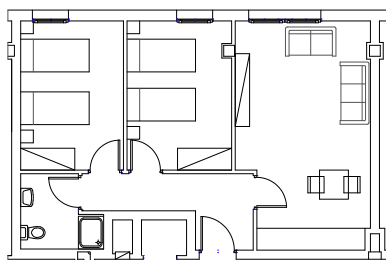


Fig. 69

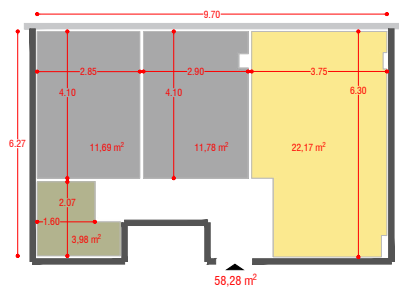


Fig. 72

### VIVIENDA ADAPTADA

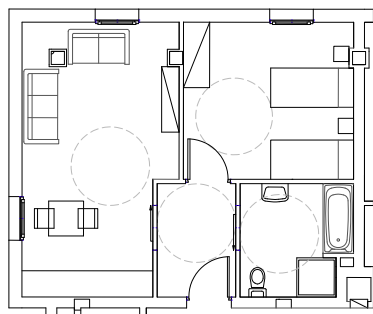


Fig. 70

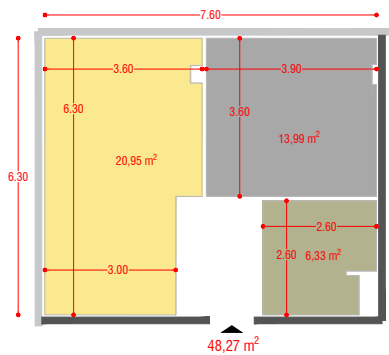
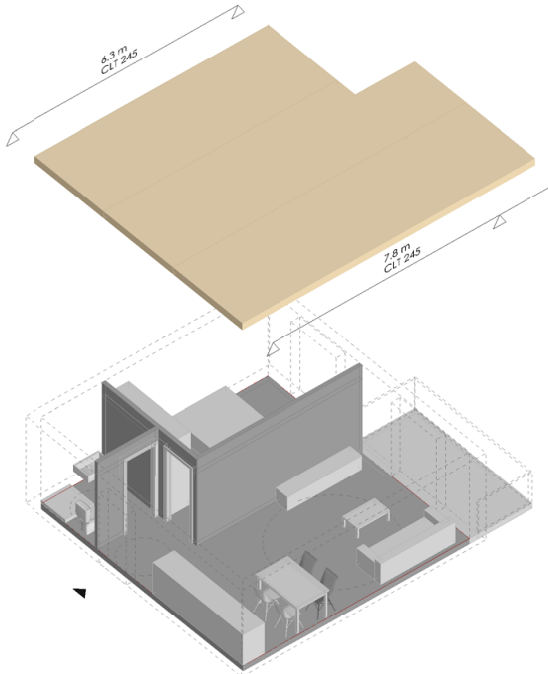


Fig. 73

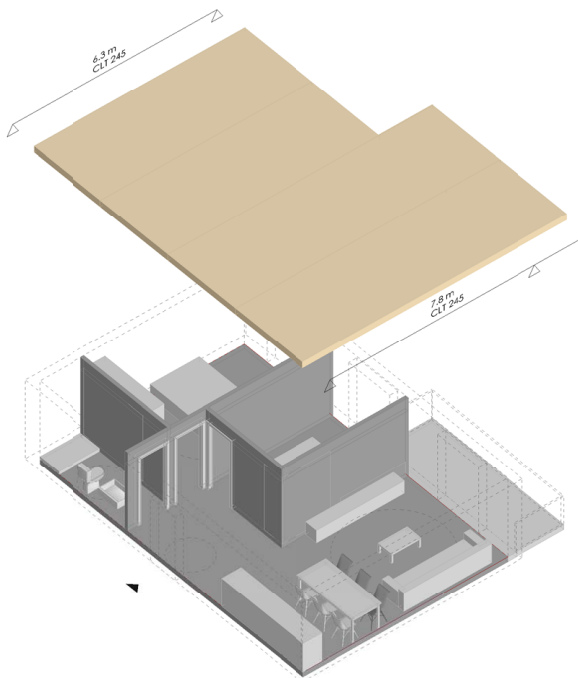
# ESQUEMA SEGÚN MODELADOR PARAMÉTRICO



← Paneles CLT  
según luz y  
apoyos:

6,30 m / CLT 245  
7,80 m / CLT 245

Fig. 74



← Paneles CLT  
según luz y  
apoyos:

6,30 m / CLT 245  
7,80 m / CLT 245

Fig. 75

## GETXO. ÁREA KORTZIÑE.

- Arquitectos: Oneka Arquitectura, Aitor Fernández Oneka, Jon Aranguren
- N° de plantas: sótano+PB+2
- Superficie vivienda individual: 41,17 m<sup>2</sup>
- Superficie vivienda doble: 58,11 m<sup>2</sup>
- Superficie vivienda adaptada: 53,50 m<sup>2</sup>
- Sistema estructural: Hormigón armado

En el entorno urbano de baja densidad del Área Kortziñe se propone un edificio con planta en L, en el que la mayoría de apartamentos se orienta hacia el paisaje y la naturaleza circundante. Esto se consigue diferenciando la agregación de apartamentos en ambos brazos de la L, con apartamentos a ambos lados del corredor en el brazo corto, de sólo dos plantas sobre rasante, y apartamentos en uno de los lados del corredor en el brazo largo, de 3 plantas sobre rasante. En este caso, mediante escalonamientos de la edificación, se proponen terrazas privativas vinculadas a los diferentes apartamentos de forma que el habitar se extienda al exterior, incorporando elementos vegetales a modo de protección solar en verano.

El esquema tipológico de los apartamentos tipo de 1 dormitorio se diferencia de los otros casos analizados hasta el momento en que se propone la entrada a la vivienda directamente al espacio de cocina-salón. De manera similar que en el caso de Gernika, el fondo del apartamento está en torno a los 6 metros, lo que invita a que el planteamiento estructural sea con los forjados perpendiculares a fachada, permitiendo la flexibilidad o incluso desaparición de las particiones interiores entre salón y dormitorio. Las esquinas, habitualmente obviadas en los otros proyectos analizados mediante la aparición de testers, se resuelven de manera exitosa en este edificio siguiendo los mismos criterios tipológicos del resto de apartamentos.

← Planta general.

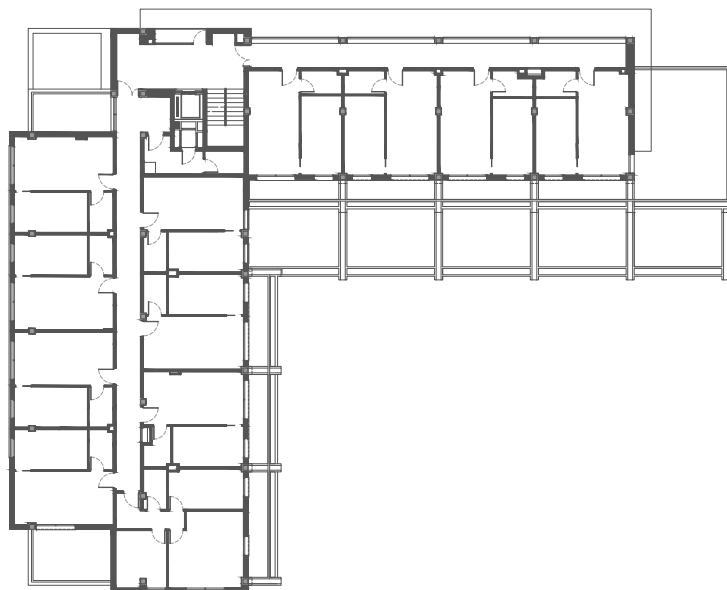


Fig. 76

← Sección general.

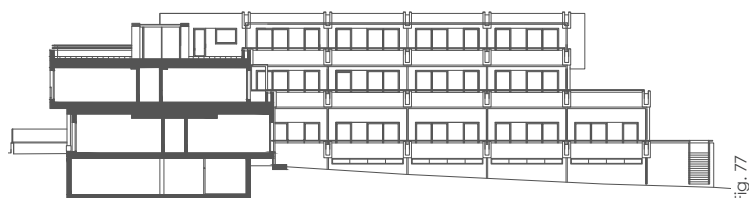


Fig. 77

← Render, vista del edificio desde parque.



Fig. 78

## PLANTA TIPO PROYECTO

## ESQUEMA TIPOLOGICO

### VIVIENDA 1 DORMITORIO

Fig. 79

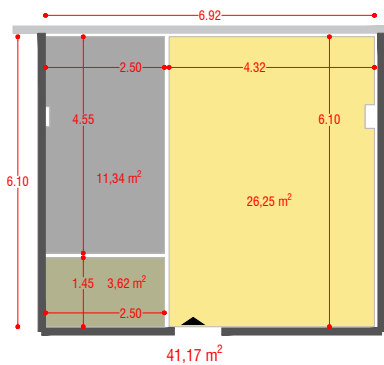
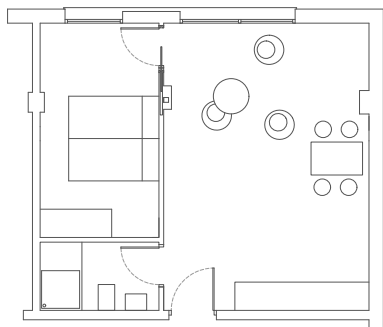


Fig. 82

### VIVIENDA 2 DORMITORIOS

Fig. 80

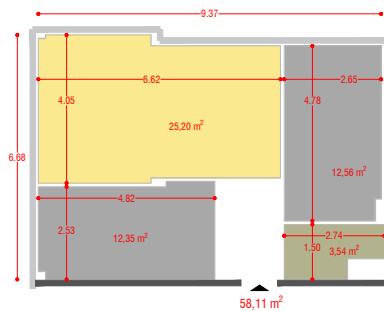
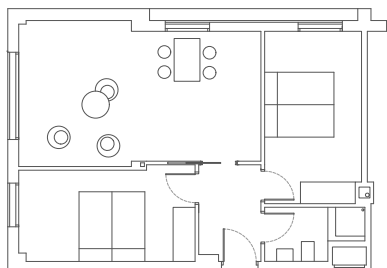


Fig. 83

### VIVIENDA ADAPTADA

Fig. 81

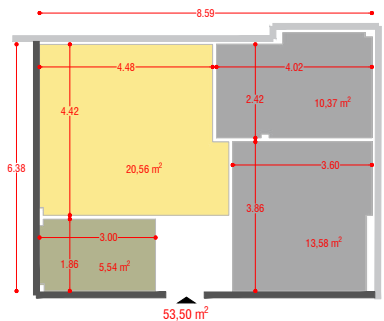
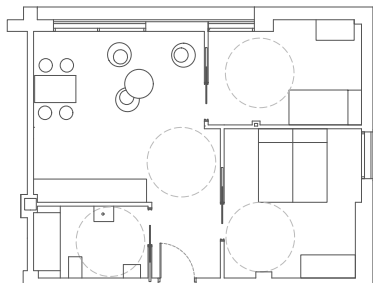
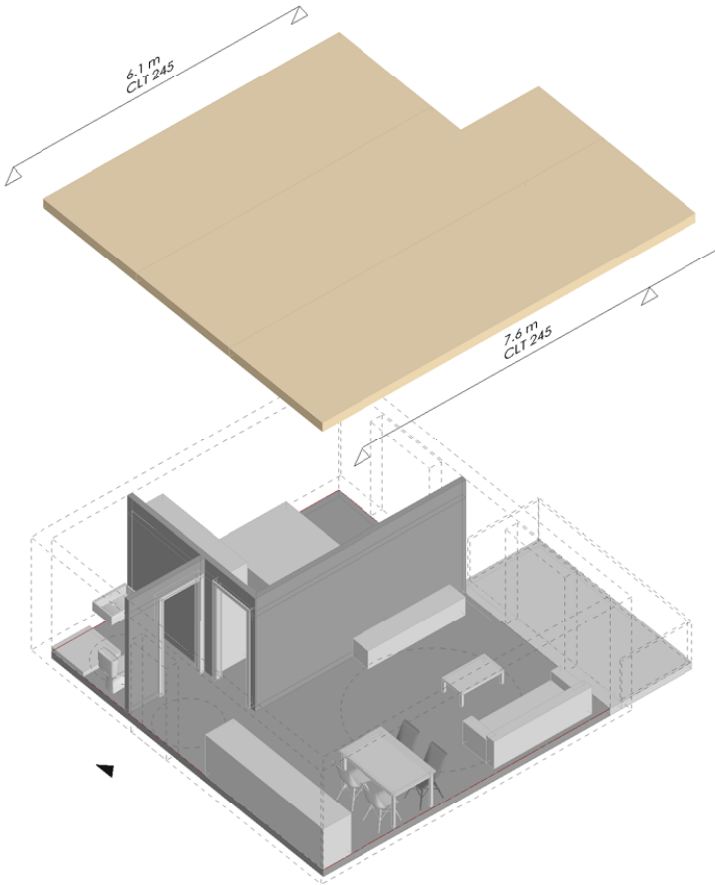


Fig. 84

# ESQUEMA SEGÚN MODELADOR PARAMÉTRICO



← Paneles CLT  
según luz y  
apoyos:

6,10 m / CLT 245  
7,60 m / CLT 245

Fig. 85



- Arquitectas del anteproyecto: Luisa A. Lumbreras Cañada, Ana M<sup>a</sup> Bravo Ortega
- Arquitectas/os del proyecto de ejecución: TGA Arquitectura, Begoña García Gordo, Juan Carlos Linares Fernández, Silvia Saldaña Vela, Yoana Urralburu Soto.
- Nº de plantas: 7 (2 bajo rasante)
- Superficie vivienda individual: 30,36 m<sup>2</sup>
- Superficie vivienda doble: 51,35 m<sup>2</sup>
- Superficie vivienda adaptada: 36,42 m<sup>2</sup>
- Sistema estructural: Hormigón armado

La configuración del barrio de Txurdinaga responde a las directrices de un urbanismo moderno con predominio de edificaciones exentas, generalmente torres residenciales dispuestas entre zonas ajardinadas y amplias avenidas. En este contexto, el edificio de 5 plantas sobre rasante se ordena en dos crujías separadas por un corredor longitudinal que recorre el edificio de N a S, dando acceso a la totalidad de los alojamientos. Siete pequeños patios pasantes se intercalan a distancias regulares a lo largo del recorrido de la planta aportando luz a los espacios de circulación.

Los apartamentos tipo se conforman como un espacio único, dónde el mobiliario ordena los usos de estar, comer, cocinar y dormir, más un aseo independiente. La posición del baño posibilita su uso desde el acceso o desde la zona de dormir. Los alojamientos de un dormitorio disponen de una estancia que agrupa los usos de estar, comer y cocinar, más un dormitorio exterior y un aseo que comparten un pequeño vestíbulo de acceso independiente de la estancia principal. En todos los casos el patio aporta una pequeña entrada de luz y permite la ventilación cruzada del alojamiento.

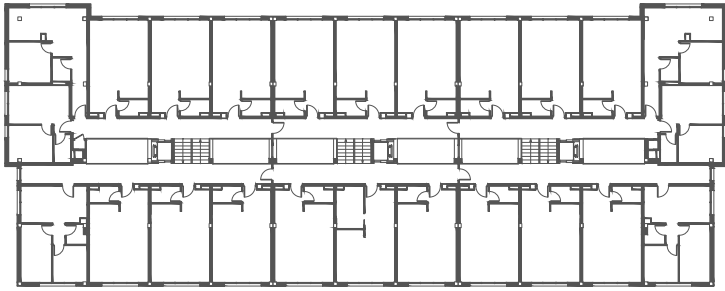


Fig. 86

← Planta general.

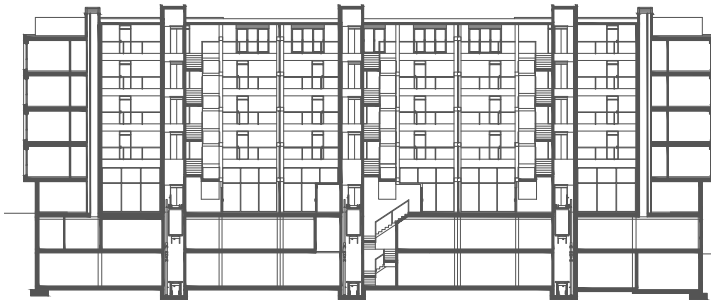


Fig. 87

← Sección general.



Fig. 88

← Render, vista del edificio desde la calle.

## PLANTA TIPO PROYECTO

## ESQUEMA TIPOLOGICO

### VIVIENDA 1 DORMITORIO

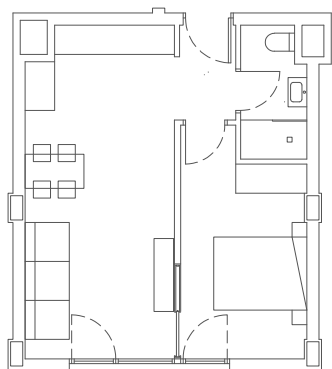


Fig. 89

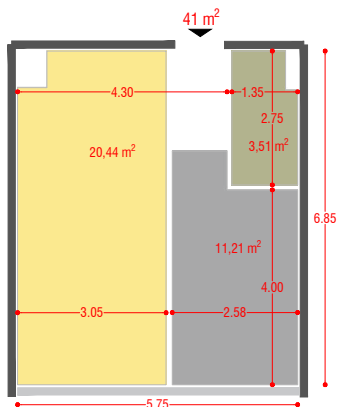


Fig. 92

### VIVIENDA 2 DORMITORIOS

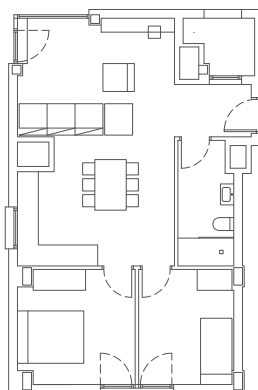


Fig. 90

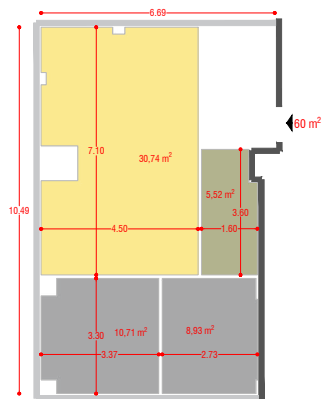


Fig. 93

### VIVIENDA ADAPTADA

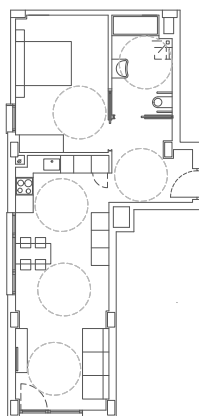


Fig. 91

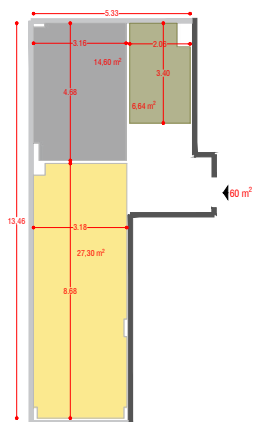
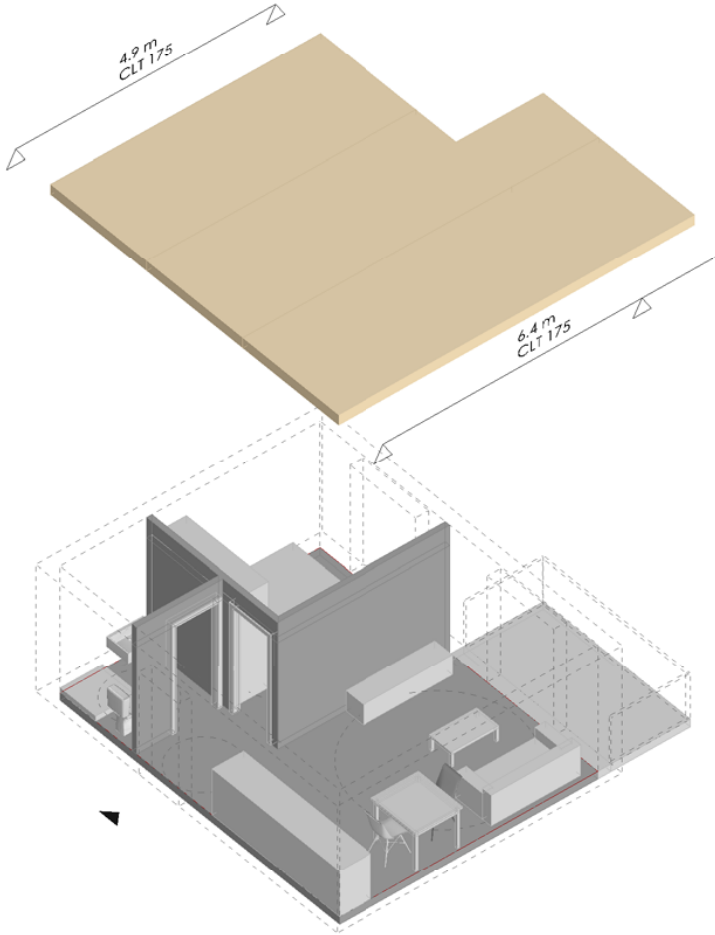


Fig. 94

# ESQUEMA SEGÚN MODELADOR PARAMÉTRICO



← Paneles CLT según luz y apoyos:

4,90 m / CLT 175  
6,40 m / CLT 175

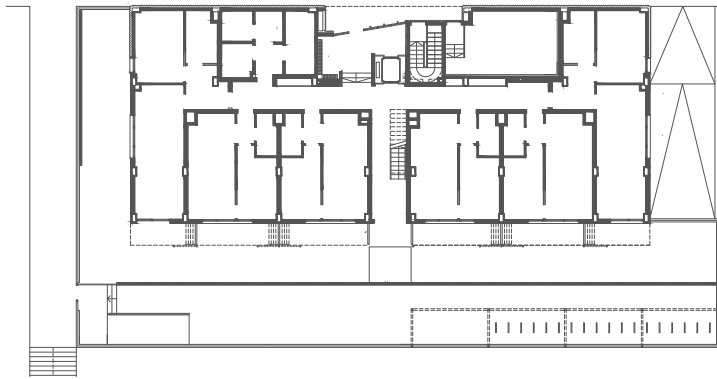
Fig. 95

- Arquitectas/os: Enrique Muga Francisco, Joseba Fernández Beldarrain, Beatriz Bergasa Balda y Ekain Olaizola Lizarralde.
- Nº de plantas: Sótano + PB + 4
- Superficie vivienda individual: 41 m<sup>2</sup>
- Superficie vivienda doble: 60 m<sup>2</sup>
- Superficie vivienda adaptada: 60 m<sup>2</sup>
- Sistema estructural: Hormigón armado

El edificio se inserta en una trama urbana de extensión de la ciudad configurada por bloques similares de cinco plantas sobre rasante, a modo de ensanche con una clara dirección lineal. El bloque construido se organiza con un único núcleo de comunicaciones en torno al cual, y distribuidos por un pasillo central, pivotan 8 alojamientos por planta. Debido a esta configuración, los alojamientos disfrutan en su mayoría de una única orientación, diferenciándose claramente las fachadas en función de la radiación solar recibida, con generosas terrazas y celosías a sur, y huecos enrasados en fachada hacia el norte, con terraza en esquina.

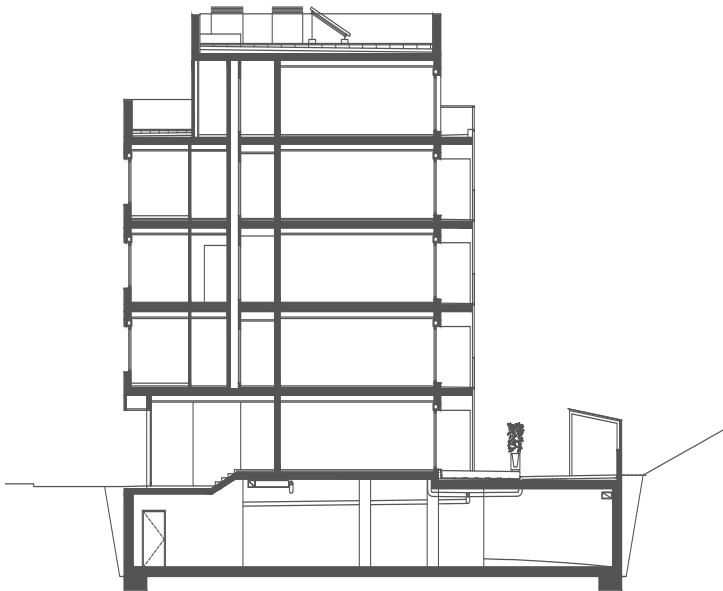
En cuanto a las tipologías, el edificio tiene alojamientos dotacionales de 1 y 2 dormitorios, con una clara diferenciación entre aquellos que recaen hacia fachadas norte, con un marcado desarrollo de los espacios en paralelo a la fachada, y los de orientación sur, notablemente más profundos y con menos frente de fachada ocupado por las terrazas. Como solución adicional, los apartamentos en esquina disfrutan de doble orientación, incluyendo terraza.

En este caso, al estar el pasillo distribuidor descentrado en planta, la disposición estructural podría variar en función de las orientaciones, pudiendo plantearse líneas estructurales principales perpendiculares a fachada en la orientación sur, y paralelas a fachada en la orientación norte.



← Planta general.

Fig. 96



← Seccion general.

Fig. 97



← Vista del edificio desde la calle.

Fig. 98

## PLANTA TIPO PROYECTO

### VIVIENDA 1 DORMITORIO

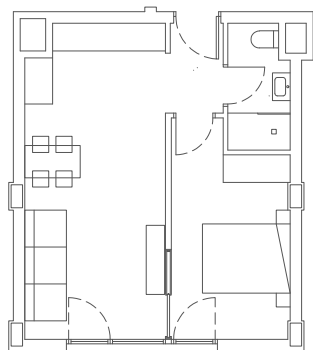


Fig. 99

### VIVIENDA 2 DORMITORIOS

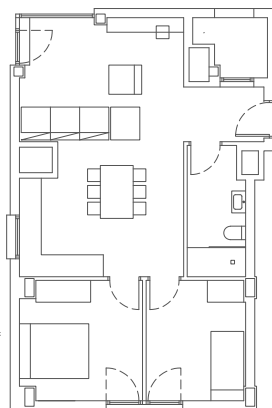


Fig. 100

### VIVIENDA ADAPTADA

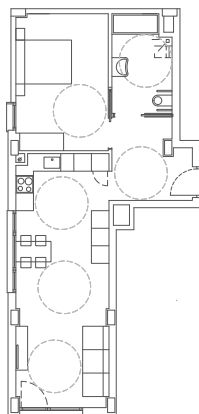


Fig. 101

## ESQUEMA TIPOLOGICO

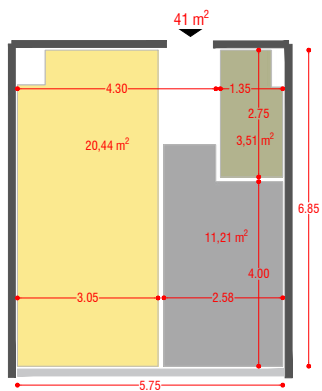


Fig. 102

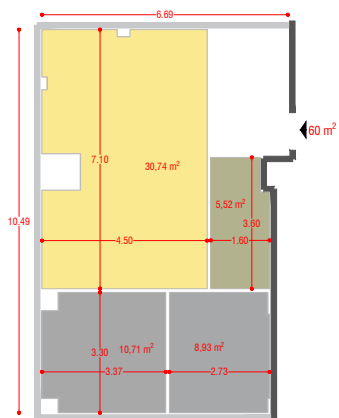


Fig. 103

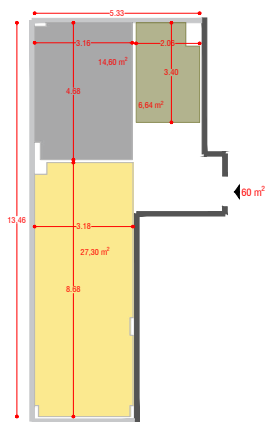
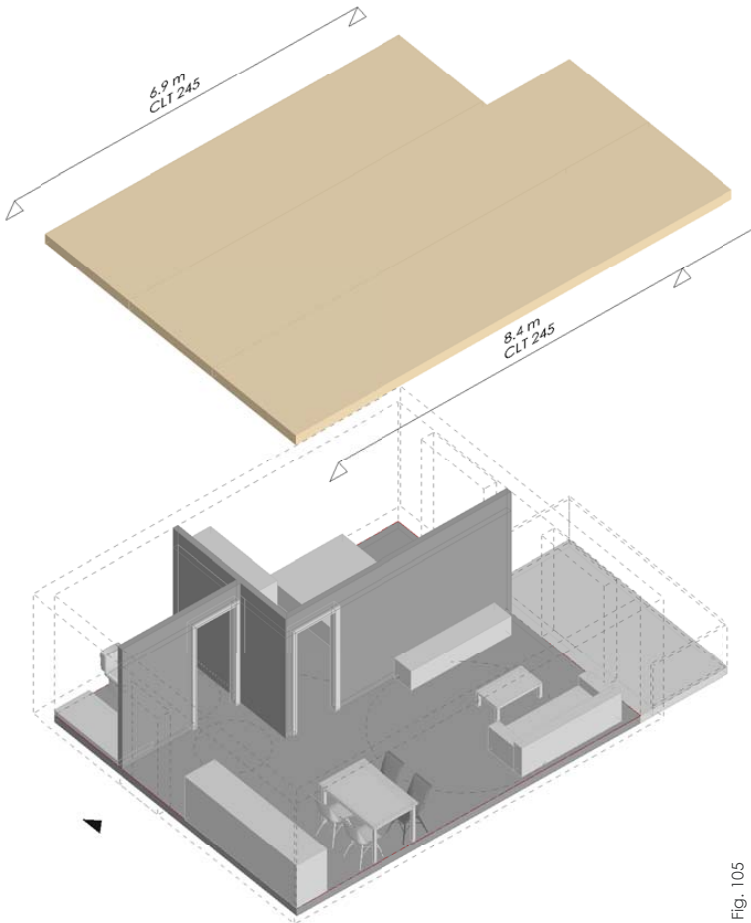


Fig. 104



# ESQUEMA SEGÚN MODELADOR PARAMÉTRICO



← Paneles CLT según luz y apoyos:

6,90 m / CLT 245  
8,40 m / CLT 245

Fig. 105

- Arquitectos: Javier Rodríguez Alcoba y Carlos Rodríguez Alcoba.
- Nº de plantas: Sótano + PB + 3
- Superficie vivienda individual: 38,49 m<sup>2</sup>
- Superficie vivienda doble: 52,34 m<sup>2</sup>
- Superficie vivienda adaptada: 54,20 m<sup>2</sup>
- Sistema estructural: Hormigón armado

Edificio de 51 alojamientos dotacionales de 1 y 2 dormitorios se ubica al Este del parque de Arramendi, colindante con el desarrollo urbano más reciente del barrio de las Agustinas. Se implanta en una zona de baja densidad, proponiendo un bloque alargado de 58 metros y 4 plantas sobre rasante escalonadas adaptándose al terreno.

Se trata de una edificación compacta, orientada Norte/Sur (Este/Oeste para los alojamientos dotacionales), con una sección que se adapta al terreno, asentándose de manera respetuosa sobre la vaguada y deslizándose ligeramente hacia el Casco, reduciendo su impacto en la zona de acceso o antepuerta del Parque Arramendi.

El núcleo de comunicación vertical del edificio está situado en la zona central, y la distribución a los alojamientos en cada planta se realiza a través de un pasillo central, iluminado cenitalmente a través de pequeños patios que se formalizan a lo largo del pasillo.

A nivel estructural el edificio se ha modulado a base de una retícula de 5,80 metros que permite ajustar, tanto la ordenación de alojamientos en plantas altas como el garaje en plantas semisótano y sótano, posibilitando una transposición a diferentes sistemas estructurales en madera.

← Planta general.

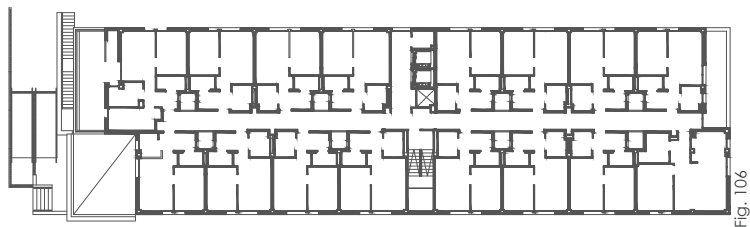


Fig. 106

← Sección general.

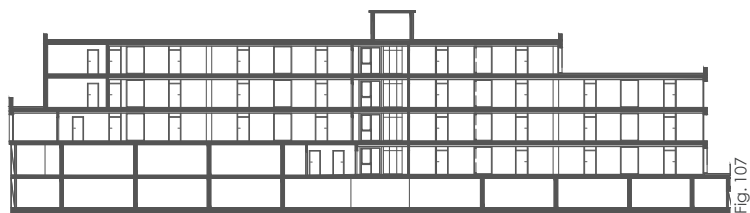


Fig. 107

← Vista del edificio desde la calle.



Fig. 108

## PLANTA TIPO PROYECTO

## ESQUEMA TIPOLOGICO

### VIVIENDA 1 DORMITORIO

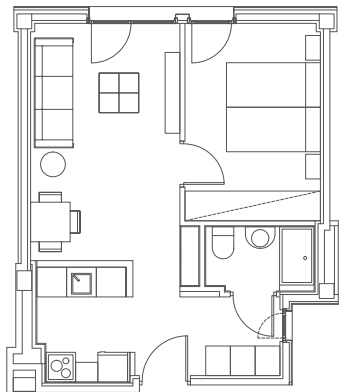


Fig. 109

### VIVIENDA 2 DORMITORIOS

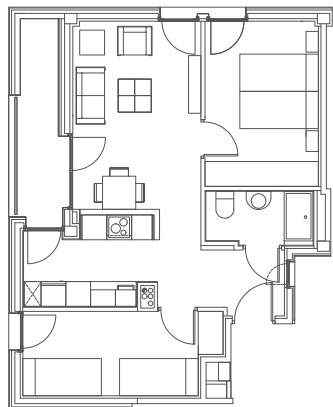


Fig. 110

### VIVIENDA ADAPTADA

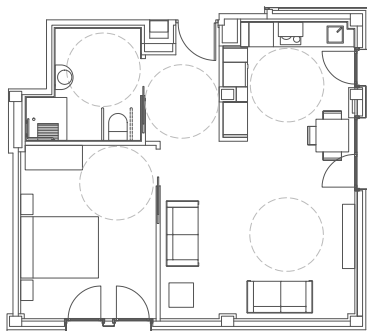


Fig. 111

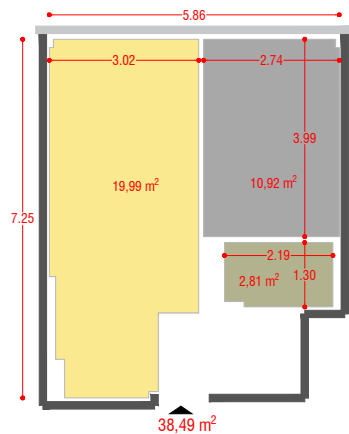


Fig. 112

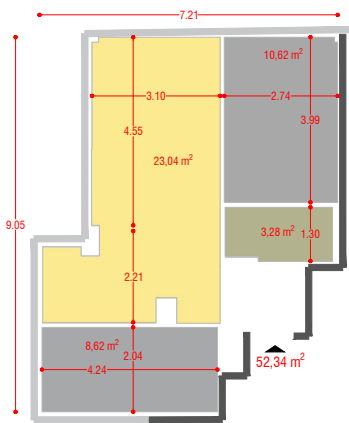


Fig. 113

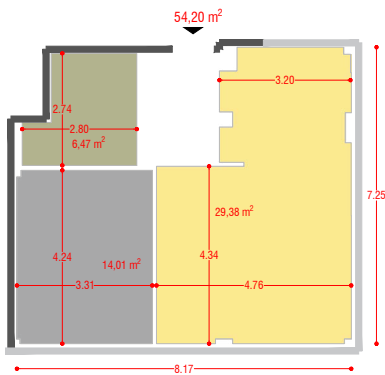
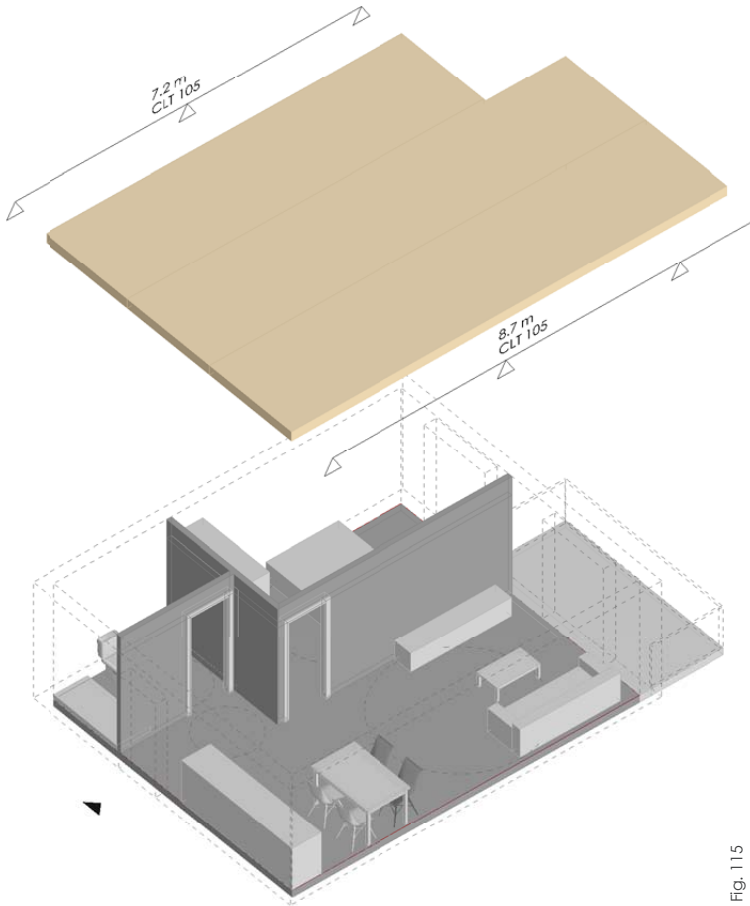


Fig. 114

# ESQUEMA SEGÚN MODELADOR PARAMÉTRICO



← Paneles CLT según luz y apoyos:

7,20 m / CLT 105  
8,70 m / CLT 105

Fig. 115

- Arquitecto: Carlos Anasagasti Ormaechea
- Nº de plantas: Sótano + PB + 3
- Superficie vivienda individual: 40,06 m<sup>2</sup>
- Superficie vivienda doble: 55,15 m<sup>2</sup>
- Superficie vivienda adaptada: 50,92 m<sup>2</sup>
- Sistema estructural: Hormigón armado

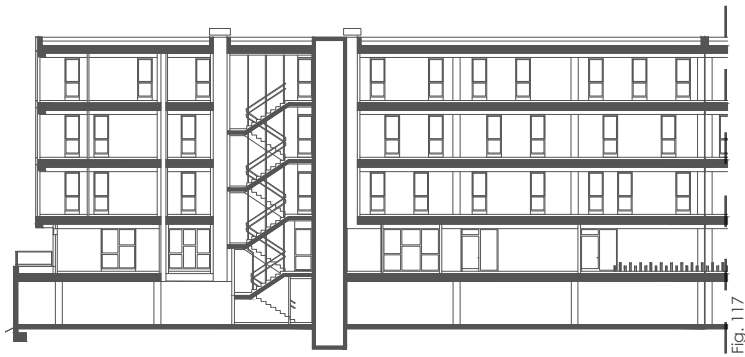
Se trata de la construcción de un bloque alargado de viviendas con 60 alojamientos dotacionales de 1 y 2 dormitorios en la ladera sur del Monte Ganeta, en el Barrio de Arangoiti de Bilbao, con sótano y baja más tres plantas de viviendas, con un total de 5.300 m<sup>2</sup> construidos. El bloque lineal se desarrolla en orientación este-oeste, reservando la orientación sur para todos los alojamientos dotacionales del edificio. En orientación norte se ubica el pasillo distribuidor, que conecta los dos núcleos verticales ubicados en los extremos, y algunos locales de servicio.

La tipología predominante de alojamientos se caracteriza por ser relativamente cuadrada, destinando el frente de fachada a salón y dormitorio, disfrutando de la terraza en todo el frente, planteando el acceso, la cocina y el baño lindando con el pasillo distribuidor. Como en otras tipologías estudiadas, se propone la entrada a la vivienda directamente al espacio de cocina-salón. El ancho del alojamiento está en torno a los 5,80 metros, lo que invita a que el planteamiento estructural sea con los forjados paralelos a fachada, permitiendo la flexibilidad o incluso desaparición de las particiones interiores entre salón y dormitorio.



← Planta general.

Fig. 116



← Sección general.

Fig. 117



← Vista del edificio desde la calle.

Fig. 118



## PLANTA TIPO PROYECTO

### VIVIENDA 1 DORMITORIO

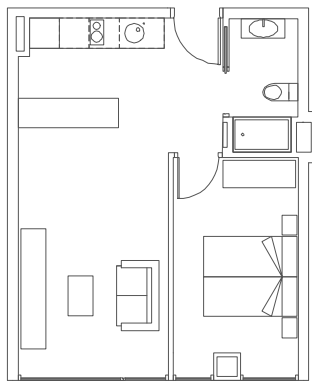


Fig. 119

### VIVIENDA 2 DORMITORIOS

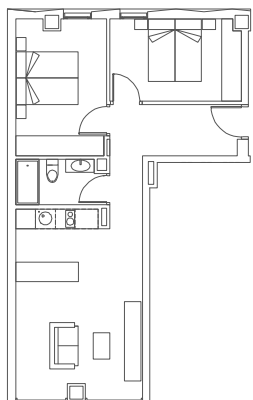


Fig. 120

### VIVIENDA ADAPTADA

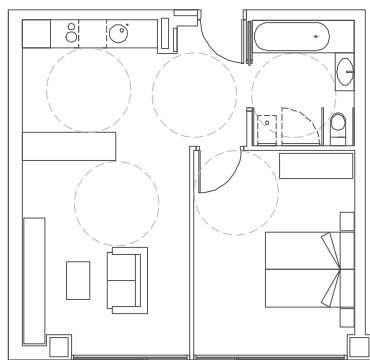


Fig. 121

## ESQUEMA TIPOLOGICO

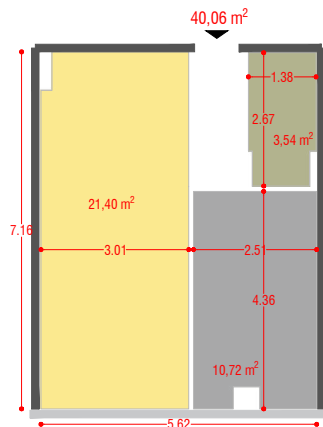


Fig. 122

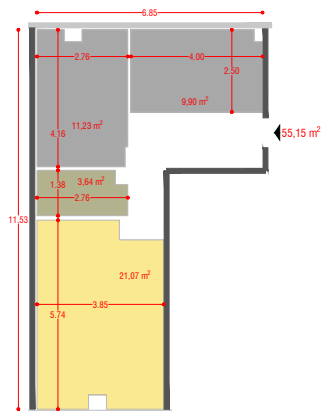


Fig. 123

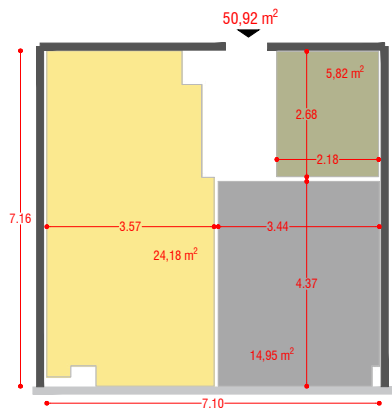
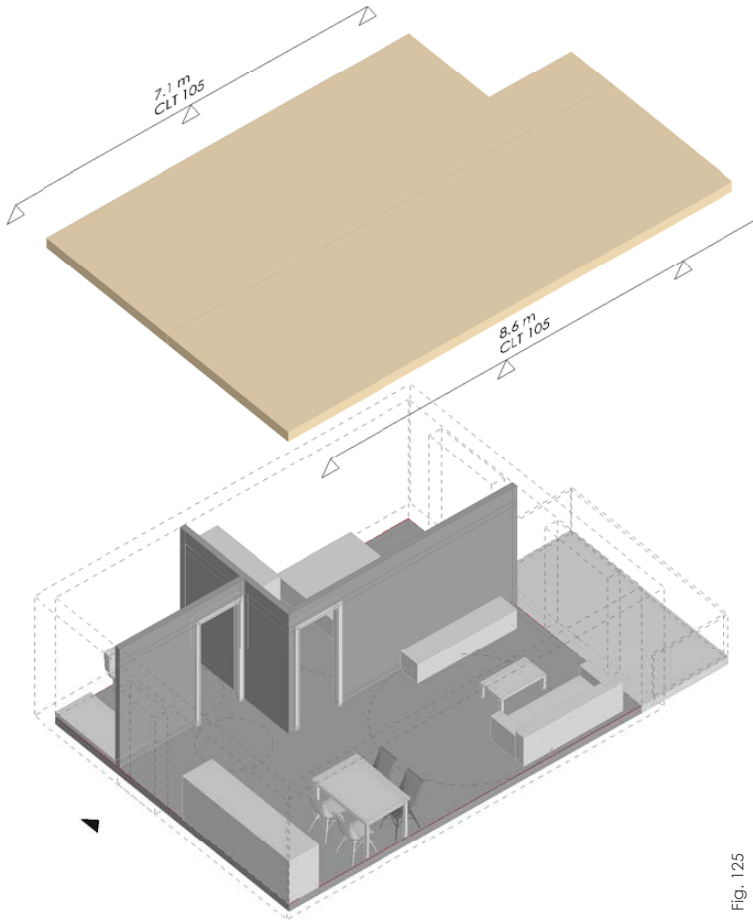


Fig. 124

# ESQUEMA SEGÚN MODELADOR PARAMÉTRICO



← Paneles CLT según luz y apoyos:

7,10 m / CLT 105  
8,60 m / CLT 105

Fig. 125

## GASTEIZ. PORTAL DE ARRIAGA.

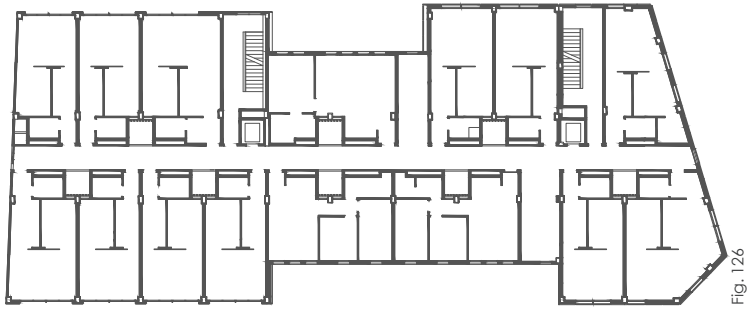
---

- Arquitecto: Miguel Angel Campo.
- Nº de plantas: Sótano + PB + 6
- Superficie vivienda individual: 39,00 m<sup>2</sup>
- Superficie vivienda doble: 53,15 m<sup>2</sup>
- Superficie vivienda adaptada: 55,95 m<sup>2</sup>
- Sistema estructural: Hormigón armado

Este edificio de 79 alojamientos dotacionales se ubica en un entorno eminentemente urbano. En respuesta a ello, presenta un carácter arquitectónico complejo mediante la macla y superposición de distintos volúmenes acabados en diferentes materiales, resultando protagonista la cercha metálica que enfatiza el uso mixto del conjunto, haciendo sobrevolar a los alojamientos sobre el equipamiento público existente en planta baja.

La organización del conjunto propone el desarrollo de los distintos alojamientos dotacionales siguiendo la directriz del pasillo central, en una solución ya habitual en los diferentes edificios analizados, sin establecer diferenciación en función de orientaciones para los diferentes alojamientos.

El alojamiento tipo presenta una configuración alargada y estrecha perpendicular a fachada, marcando unas divisiones entre alojamientos de reducida crujía. De esta manera el acceso al apartamento se realiza por la cocina, ocupando el salón comedor el frente de fachada, y obligando a la ventilación e iluminación del dormitorio a través de patio de luces de reducidas dimensiones. Las luces entre separaciones de alojamientos invitan a pensar en muros de carga perpendiculares a fachada, liberando la misma para un desarrollo arquitectónico más libre.



← Planta general.

Fig. 126



← Sección general.

Fig. 127



← Vista del edificio desde la calle.

Fig. 128

## PLANTA TIPO PROYECTO

## ESQUEMA TIPOLOGICO

### VIVIENDA 1 DORMITORIO

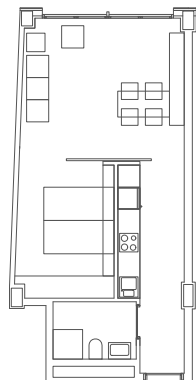


Fig. 129

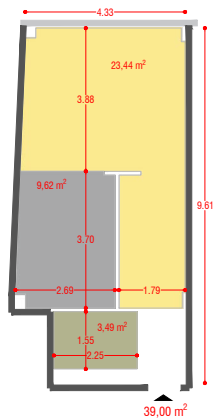


Fig. 132

### VIVIENDA 2 DORMITORIOS

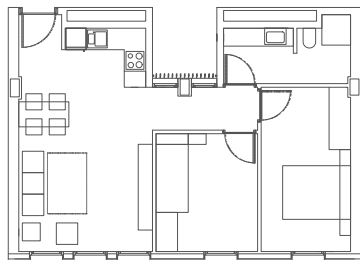


Fig. 130

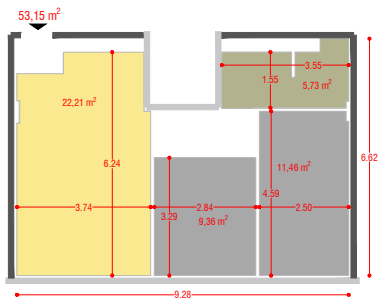


Fig. 133

### VIVIENDA ADAPTADA

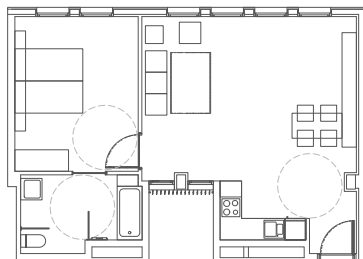


Fig. 131

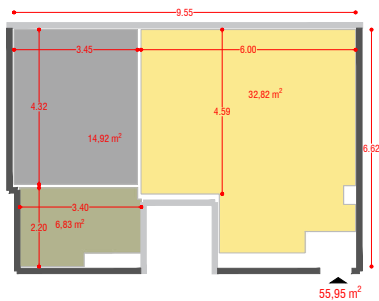
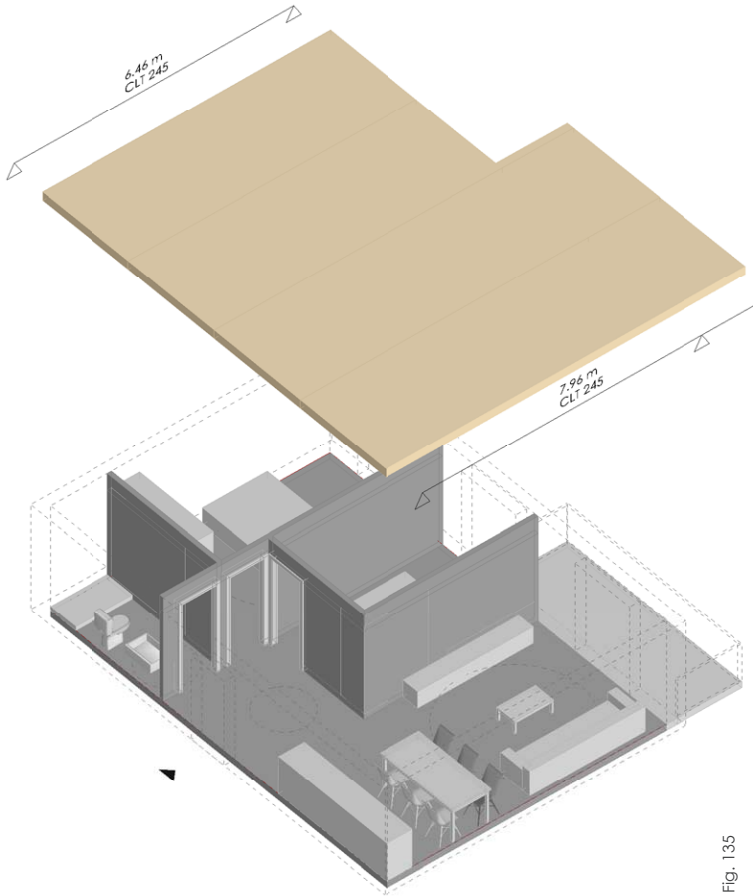


Fig. 134

# ESQUEMA SEGÚN MODELADOR PARAMÉTRICO



← Paneles CLT  
según luz y  
apoyos:

7,10 m / CLT 105  
8,60 m / CLT 105

Fig. 135

## CONCLUSIÓN

Tras un proceso de simplificación y depuración de las plantas tipo de los edificios con el objeto de poder compararlas a nivel tipológico, se hace patente la escasa variación programática y funcional entre los diferentes esquemas tipológicos. En todos los casos se trata de viviendas con superficies mínimas y con requerimientos funcionales muy similares, por lo que no es de extrañar que las diferencias sean escasas.

Podrían plantearse dos tipologías de apartamentos para los apartamentos de una habitación. Por un lado, estarían aquellos que se resuelven de una manera predominantemente cuadrada en planta, tendiendo a aumentar el fondo respecto al frente de fachada, con crujías muy marcadas, lo cual permite que la dirección principal de los forjados se pueda plantear tanto paralela como perpendicular a fachada. Por otra parte, estarían los apartamentos que hacen del desarrollo extensivo paralelo a fachada su leit motiv, disminuyendo el fondo de la construcción, favoreciendo la flexibilidad y permeabilidad de las distribuciones interiores.

En este sentido, las luces existentes tienden a ser diferentes en el eje X y en el eje Y. En el eje X (eje transversal al eje que une la entrada con la fachada) las luces no superan los 6,5 metros, mientras que la mayoría de las luces en este eje X están entre los 3 y los 4 metros. En el eje Y (eje que une la entrada con la fachada) las luces no superan los 8,1 metros, y la mayoría están entre los 6 y 8 metros.

En los edificios construidos, no se contempla ninguna limitación relevante en lo relacionado con la altura. Son estructuras de hormigón armado utilizadas de manera generalizada en todos los casos, que permiten la construcción en altura de edificios incluso más altos que los analizados, por lo que la altura de los edificios ha sido limitada por otros factores ajenos a la estructura utilizada. En el caso de hacer una transposición de estos edificios a estructuras de madera, en alguno de los casos



el material podría suponer una limitación estructural a analizar y resolver.

Finalmente, cabe destacar que la necesidad de dimensiones interiores más generosas en las viviendas adaptadas de forma que se favorezca el fácil movimiento de todas las personas en su interior, es una de las mayores limitaciones a la hora de plantear estructuras tan repetitivas como las de los edificios analizados, ya que son la tipología de vivienda con mayores luces en ambas direcciones. Igualmente, todas las propuestas adolecen de una preocupante falta de espacios exteriores vinculados a cada uno de los apartamentos. Recogiendo el testigo de la nueva normativa de habitabilidad actualmente en desarrollo, se ha propuesto para cada una de las tipologías la posibilidad de incorporar espacios exteriores a cada uno de los apartamentos, a modo de balcón o terraza, aunque el proyecto original no los contemplase, resolviendo estructuralmente dicha circunstancia.



Fig. 136

Firephone  
BE AVEVA... 100% SOSTENIBILE... BE AVEVA

# CASOS DE ÉXITO

# 3

## Introducción

- 65 VPO / Hondarribia (España)
- 6 viviendas de CLT / Módena (Italia)
- Viviendas La Borda / Barcelona (España)
- Apartamentos Dalston Works / Londres (Reino Unido)
- Vivienda unifamiliar entre medianeras en Gracia / Barcelona (España)
- Apartamentos / Aubervilliers (Francia)
- Viviendas 3ª edad / Lørenskog (Noruega)
- 7 Viviendas / Biel (Suiza)



Autoría del capítulo:  
RICO-MARTINEZ, JOSE MIGUEL  
DEL PRIM GRACIA, IÑAKI  
MAHORTUA GAMINDE, ALEJANDRO  
MARTINEZ DE GOÑI MENTXAKA, UXUE



# INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se analizan una serie de «Casos de Éxito», edificios que podemos considerar como ejemplares en la concepción de la solución estructural adoptada, o innovadoramente propositivos en la aplicación de diferentes sistemas de madera estructural a la edificación residencial.

El objetivo ha sido analizar en cada caso de estudio la solución estructural concreta adoptada para resolver los diferentes edificios, siendo la madera el material estructural principal, y cómo cada uno de los sistemas empleados resuelve las tipologías edificatorias, y afecta a los procesos de diseño, así como al montaje y a la planificación de la obra.

En general, en los casos estudiados la tendencia es resolver estructuralmente el edificio mediante esquemas murarios con elementos masivos de madera, que de forma mayoritaria entienden los paramentos de fachada como elementos esenciales de sustentación de la estructura. La distribución de espacios interiores se ve condicionada en mayor o menor medida en función del tipo de estructura planteada, viéndose la distribución de las viviendas condicionada por las dimensiones máximas de las crujeas estructurales, siendo necesario utilizar diferentes particiones interiores como muros de carga, además de las fachadas y muros perimetrales.

Otra tendencia mayoritaria es el uso común que se hace de la estructura de hormigón armado, limitándose a los elementos bajo rasante, así como a proporcionar a la estructura de madera de un zócalo rígido que la separe de la cota de suelo o bajo rasante. En algunos de los casos analizados, se emplean también diferentes elementos de hormigón como elementos rigidizadores de la estructura a efectos de resistencia a esfuerzos horizontales, ejecutando el núcleo de comunicaciones verticales en dicho material.

Por medio de los esquemas o diagramas estructurales dibujados para esta publicación, se ha tratado de explicar de una forma gráfica cuál es el funcionamiento de la es-

estructura de cada uno de los edificios, el papel que juega el hormigón armado en cada uno de ellos, y la presencia de algunas soluciones mixtas o elementos auxiliares, mediante el uso del acero estructural.

Del mismo modo, en cada proyecto, se ha tratado de mostrar de qué manera el sistema estructural seleccionado (CLT, entramado ligero, estructura mixta, etc.), ha afectado a los detalles constructivos tipo: resolución de huecos, formación de elementos en vuelo, definición de las escaleras, revestimientos de fachada, etc.

Por último, para cada proyecto se muestra un cuadro resumen que recoge diferentes datos tanto técnicos como económicos. Se entiende que estos son datos, a pesar de tener gran importancia a la hora de acometer proyectos de carácter inmobiliario, estando vinculados a la rentabilidad económica y a los plazos de ejecución de los mismos, no son directamente comparables entre sí, ni extrapolables a otras promociones.

A pesar de que se analizan proyectos de diversos países y regiones, cuyos datos varían considerablemente entre unos y otros, del análisis de estos cuadros resumen pueden extraerse algunas conclusiones. Dado que la construcción en madera está sujeta, en gran medida, a un proceso exhaustivo de análisis y optimización del uso del material a emplear, así como de los medios logísticos y de montaje, cuanto mayor sea la escala del proyecto se podrá obtener un mayor rendimiento y optimización de estas cuestiones, ya que en los proyectos de gran envergadura nos encontraremos con un mayor número de soluciones estandarizadas, y una mayor posibilidad de industrialización, en comparación con las construcciones de menor tamaño. De este modo, los proyectos de mayor tamaño presentarán un menor impacto económico de la estructura en el coste total del edificio y unos tiempos de ejecución, en proporción, menores.







# 65 VPO EN HONDARRIBIA

PAÍS VASCO · ESPAÑA



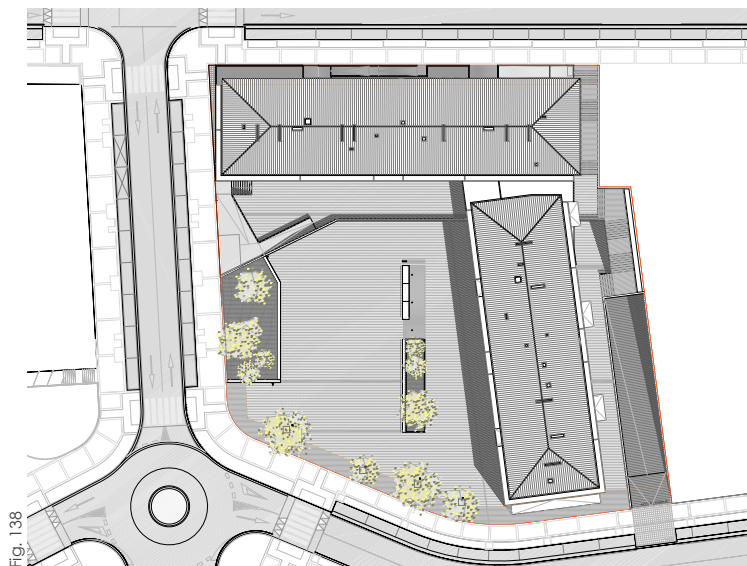
- Promoción: VIVIENDA Y SUELO DE EUSKADI S.A/EUSKADIKO ETXEBIZITZA ETA LURRA, E.A. (VISESA)
- Dirección: EUSKAL TYM [Carmelo Fernández Militino]
- Autoría del proyecto de arquitectura: EUSKAL TYM [Carmelo Fernández Militino]
- Autoría del proyecto de estructura: EUSKAL TYM [Carmelo Fernández Militino]
- Empresa constructora: Constructora Moyua
- Fecha comienzo obra: Febrero de 2.017
- Fecha finalización de obra: Noviembre 2.018
- Presupuesto ejecutado total: 7.199.363,17 €
- Coste del capítulo de estructura: 2.438.581,49 €
- Tipo de madera: CLT - Pino radiata
- Procedencia (empresa): Egoin
- Volumen (m<sup>3</sup>): 2.500 m<sup>3</sup>
- Superficie construida (m<sup>2</sup>): (9.946,68 m<sup>2</sup> + 11.993,18 m<sup>2</sup>) 21.939,86 m<sup>2</sup>

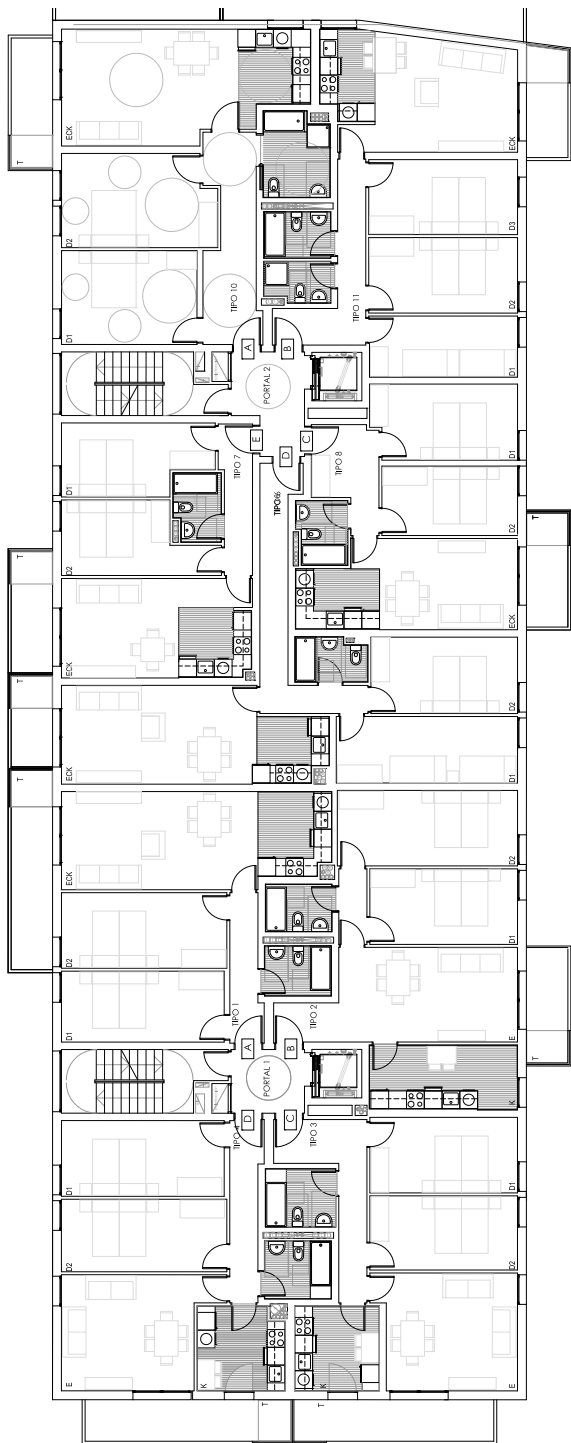
## INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

El edificio se sitúa en una parcela ubicada en los límites de un nuevo desarrollo urbanístico en Hondarribia.

Dado que la parcela presenta un importante desnivel, el proyecto propone generar una plaza a la cota inferior de parcela. Se aprovecha ese salto de cotas para ubicar los locales comerciales de forma que se abran hacia la plaza mencionada, facilitando los accesos hacia las plantas sótano destinadas al aparcamiento. Dicho planteamiento se formaliza en un conjunto edificado en forma de «L», quedando el frente regular hacia las calles circundantes y el área abierta mediante la plaza hacia el tejido urbano existente.

→ Planta de emplazamiento y urbanización.





← Planta tipo viviendas de alquiler.

Fig. 139

→ Esquema estructural del proyecto.

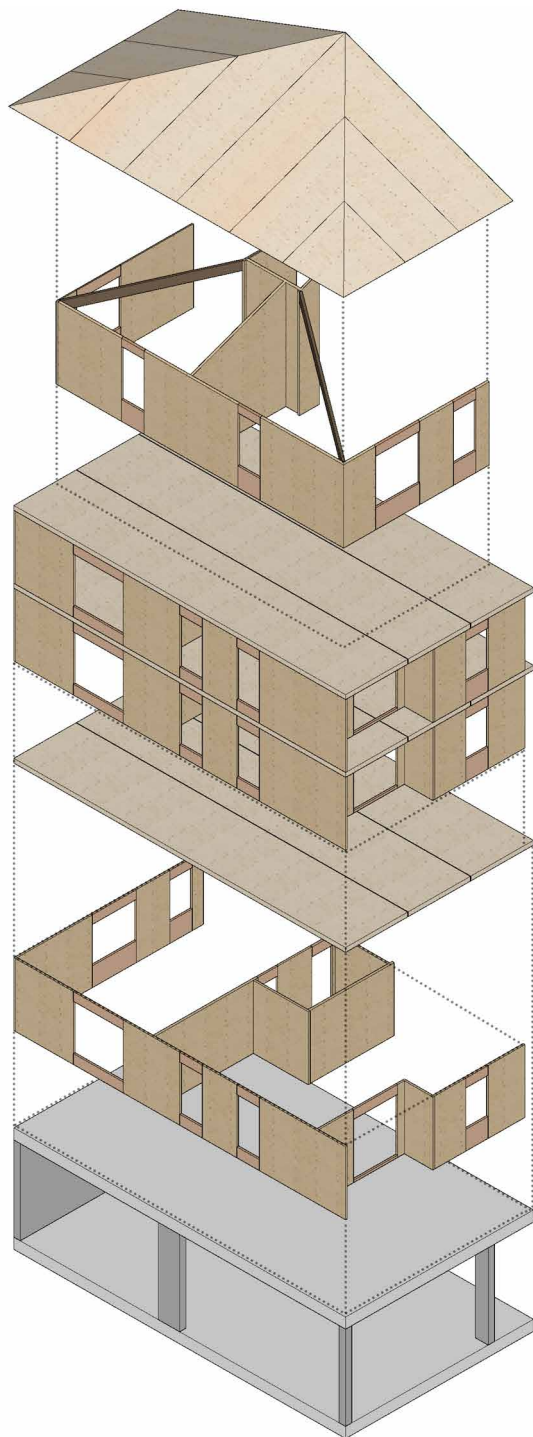


Fig. 140

## DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Se diseña una estructura diferenciada en dos partes. Un zócalo de estructura de hormigón armado, con el cual se da solución al sótano y al semisótano en los que se albergan garaje y locales comerciales. Sobre dicho zócalo se plantea una estructura de madera CLT, con la que se resuelven dos bloques de viviendas.

La estructura de madera está formada por un sistema de muros perimetrales de fachada, en los que se practican las aperturas de los huecos, y por los núcleos de los cuartos húmedos que generan los apoyos intermedios necesarios, para llegar a unas luces razonables. Entre perímetro y núcleos el espacio no se ve condicionado por más elementos estructurales. Sobre estos muros de carga se disponen posteriormente los paneles CLT que actuarán como forjados.



← Montaje del forjado CLT.

Fig. 141

## MEDIOS AUXILIARES AL MONTAJE

Los medios auxiliares empleados durante la obra fueron dos grúas torre situadas a diferentes cotas, de tal forma que ambas puedan realizar las labores necesarias al mismo tiempo sin interrumpir sus labores. Una se emplea para el bloque de viviendas de alquiler, y otra para el bloque de viviendas en régimen de venta.

En cuanto al transporte y logística, cabe mencionar que, debido a la velocidad de montaje del sistema empleado mediante paneles CLT, tanto para muros como forjados, no es necesario que se disponga una zona de acopio. Con el fin de que los transportes a realizar, durante la obra, no sean de carácter especial, se modulan los paneles, de tal forma que ninguno supere los 12 metros de largo. Por tanto, los paneles CLT y resto de piezas que forman la estructura se transportan en remolques ordinarios.

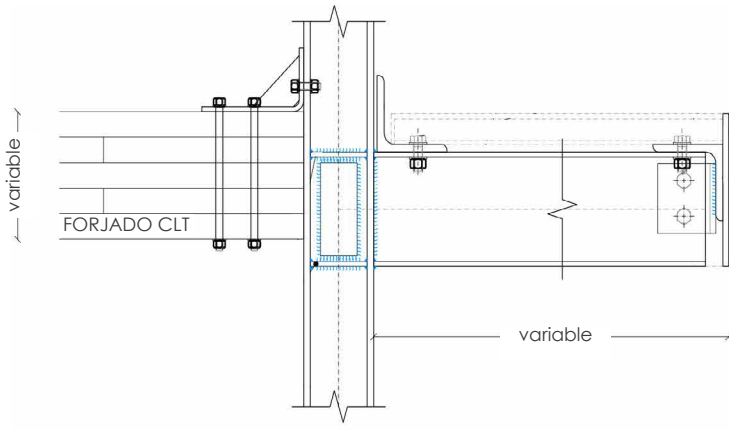
Una vez llegados a la obra, los paneles se instalan directamente en su posición dentro del edificio. Esto se logra por medio de la sistematización de los procesos de corte y transporte. Y es en este punto donde la logística adquiere gran importancia. Los paneles tienen que disponerse en los remolques en el orden inverso al que deben ser montados, de tal forma que al descargarlos en la obra éstos se dispongan en el orden óptimo.

→ Remolques cargados en el orden inverso para facilitar su montaje.



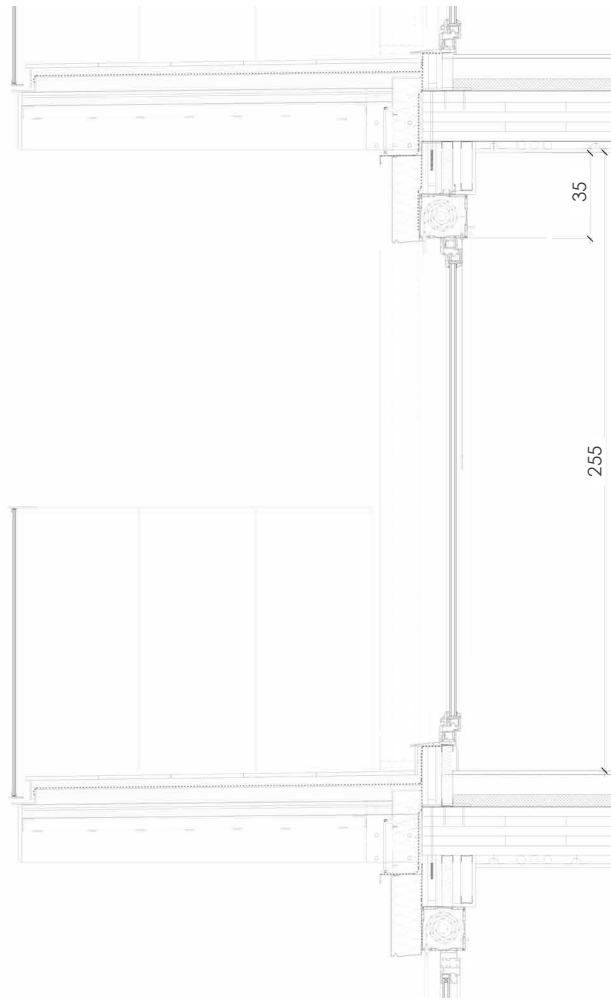
Fig. 142





← Detalle constructivo estructural, formación de los voladizos.

Fig. 143



← Detalle constructivo integrado, formación de los voladizos.

Fig. 144

→ Montaje del forjado de la cubierta CLT.



Fig. 145

→ Elementos auxiliares al montaje de los tableros CLT.

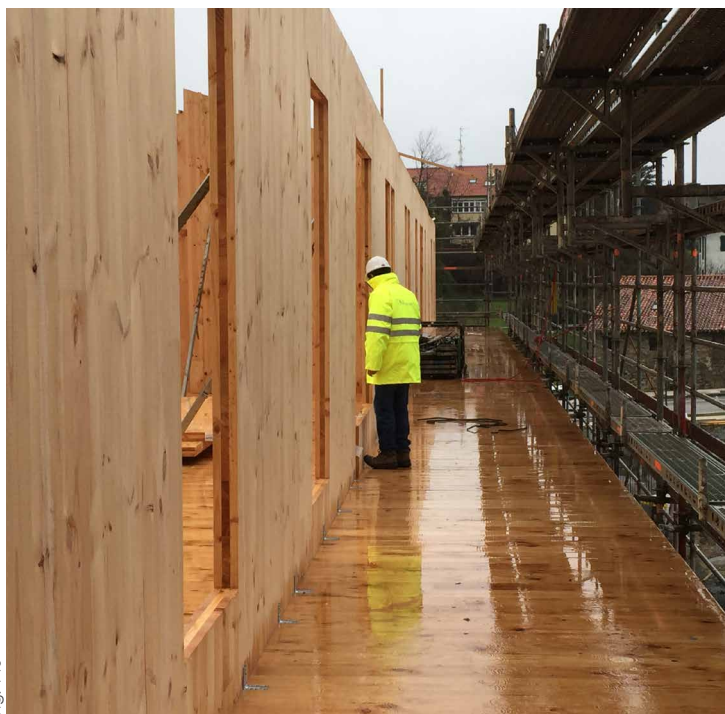


Fig. 146





← Montaje del forjado CLT.

Fig. 147



← Soporte de montaje de los tableros CLT.

Fig. 148



6 VIVIENDAS DE CLT EN MÓDENA  
EMILIA-ROMAÑA • ITALIA



- Promoción: AUDAX Srl
- Dirección: Studio Ergodomus
- Autoría del proyecto de arquitectura: Fabbriart architetti associati [Gabriele Marasmi]
- Autoría del proyecto de estructura: Ergodomus Timber Engineering
- Empresa constructora: Impresa Bacchelli
- Fecha comienzo obra: Mayo de 2.017
- Fecha finalización de obra: 10 de junio de 2.018
- Presupuesto ejecutado total: 1.250.000 €
- Coste del capítulo de estructura: 510.000 €
- Tipo de madera: CLT - Abeto
- Procedencia (empresa): MM
- Volumen (m<sup>3</sup>): 350 CLT + 13 Madera laminada m<sup>3</sup>
- Superficie construida (m<sup>2</sup>): 1.220 m<sup>2</sup>

## INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

«Para este proyecto, la alta resistencia y estabilidad de los paneles CLT permitió construir grandes edificios de madera de varios pisos, incluso en una región con alta actividad sísmica.

Se trata de una clara muestra de la idoneidad de la madera para la construcción de edificios grandes y altos, ya que aporta ventajas en cuanto a rapidez, precio y calidad. Este edificio está hecho completamente de madera, incluyendo su hueco de ascensor y escaleras. Las fuerzas horizontales producidas por el movimiento sísmico en esta región son muy altas, lo que requiere una construcción especial (según el Eurocódigo 8) y Ergodomus tuvo que realizar un sofisticado análisis dinámico mediante el modelado de elementos finitos para calcular la transmisión de esfuerzos entre los muros CLT y los cimientos de hormigón armado. La fuerza de tracción más alta fue de aproximadamente 500 kN.

El enfoque holístico para el diseño del edificio fue respaldado por la metodología BIM, concretándose en una primera fase de diseño BIM, que facilitó el intercambio de información entre las diferentes figuras profesionales a través de la importación / exportación de archivos .ifc.

Posteriormente Ergodomus también realizó la ingeniería completa de la estructura de madera y los cimientos, proporcionando los planos del taller y la programación de la máquina CNC.»

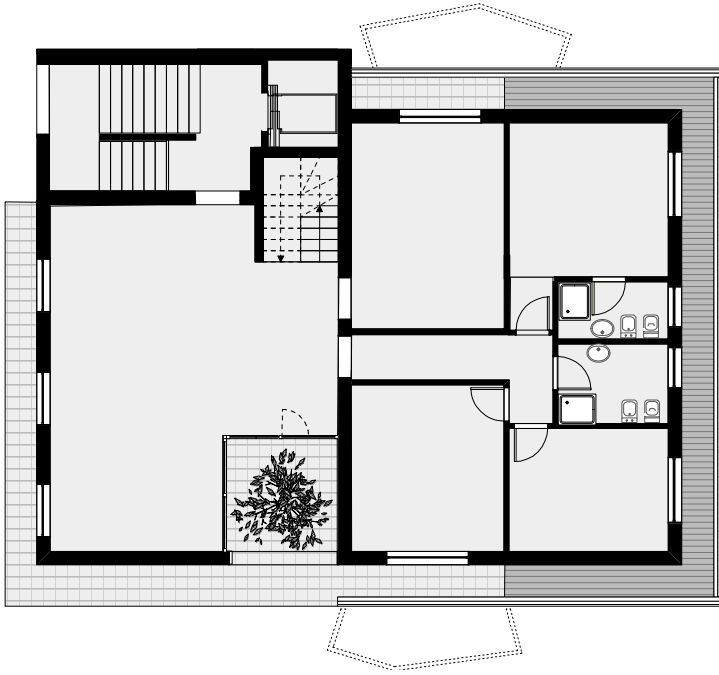


Fig. 150

← Planta cuarta de la vivienda en dúplex.



Fig. 151

← Planta estructural.

→ Esquema estructural del proyecto.

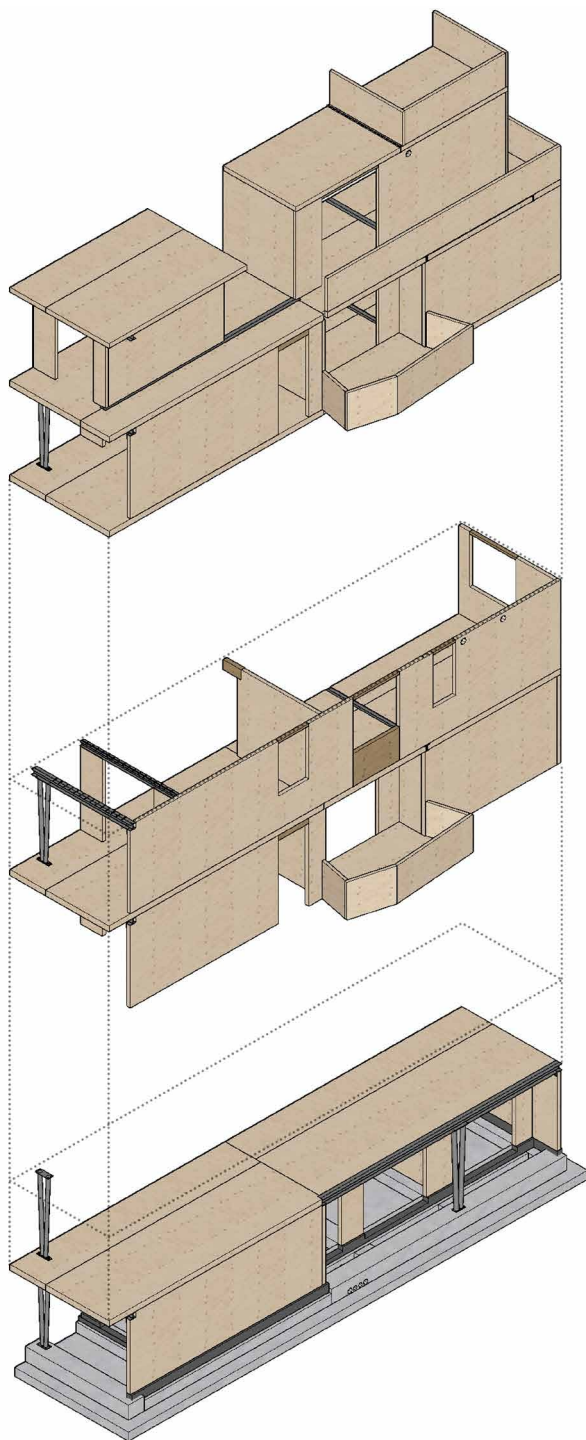


Fig. 152



## DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Para resolver la estructura se emplea un sistema de muros portantes de madera contralaminada CLT. Los paneles de las partes opacas de fachada son de carácter portante. Del mismo modo se emplean de forma estructural los elementos de división intermedios de mayor importancia, con el fin de llegar a unas luces razonables entre apoyos de entre 5 y 6 metros. En los puntos en los que es estructuralmente necesario se emplean pilares y vigas metálicas con el fin de llegar a las luces razonables y poder resolver los voladizos sin forzar en exceso la estructura, evitando espesores excesivos.



← Soporte de montaje de los tableros CLT.

Fig. 153

## MEDIOS AUXILIARES AL MONTAJE

En el caso de este proyecto se emplean una serie de medios auxiliares para el montaje. Se utiliza una grúa torre, con la que se lleva a cabo prácticamente el total montaje de los paneles CLT y demás piezas estructurales. Así mismo se utiliza una grúa especial con el fin de instalar los paneles de unas mayores dimensiones.

La mayor parte de los transportes de paneles CLT se realizan por medio de transportes normales (6 transportes normales), cuestión de gran importancia a la hora de diseñar edificios de estructura por medio de CLT, ya que tiene una repercusión directa en los costes de ejecución. Solo se emplea un transporte especial durante la ejecución de este proyecto, para las piezas de un mayor tamaño. Para el transporte de los elementos metálicos (vigas y pilares), se emplean dos transportes normales.

No se realiza acopio de los paneles estructurales en la obra, ya que éstos se instalan directamente desde el camión, estudiando para ello el orden de transporte.

Resulta ilustrativo de la importancia en el estudio de la logística y montaje de los edificios de paneles CLT, que este proyecto acarrió 800 horas de estudio y redacción por el equipo de ingeniería, con el fin de poder realizar la manufactura y montaje de los paneles en tan solo 8 semanas de trabajo, en taller y obra.

→ Pieza voladizo de las terrazas.



Fig. 154



← Pilares metálicos de acero galvanizado.



Fig. 155

Se trata de un edificio de estructura de madera por medio de paneles CLT en su inmensa mayoría. Sin embargo, emplea elementos metálicos auxiliares con el fin de resolver determinados puntos concretos, que presentan ciertas dificultades a estos sistemas constructivos, dado que las tipologías edificatorias contemporáneas, se resuelven urbanísticamente y por tanto geoméricamente, pensando en formas constructivas tradicionales de pórticos de hormigón armado o acero.

En estas imágenes se pueden observar algunos de esos puntos singulares que se resuelven con elementos auxiliares metálicos. En el caso de este edificio, se han utilizado elementos de acero laminado galvanizado. Estas piezas se utilizan en los dinteles entre muros de CLT; en el caso de las terrazas más amplias, se emplean los pilares metálicos en «V», con una cierta ambición estética; y en las conexiones de los voladizos que generan las terrazas, con el fin de eliminar puentes térmicos puesto que al separar el voladizo del frente de forjado, la envolvente térmica puede ser continua.

→ Estructura mixta de acero y CLT.



Fig. 156

→ Estructura auxiliar para fachada envolvente.

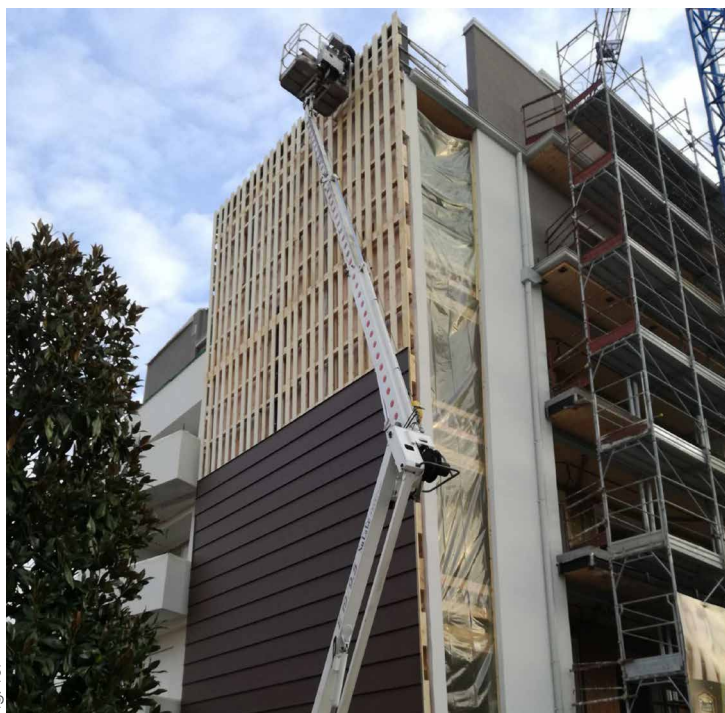


Fig. 157



Fig. 158

← Estructura mixta de acero y CLT.

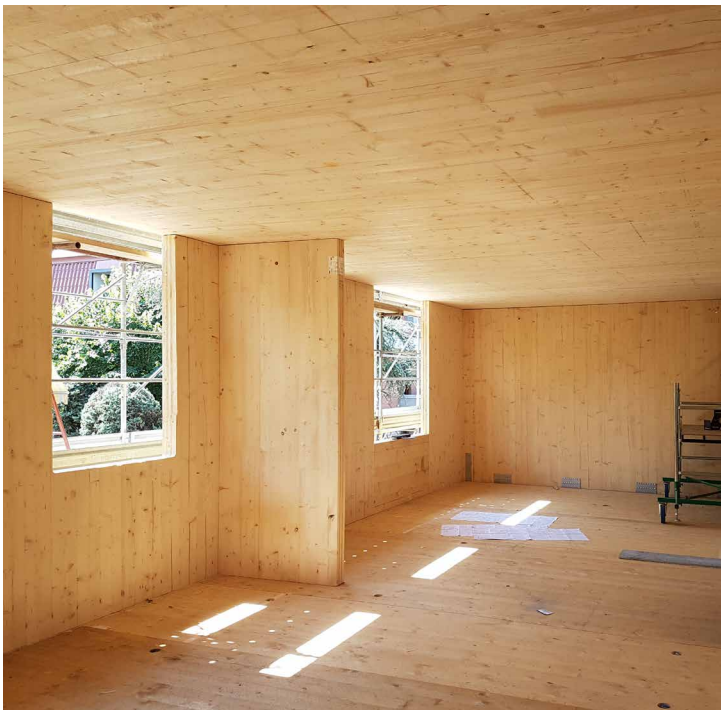


Fig. 159

← Interior terminado sin recubrir.





VIVIENDAS LA BORDA EN BARCELONA  
CATALUÑA · ESPAÑA



- Promoción: HABITATGES LA BORDA, SCCL
- Dirección: Lacol SCCL
- Autoría del proyecto de arquitectura: Lacol SCCL
- Autoría del proyecto de estructura: Miguel Rodríguez Nevado
- Empresa constructora: MCM PROJECTS I SERVEIS SA / EGOIN SA / SERMAC MANTENIMENTS INTEGRALS SL / MADE OF WOOD SL / METATECNIA INTEGRAL SL / AISLAMIENTOS KOVER SL / MASSONI SL / OLTAPOLSA / ORONA S.COOP / PAVINDUS SA / CITELUM IBERICA / NOUCOPI SL / TALLERES ALFA TORRES SA
- Fecha comienzo obra: 20 de febrero 2.017
- Fecha finalización de obra: 28 de septiembre de 2.018
- Presupuesto ejecutado total: 2.400.000 €
- Coste del capítulo de estructura: 480.000.00 €
- Tipo de madera: CLT - Pino radiata
- Procedencia (empresa): Egoin
- Volumen (m<sup>3</sup>): 750 m<sup>3</sup>
- Superficie construida (m<sup>2</sup>): 3.000 m<sup>2</sup>

## INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

«La cooperativa de viviendas La Borda es una promoción auto-organizada por sus usuarias para acceder a una vivienda digna, no especulativa y que ponga en el centro su valor de uso, a través de una estructura colectiva. La idea de una cooperativa de viviendas nace en 2012 como un proyecto más de Can Batlló impulsado por la comunidad en el proceso de recuperación del recinto industrial, y del tejido vecinal y cooperativo del barrio de Sants.

El proyecto se emplaza en un solar (VPO) cedido por el ayuntamiento a 75 años en la calle Constitución, situado en una posición limítrofe del recinto industrial de Can Batlló con fachada a la trama histórica del barrio de la Bordeta.

Son tres los principios fundamentales y transversales del proyecto,

(1) re-definir el programa de la vivienda colectiva:

El programa del edificio plantea 28 viviendas (40, 60 y 75m<sup>2</sup>) y espacios comunitarios que permiten ampliar el habitar individual desde el espacio privado al espacio público, potenciando la vida comunitaria y vecinal.

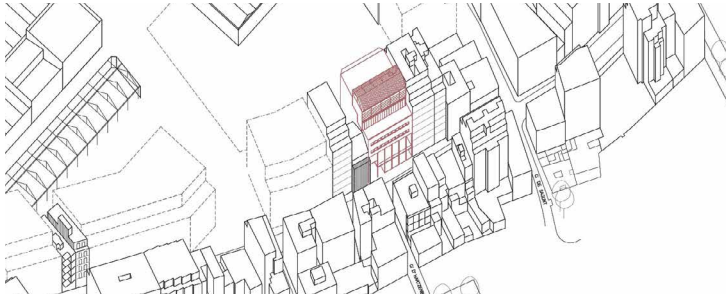
(2) sostenibilidad y calidad ambiental:

El objetivo ha sido construir el edificio con el menor impacto ambiental, tanto en la obra como en su vida útil y, sobre todo, conseguir el máximo confort en los espacios vivideros con el mínimo consumo, para reducir los costes globales de acceso a la vivienda y eliminar la posibilidad de pobreza energética entre las usuarias.

(3) participación de las usuarias:

La auto-promoción y la posterior gestión colectiva implica que la participación de las futuras usuarias en el proceso (diseño, construcción y uso) sea la variable más importante y diferencial del proyecto.»





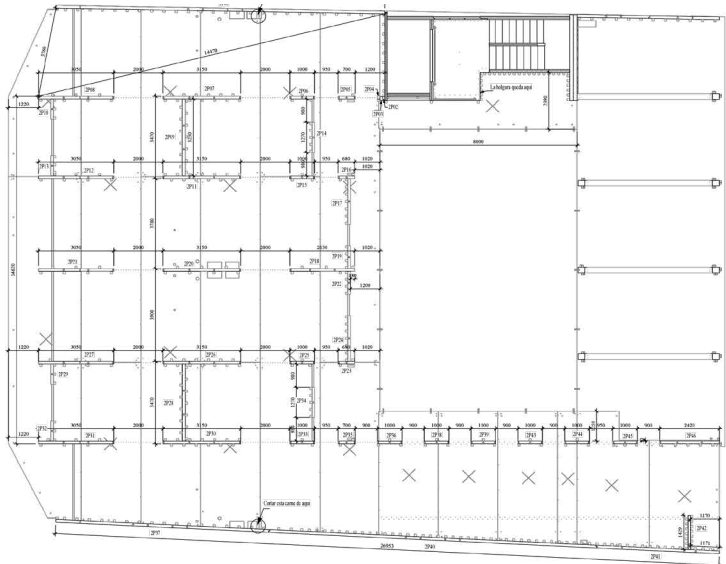
← Plano de emplazamiento en axonómico.

Fig. 161



← Planta distribución planta cuarta.

Fig. 162



← Plano estructural planta segunda.

Fig. 163

→ Esquema estructural del proyecto.

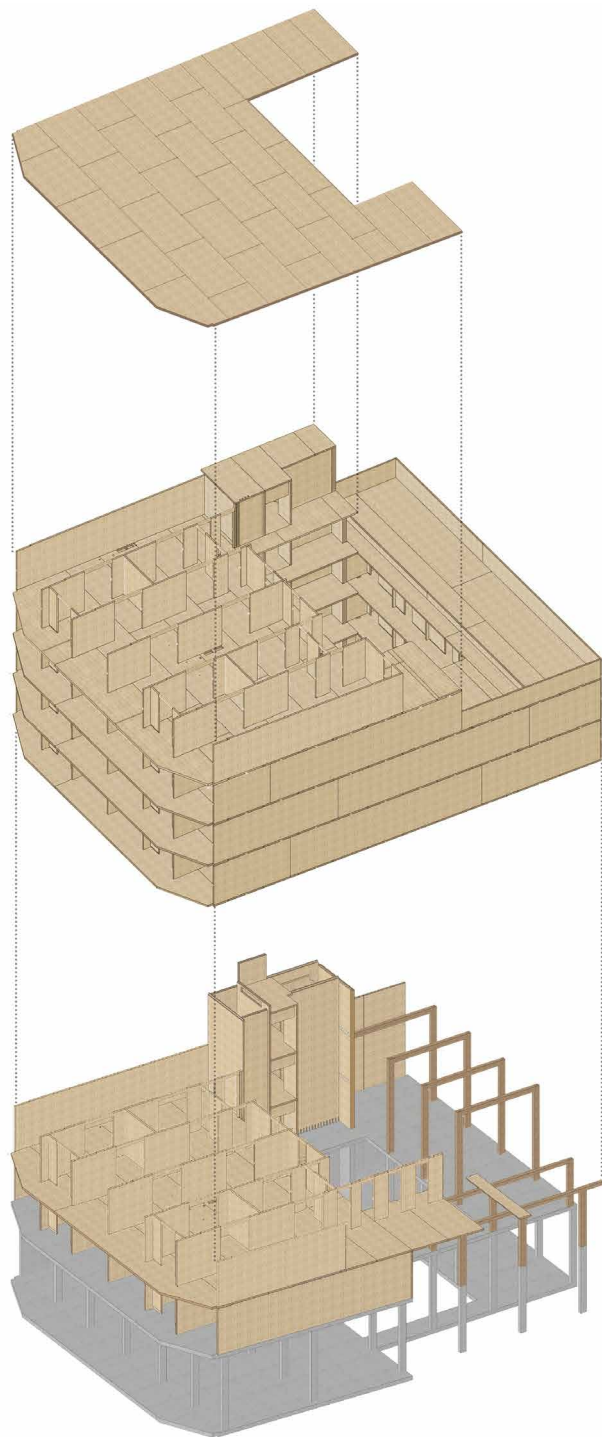
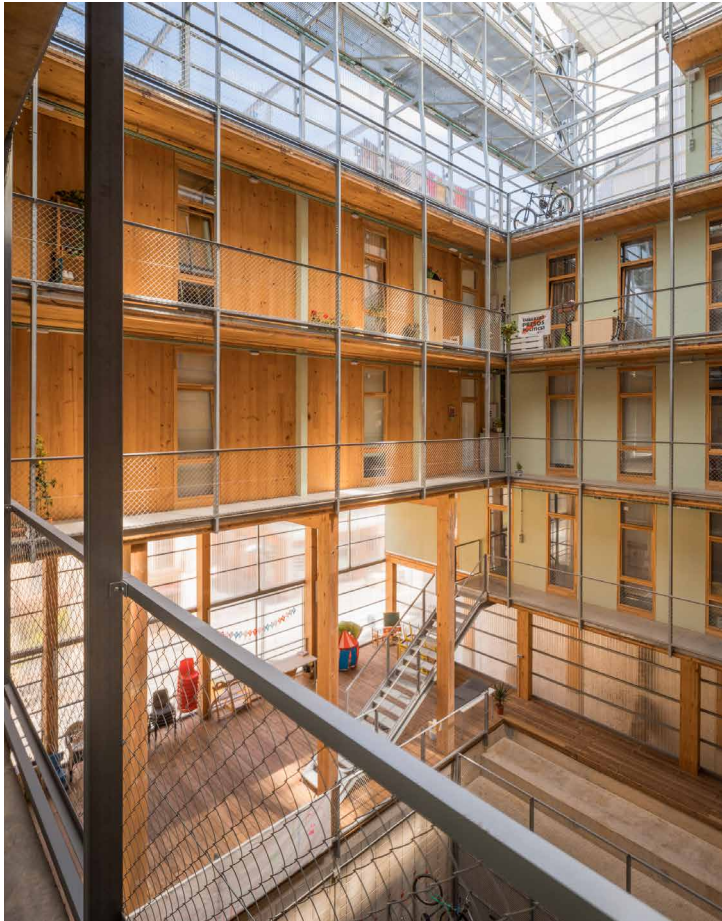


Fig. 164



## DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Se trata de una estructura diseñada y ejecutada por medio de la madera laminada y contralaminada en diversas variantes. Por un lado, los paneles de madera CLT se emplean para resolver los espacios de una escala más menuda o doméstica, lo que se traduce en los espacios habitacionales, así como el núcleo estructural de escaleras y ascensor. Por otro lado, en los espacios que requieren una mayor escala se emplea un sistema de pórticos, y tanto pilares como vigas se resuelven con madera laminada. A modo de componente estructural rigidizador, se dispone una estructura metálica que cose todos los frentes de forjado en sus diversas alturas, tanto en las terrazas exteriores, como en el patio.



← Diferentes plantas desde el patio central.

Fig. 165

## MEDIOS AUXILIARES AL MONTAJE

El medio auxiliar principal de este proyecto es la grúa torre que se emplea para el total montaje de la estructura y demás labores necesarias. Así mismo, los transportes realizados son de carácter normal. En el caso de un proyecto de estas características resulta muy ventajoso económicamente el que no haya que realizar transportes especiales.

A diferencia de otros de los ejemplos aquí descritos, este proyecto sí realizó el acopio en la propia obra debido al gran tamaño del proyecto y necesidad de almacenaje.

Todo el montaje de la estructura de madera se realizó en 30 días, más otros 10 días de tirafondeado y repaso de uniones.

→ Montaje del núcleo de escaleras.

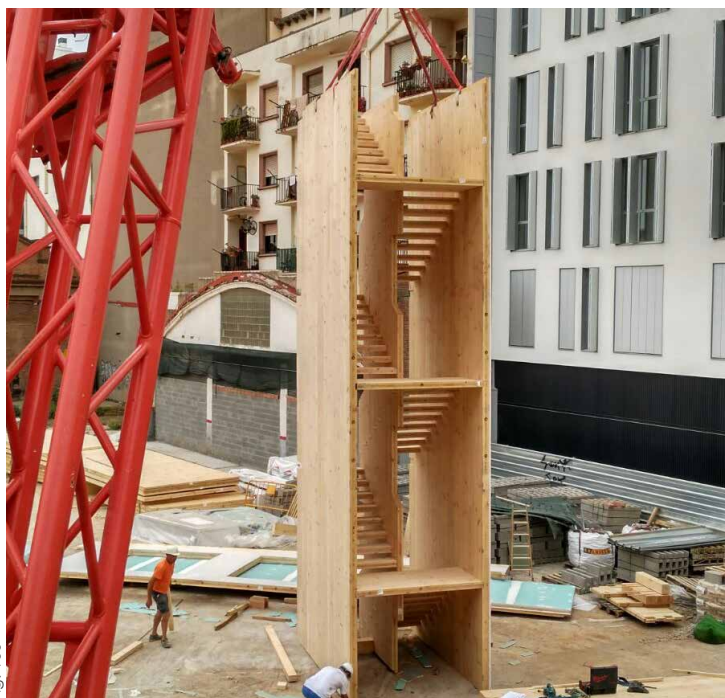


Fig. 166

En esta fotografía (se refiere a las imágenes de nuestra maqueta) se puede observar una de las cuestiones singulares de las estructuras de paneles CLT. El núcleo de escaleras y el cajón del ascensor suelen ser elementos que llegan conformados a la obra, o lo menos divididos posibles, de forma que se monten de una pieza y sirvan como elementos verticales rigidizadores de la estructura de madera frente a los esfuerzos horizontales.



Fig. 167

← Patio en construcción.



Fig. 168

← Patio desde un espacio habitacional.



→ Interior de la vivienda.

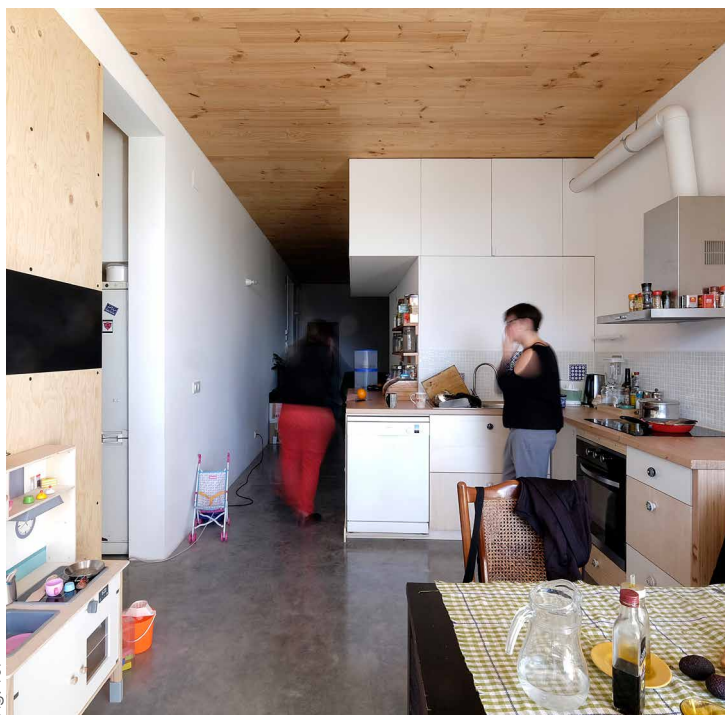


Fig. 169

→ Render de la sección.



Fig. 170



Fig. 171

← Interior del patio central y acceso desde la calle.

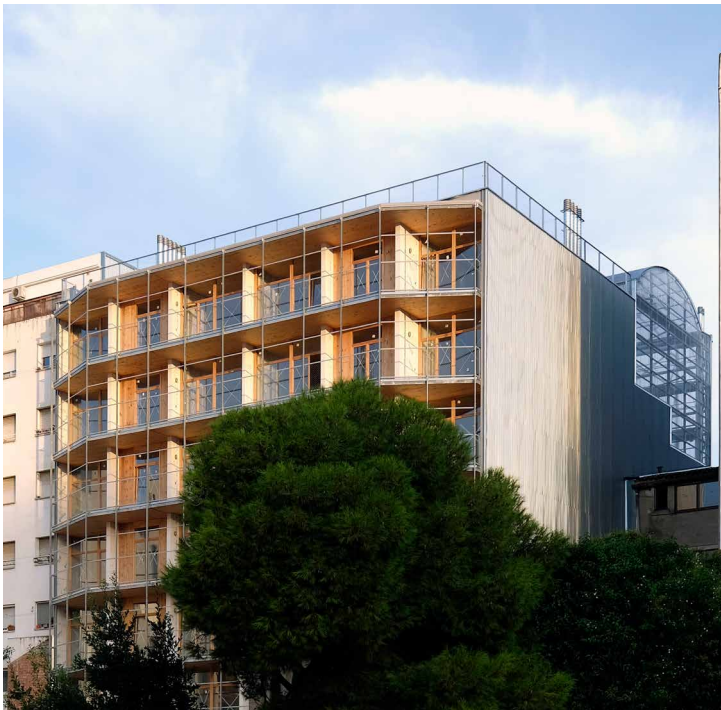


Fig. 172

← Fachada trasera del edificio.







# APARTAMENTOS DALSTON WORKS

LONDRES · REINO UNIDO





- Promoción: Regal London
- Dirección: Waugh Thistleton
- Autoría del proyecto de arquitectura: Waugh Thistleton
- Autoría del proyecto de estructura: Ramboll
- Empresa constructora: Regal Construction
- Fecha comienzo obra: Diciembre de 2.014
- Fecha finalización de obra: Junio de 2.017
- Presupuesto ejecutado total: 24.000.000 £
- Coste del capítulo de estructura: 3.000.000 £
- Tipo de madera: CLT
- Procedencia (empresa): Binderholz Austria
- Volumen (m<sup>3</sup>): 4.649 m<sup>3</sup>
- Superficie construida (m<sup>2</sup>): 16.790 m<sup>2</sup>
- Superficie útil (m<sup>2</sup>): 11.963 m<sup>2</sup>

## INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

«Dalston Lane es el edificio de madera contraminada (CLT) más grande del mundo en el momento de realizar esta publicación. Alberga 121 nuevas viviendas de alquiler (privadas y sociales), además de 3500 m<sup>2</sup> de espacio comercial. La construcción de este edificio de uso mixto demuestra cómo el uso de materiales sostenibles permite producir densidad urbana de calidad sin comprometer el medio ambiente.

Situado en un solar abandonado durante mucho tiempo, el edificio se genera yuxtaponiendo diferentes bloques que se orientan para favorecer la entrada de luz y la ventilación cruzada de los espacios habitables. Los bloques definen dos patios ajardinados que esponjan el duro contexto urbano, y que están flanqueados por 1500 m<sup>2</sup> de comercios y restaurantes. Al sur del solar se dispone un espacio de trabajo flexible, de acuerdo a la demanda de la creciente comunidad creativa y empresarial del barrio londinense de Dalston.

La intrincada fachada de ladrillo del edificio hace referencia a las viviendas y almacenes industriales de estilo victoriano y eduardiano de los alrededores, contribuyendo al paisaje urbano local como complemento contemporáneo.»

→ Sección por patios de este a oeste. En amarillo la estructura de madera.



Fig. 174

← Planta tipo viviendas de alquiler.



Fig. 175

→ Esquema estructural del proyecto.

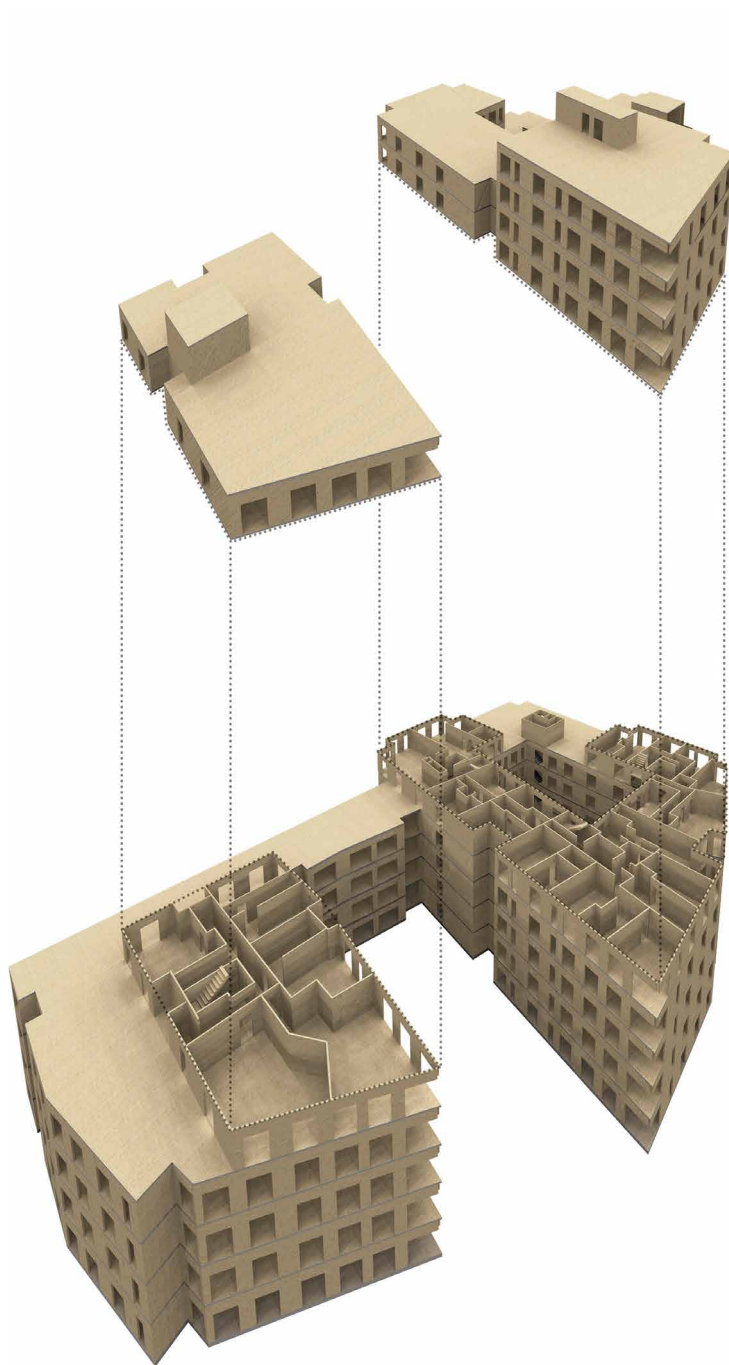
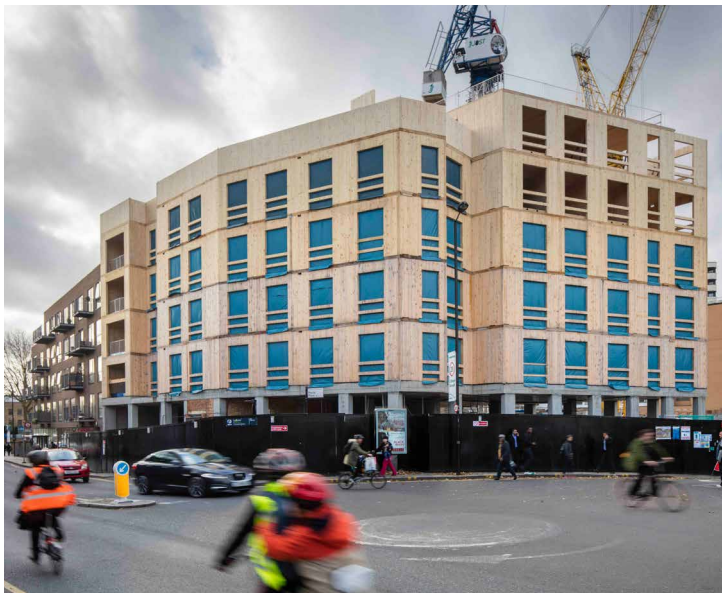


Fig. 176

## DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

El sótano, la planta baja y la losa de techo de planta baja son de hormigón armado, debido a que en estos niveles se precisan grandes luces y lo más importante es la resistencia a la humedad. A partir de la losa del primer piso, todos los muros y forjados estructurales son de CLT. Los núcleos de circulación vertical –escaleras, ascensores, huecos para instalaciones– se construyen también en CLT. Incluso los propios peldaños de las escaleras fueron construidos en CLT en la fábrica de Binderholz en Austria, y posteriormente enviados a obra. Las divisiones interiores de pisos no estructurales son de subestructura metálica ligera para rebajar el coste de construcción.

«La madera es un material ligero (una estructura equivalente a la de Dalston Lane, pero de hormigón armado, pesaría cinco veces más), lo que permitió solucionar también problemas específicos del proyecto. La línea subterránea de tren HS2 atraviesa el solar, por lo que la cimentación por pilotes no era una opción. En consecuencia, el peso máximo del edificio estaba restringido a la capacidad de una losa de cimentación. Debido a la ligereza del edificio, se pudieron construir 35 viviendas más de las que hubieran sido posibles con una estructura tradicional de hormigón y acero.»



← Proceso constructivo.

Fig. 177

## MEDIOS AUXILIARES AL MONTAJE

En cuanto a los medios auxiliares, en este proyecto se empleó una grúa torre fija, para el movimiento y montaje de materiales, incluidos obviamente los paneles estructurales.

En el caso de esta edificación y debido a su gran envergadura, sí se realizó acopio de material en obra. Sin embargo, el acopio del CLT era por periodos cortos de tiempo, ya que éste llegaba a la obra en el orden adecuado para el montaje.

Se emplearon 111 camiones, por medio de transportes normales, con el fin de facilitar labores y ahorrar costes. Cada uno de ellos transportando unos 42 m<sup>3</sup> de madera.

El edificio fue diseñado para la óptima coordinación del corte de huecos para puertas, ventanas e instalaciones, reduciendo desperdicios y favoreciendo la calidad y fluidez en obra. Sin embargo, algunos pequeños apeos de CLT se mantuvieron provisionalmente en los generosos huecos de fachada como medida de protección temporal hasta la instalación de las ventanas, mejorando la eficiencia del proceso constructivo y reduciendo los costes en obra.

→ Proceso constructivo, fachada sin cubrir.

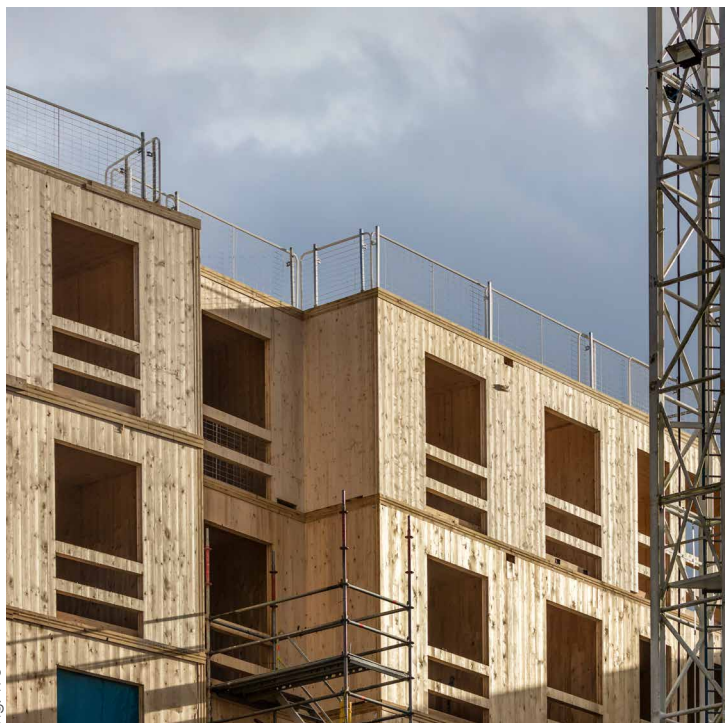
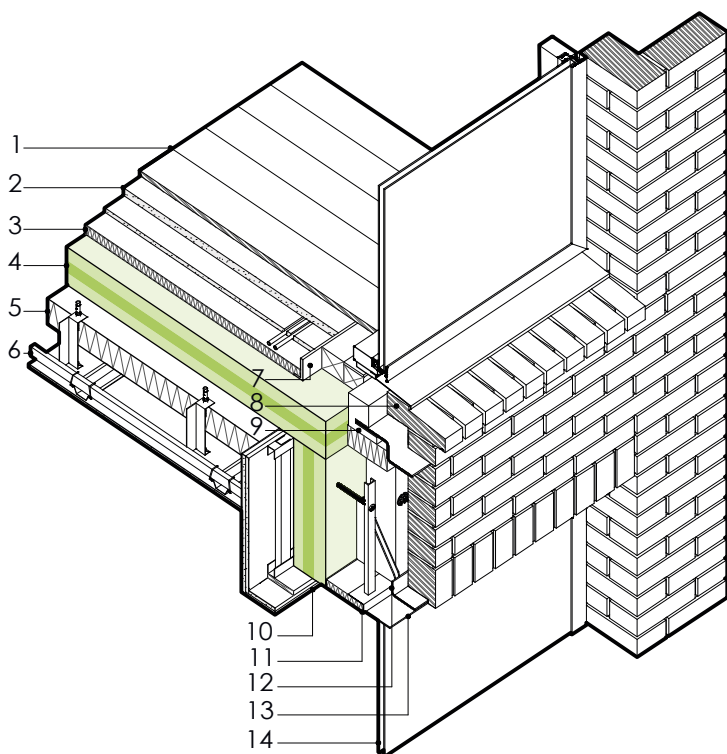


Fig. 178





← Axonometría constructiva:

Detalle de fachada

1. Pavimento de madera.
2. Pavimento con calefacción por suelo radiante integral
3. Aislamiento acústico de impacto
4. Panel de CLT de 100 mm (verde)
5. Aislamiento de lana mineral de 50 mm
6. Techo suspendido de placas de yeso de 12,5 mm
7. Listón de flanqueo
8. Alféizar de ladrillo inclinado
9. Ángulo de apoyo del alféizar
10. 2 capas de 12,5 mm de cartón yeso
11. Cierre de cámara resistente al fuego
12. Ángulo de soporte de mampostería
13. Tapajuntas de aluminio PPC prensado
14. Ventana mixta madera/aluminio con doble acristalamiento.

Fig. 179

En esta axonometría constructiva se puede apreciar cómo se realiza la solución de fachada ventilada acabada en ladrillo caravista, propio de la arquitectura industrial típica londinense. Ésta se soluciona por medio de unas bandejas metálicas sostenidas por escuadras de acero que van directamente fijadas a los paneles estructurales de CLT de fachada.

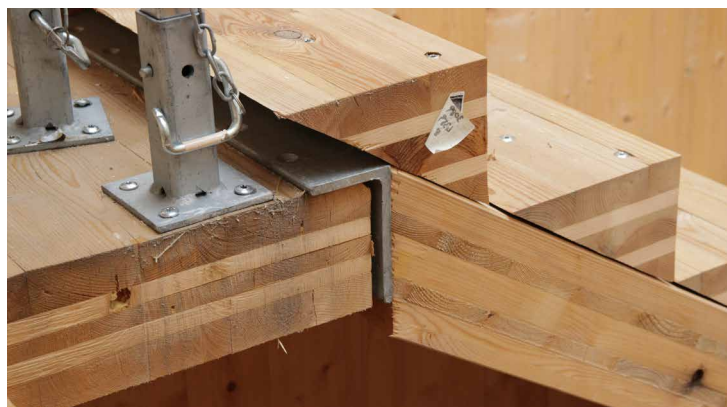


Fig. 180

← Encuentro

entre rampa de escalera y forjado CLT.



→ Interior de la vivienda.

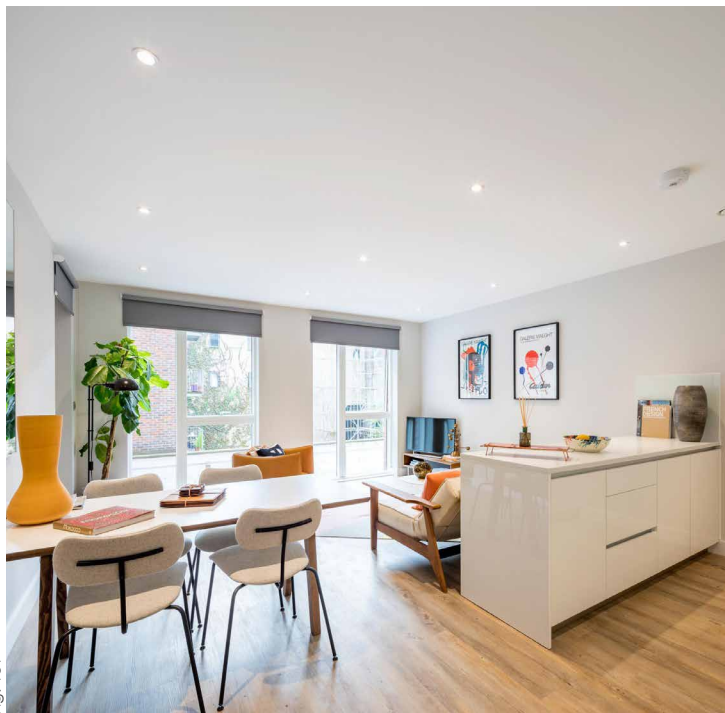


Fig. 181

→ Exterior terminado con vistas al río.

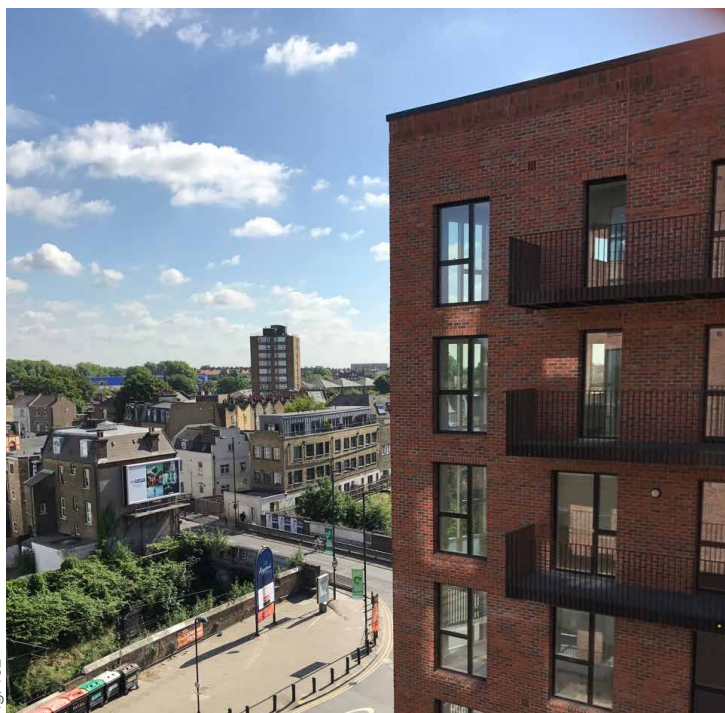


Fig. 182



Fig. 183

← Edificio terminado desde el otro lado del río.



Fig. 184

← Interior del patio cerrado.





VIVIENDA UNIFAMILIAR ENTRE MEDIANERAS EN GRACIA  
BARCELONA · CATALUÑA · ESPAÑA





- Promoción: Privado
- Dirección: García & Sala Arquitectes
- Autoría del proyecto de arquitectura: García & Sala Arquitectes
- Autoría del proyecto de estructura: Magí Cuberta. Arquitecte Tècnic
- Empresa constructora: HOUSE HABITAT CASA PASIVA SL
- Fecha comienzo obra: Octubre de 2.014
- Fecha finalización de obra: Septiembre de 2.015
- Presupuesto ejecutado total: 404.000,00€ (vivienda) + 56.000€ (mov. tierras + cimentación)
- Coste del capítulo de estructura: 41.250,00€ estructura + 4.800,00€ transporte + 22.000,00€ montaje
- Tipo de madera: Abeto
- Procedencia (empresa): Centro Europa (Binder)
- Volumen (m<sup>3</sup>): 64 m<sup>3</sup>
- Superficie construida (m<sup>2</sup>): 346,4 m<sup>2</sup>

## INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

«El edificio construido con estructura de madera en el distrito de Gracia, fue en su momento el más alto de este tipo en Barcelona y destaca por la combinación de diversos sistemas estructurales. Se trata de una casa unifamiliar, de 346 m<sup>2</sup> construidos, que se finaliza en el plazo de seis meses.

La innovadora vivienda de estructura de madera se integra a la perfección en el céntrico y popular barrio barcelonés, optimizando al máximo el espacio disponible, un solar de 75 m<sup>2</sup> entre medianeras. El inmueble consta de planta baja, atilillo, primera planta, segunda planta y cubierta transitable.

El edificio dispone de calificación «A» de eficiencia energética, que refleja el considerable ahorro en energía para calentarlo en invierno o refrigerarlo en verano. La vivienda incorpora un sistema de renovación de aire con recuperador de energía de alta eficiencia, que permite ventilar la casa sin pérdidas energéticas; así como aerotermia para ACS (agua caliente sanitaria).»

→ Secciones de la vivienda.

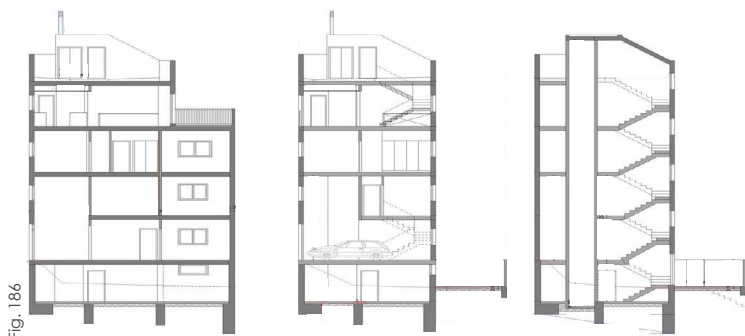
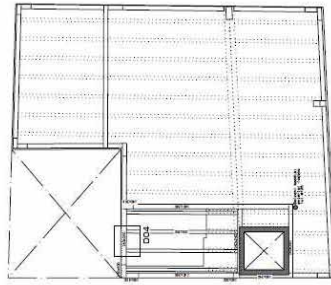
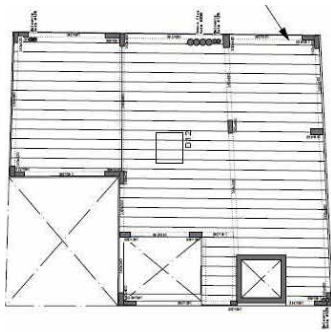


Fig. 186



← Plantas  
estructurales.

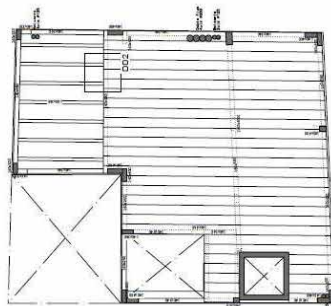
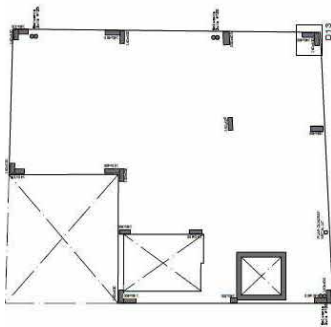
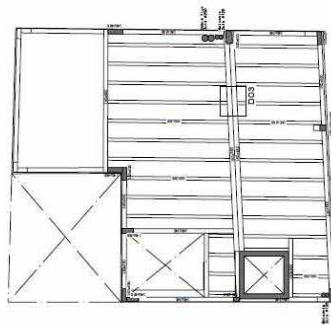
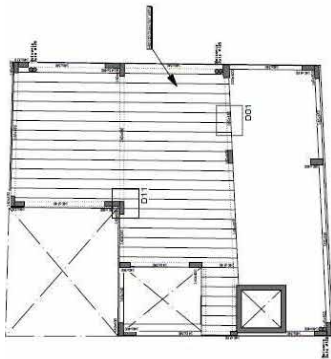


Fig. 187



→ Esquema estructural del proyecto.

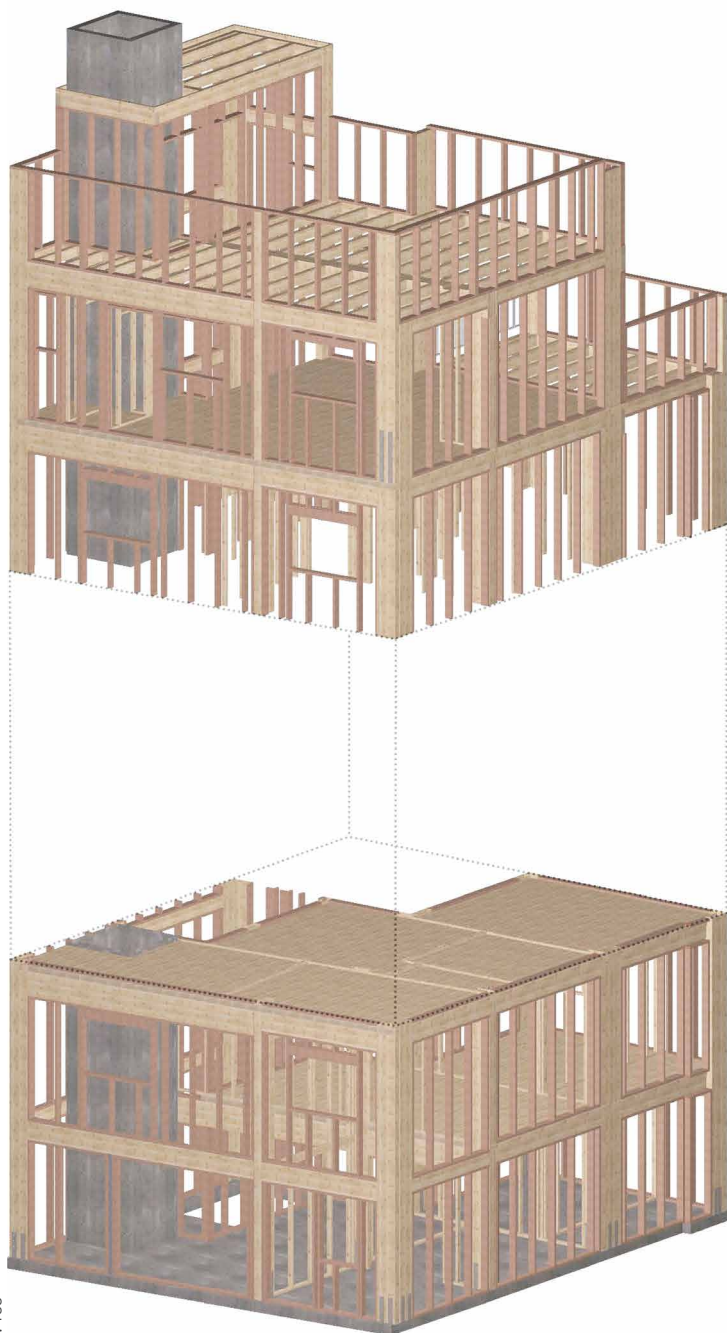


Fig. 188

## DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Se trata de una estructura mixta de madera. Combina un sistema de pilares y vigas «tradicional», de entramado pesado, que sostiene toda una serie de forjados de paneles de madera laminada machihembrada, y un sistema de entramado ligero de madera que se emplea para realizar las particiones entre estancias y las fachadas, a la par que rigidizan la estructura. Por otro lado, se emplea el núcleo masivo del ascensor como elemento rígido al que atar los forjados, construido con ladrillo, ayudando a absorber los empujes horizontales sobre el edificio.



← Proceso de montaje de la estructura.

Fig. 189

## MEDIOS AUXILIARES AL MONTAJE

Se trata de un proyecto que, debido a las dimensiones de los elementos empleados, no necesita de excesivos medios auxiliares. Para el montaje de la estructura se emplea la grúa pluma propia del camión de transporte de las piezas de mayor tamaño. El resto de piezas menores se instalan y desplazan de forma manual por los operarios.

→ Arranque de estructura de madera sobre cimentación de hormigón.



Fig. 190

→ Forjados de viga laminada machihembrada.

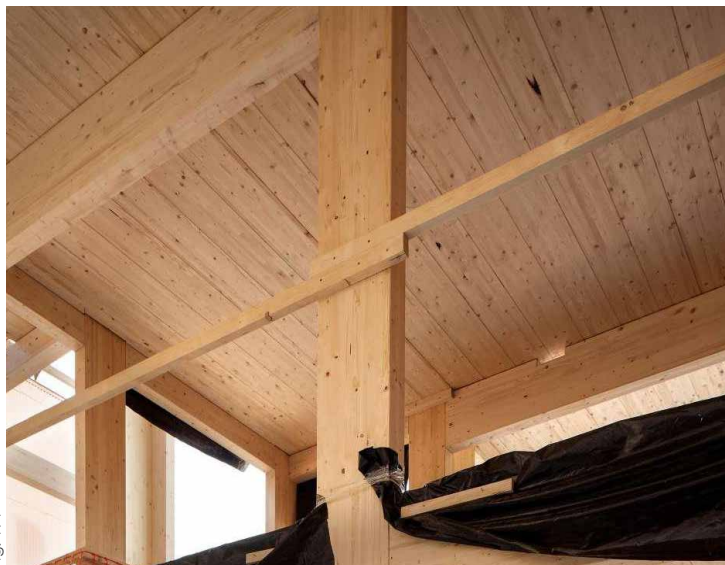
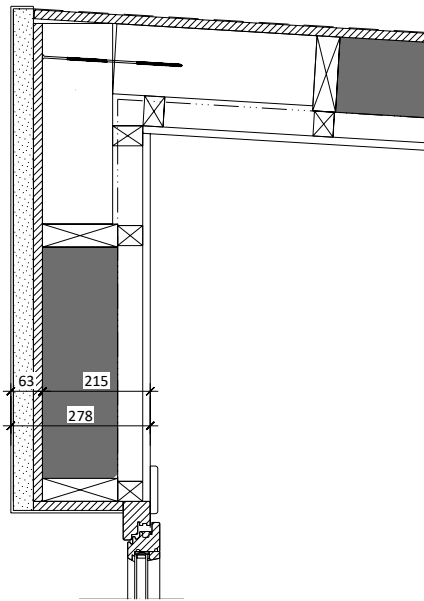
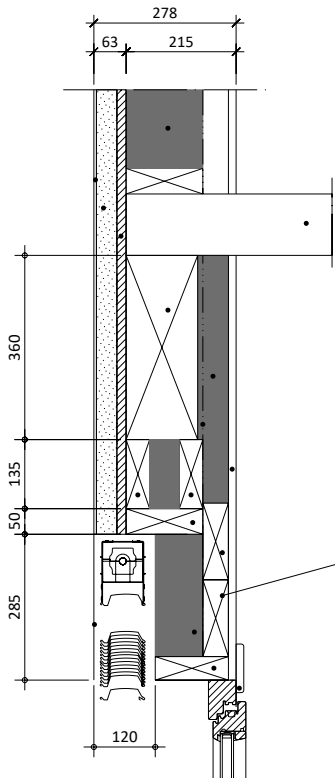


Fig. 191



← Detalle constructivo fachada-estructura (horizontal).

Fig. 192



← Detalle constructivo fachada (vertical).

Fig. 193



→ Estructura de la fachada principal.

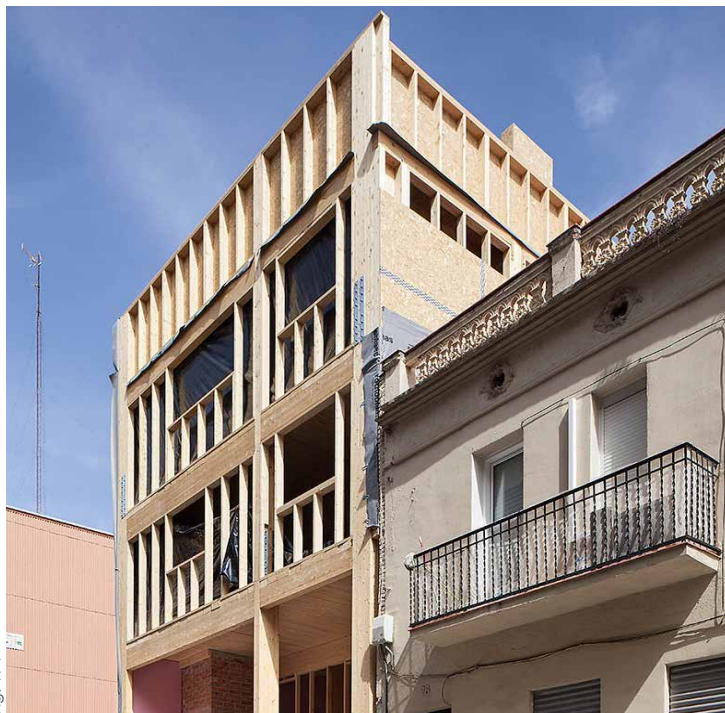


Fig. 194

→ Estructura de la fachada trasera.

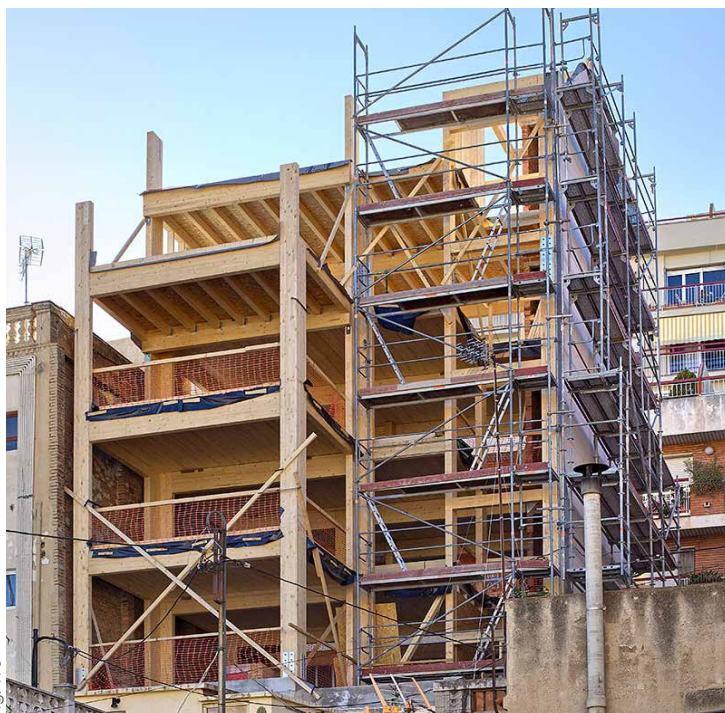
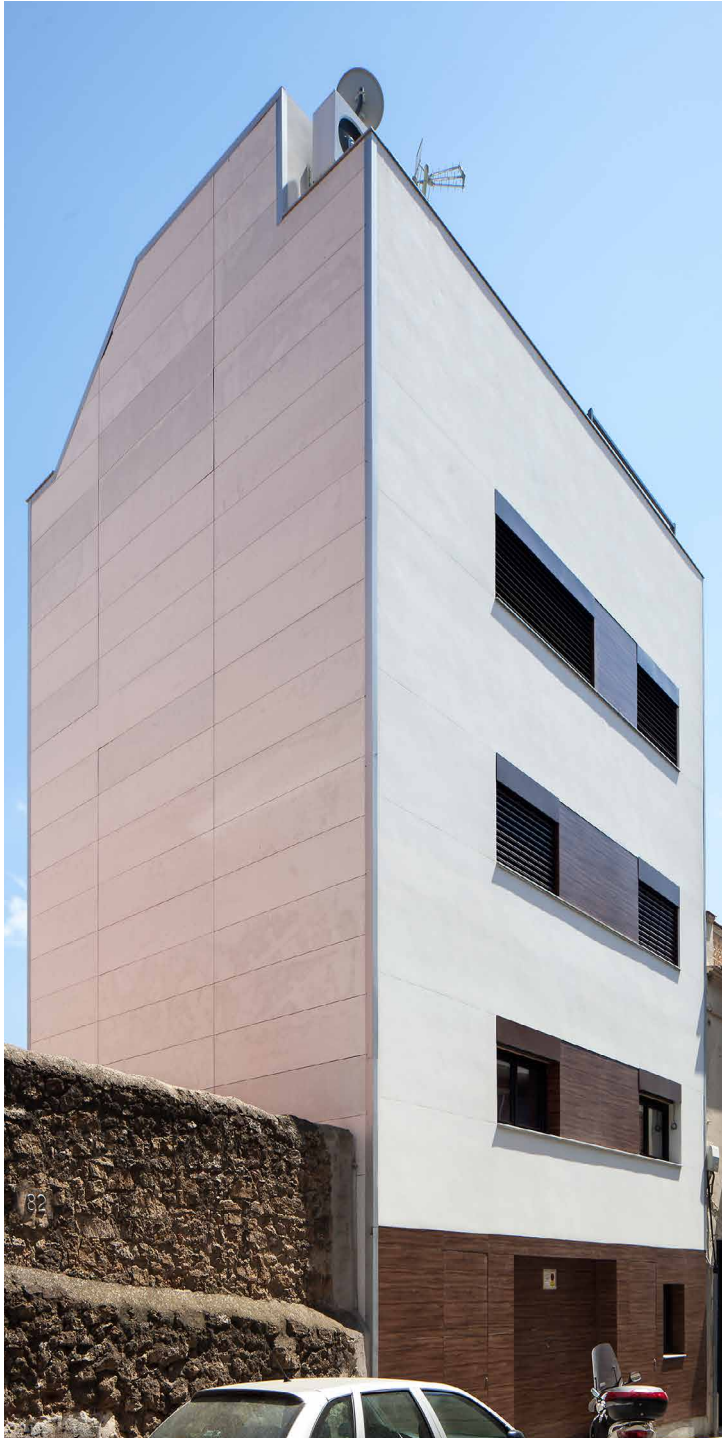


Fig. 195



← Fachada terminada.

Fig. 196





# APARTAMENTOS EN AUBERVILLIERS

PARÍS • FRANCIA



- Promoción: Interconstruction
- Dirección: Waugh Thistleton
- Autoría del proyecto de arquitectura: Waugh Thistleton Architects
- Autoría del proyecto de estructura: S2T
- Empresa constructora: Charpente Houot (timber contractor). LTE (groundwork contractor)
- Fecha comienzo obra: 4 de septiembre de 2.017
- Fecha finalización de obra: Septiembre 2.020
- Presupuesto ejecutado total: 6.380.000 €
- Coste del capítulo de estructura: 1.558.260 €
- Tipo de madera: CLT y SIP
- Procedencia (empresa): Binderholz y Charpente Houot
- Volumen (m<sup>3</sup>): 800 m<sup>3</sup>
- Superficie útil (m<sup>2</sup>): 4,500 m<sup>2</sup>

## INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

La promotora local seleccionó la utilización de la madera por sus valores para una construcción sostenible y las posibilidades que ofrece para que la comunidad existente prospere y crezca.

Para establecer una continuidad urbana, el conjunto está formado por calles bien iluminadas, pasajes, patios y plazas ajardinadas abiertas. También presenta una serie de jardines, diseñados para niños, adolescentes y ancianos para fomentar un sentido de comunidad totalmente inclusivo.

Los seis bloques de viviendas de altura media y baja están diseñados en respuesta a la estratificación del espacio, y ofrecen apartamentos que van de una a cuatro habitaciones, todos con espacios de uso exteriores. Constructos a partir de muros de entramado ligero de madera prefabricados y paneles CLT, cada edificio cuenta con grandes terrazas a nivel del techo y fachadas de madera para suavizar la estética del entorno construido circundante.

→ Render del barrio completo.

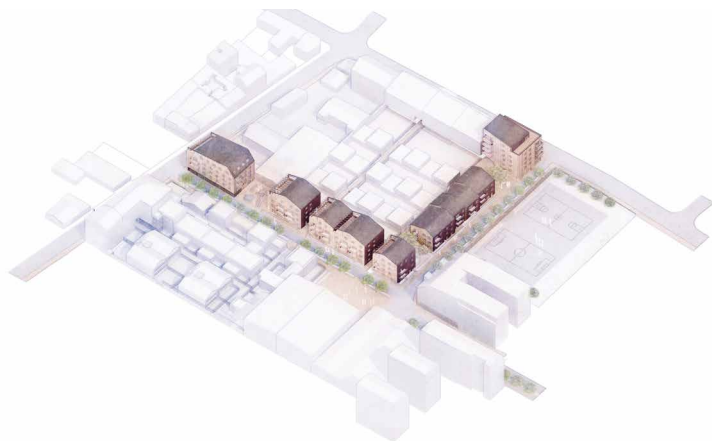


Fig. 198





← Planta del barrio completo.

Fig. 199

→ Esquema estructural del proyecto.

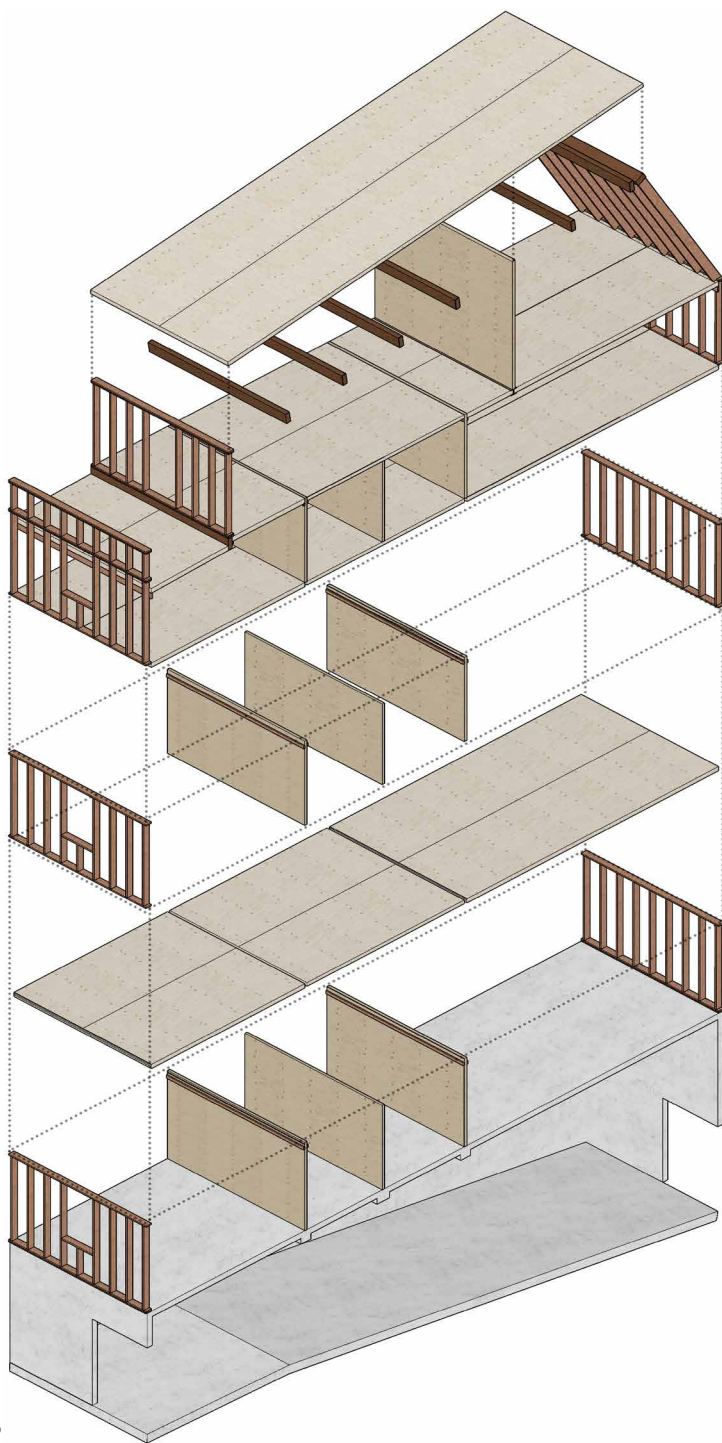
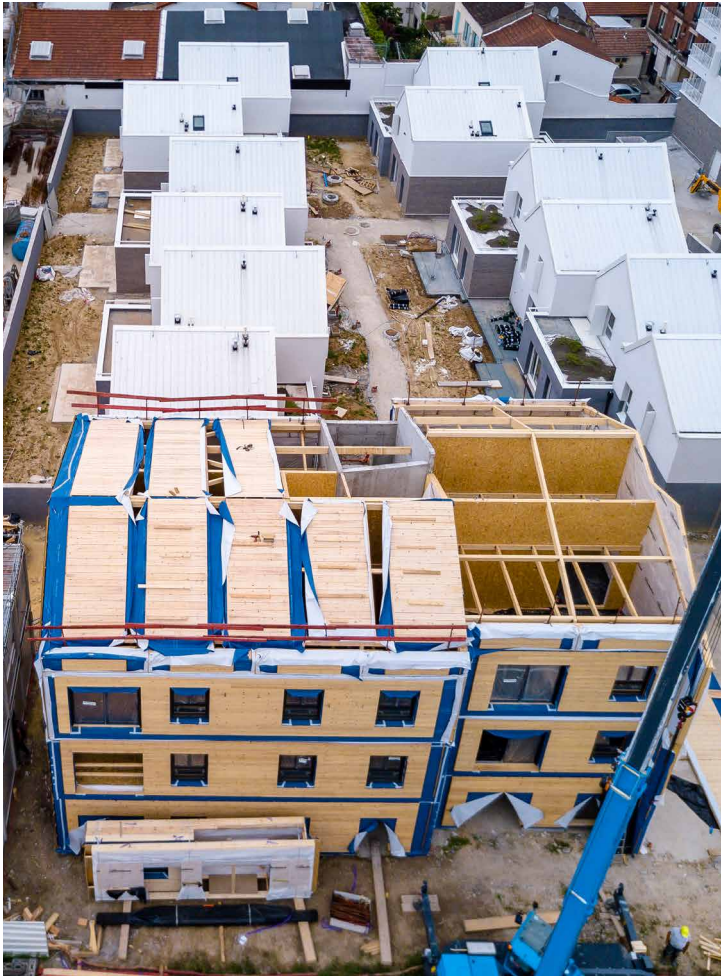


Fig. 200

## DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

La estructura de este proyecto se realiza combinando diferentes tipologías estructurales. Por un lado, los cimientos, la planta baja y el núcleo de comunicaciones vertical de estos edificios, se realiza por medio de una estructura de hormigón armado «tradicional». El resto de las alturas se ejecuta combinando sistemas de muros portantes de paneles CLT y paños portantes de entramado ligero. El entramado ligero se emplea en las fachadas, de tal forma que en ellas se consigue un espesor de aislamiento mayor. Para el resto de elementos estructurales se emplean los muros portantes de CLT.



← Montaje de la cubierta con vista del entorno.



## MEDIOS AUXILIARES AL MONTAJE

Dada la extensa configuración del proyecto en planta, se emplean como elementos auxiliares al montaje dos tipos de grúa. Por un lado, una grúa torre, para las labores más genéricas de la obra, y por otro lado una grúa pluma móvil. Dicha grúa móvil se emplea para el montaje de los paneles CLT, dado que se puede ir desplazando por el perímetro de la obra con el fin de ir montando los diferentes volúmenes que configuran el entorno urbano que define el proyecto.

→ Proceso constructivo, vista de pájaro.



Fig. 202

→ Prototipo detalle terraza escala 1:1.



Fig. 203

← Detalle  
constructivo de la  
sección completa.

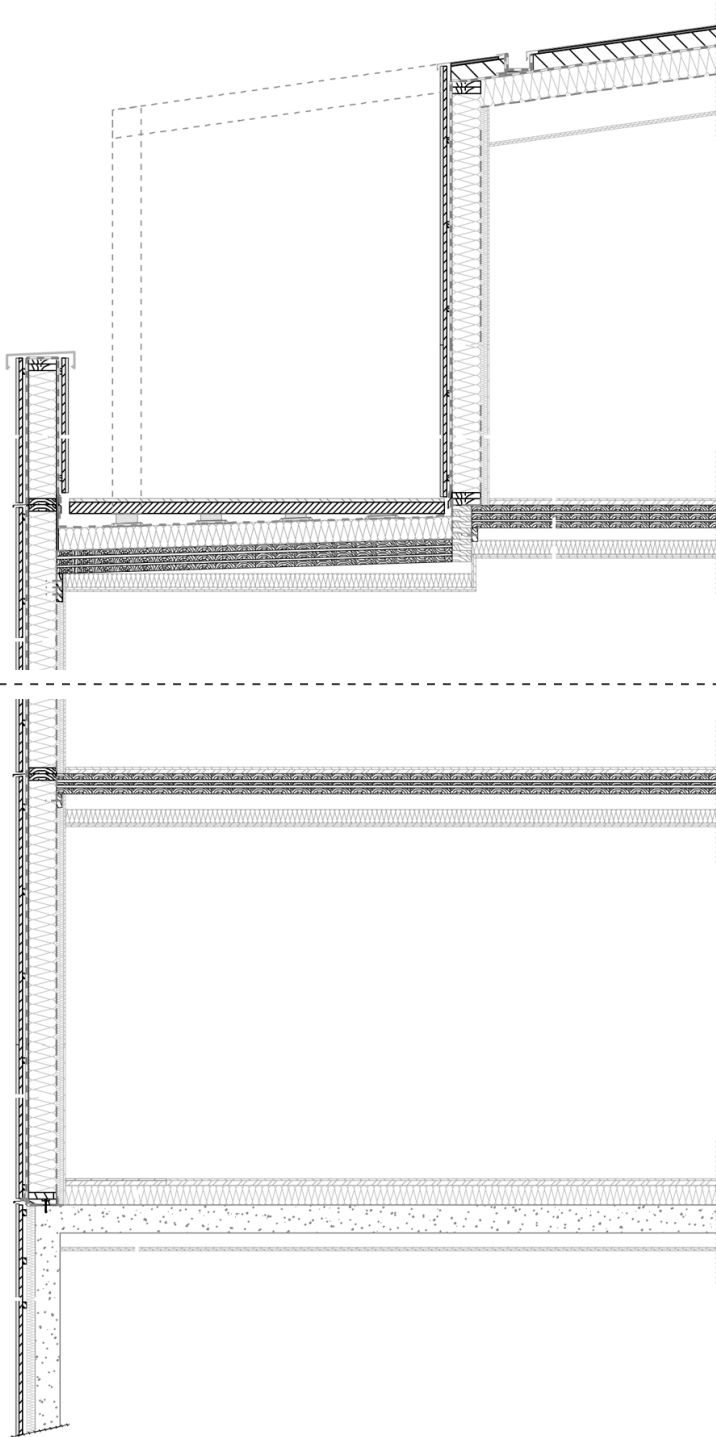


Fig. 204

→ Proyecto terminado, vista desde el exterior de la urbanización.



Fig. 205

→ Proyecto terminado, vista desde el interior de la urbanización.

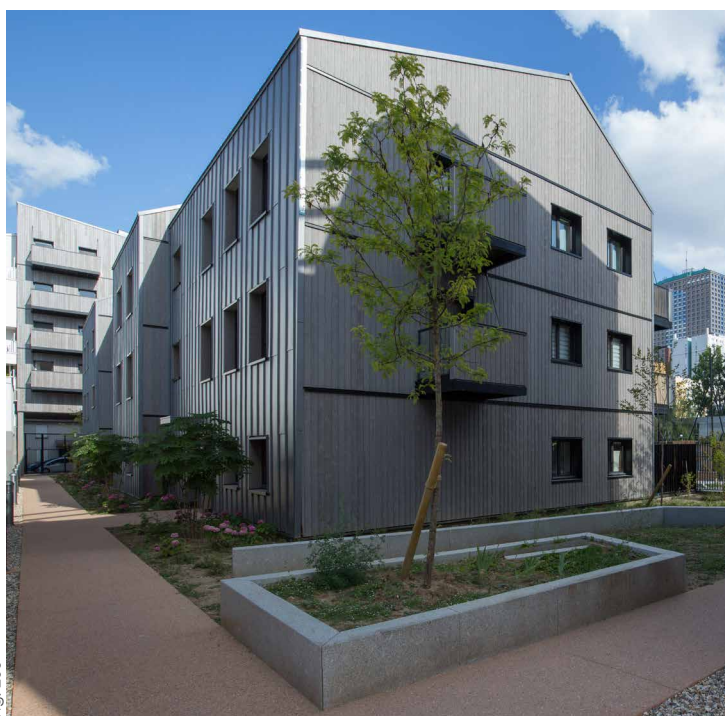


Fig. 206



Fig. 207

← Proyecto terminado, fachada con balcones.

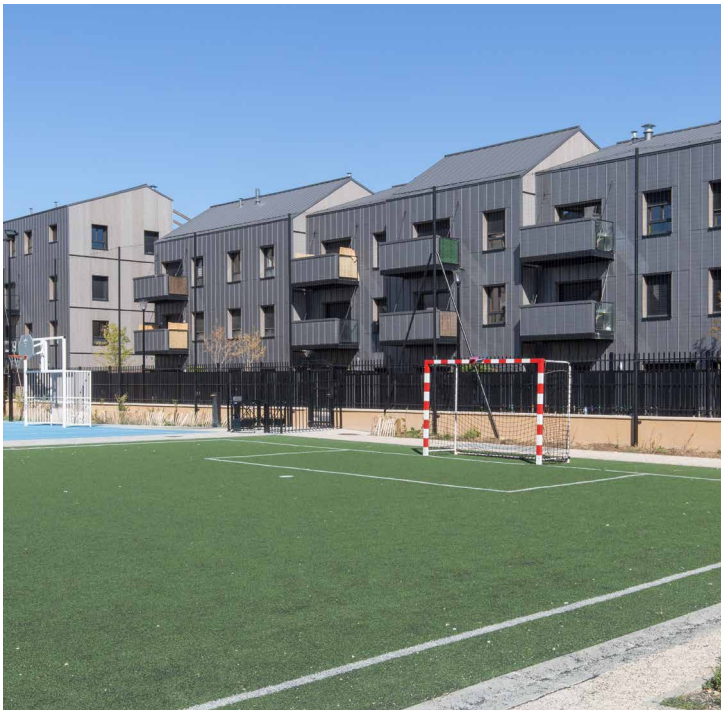


Fig. 208

← Proyecto terminado, vista desde parque.





VIVIENDAS 3<sup>ra</sup> EDAD EN LØRENSKOG  
AKERSHUS. • NORUEGA





- Promoción: Oslo Kommune, Undervisningsbygg (Empresa Pública del Ayunt. de Oslo)
- Dirección: HRTB AS Arkitektter
- Autoría del proyecto de arquitectura: HRTB AS Arkitektter
- Autoría del proyecto de estructura: Degree of Freedom AS
- Empresa constructora: HENT AS
- Fecha comienzo obra: Noviembre de 2018
- Fecha comienzo estructura de madera: Marzo de 2019
- Fecha finalización estructura de madera: Junio de 2020
- Presupuesto ejecutado total: (Sin datos)
- Coste del capítulo de estructura: (Sin datos)
- Tipo de madera: GL24c CLT
- Procedencia (empresa): Binderholz
- Volumen (m<sup>3</sup>): 1.710 m<sup>3</sup>
- Superficie construida (m<sup>2</sup>): 5.460 m<sup>2</sup>

## INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

Degree of Freedom es contratista de los servicios de diseño del edificio para albergar una escuela infantil y residencia para la 3ª edad en el municipio de Lørenskog (Noruega). El edificio consta de un máximo de tres plantas sobre rasante, distribuidas en dos cuerpos de 55x25m y 30x20m, que forman un conjunto en forma de L, ejecutadas completamente en madera, en las que se utiliza madera contra-laminada de abeto en forjados y muros. También existe un nivel de parking bajo rasante, que se ejecuta en hormigón armado.

→ Planta de emplazamiento y urbanización.



Fig. 210

← Planta tipo viviendas.

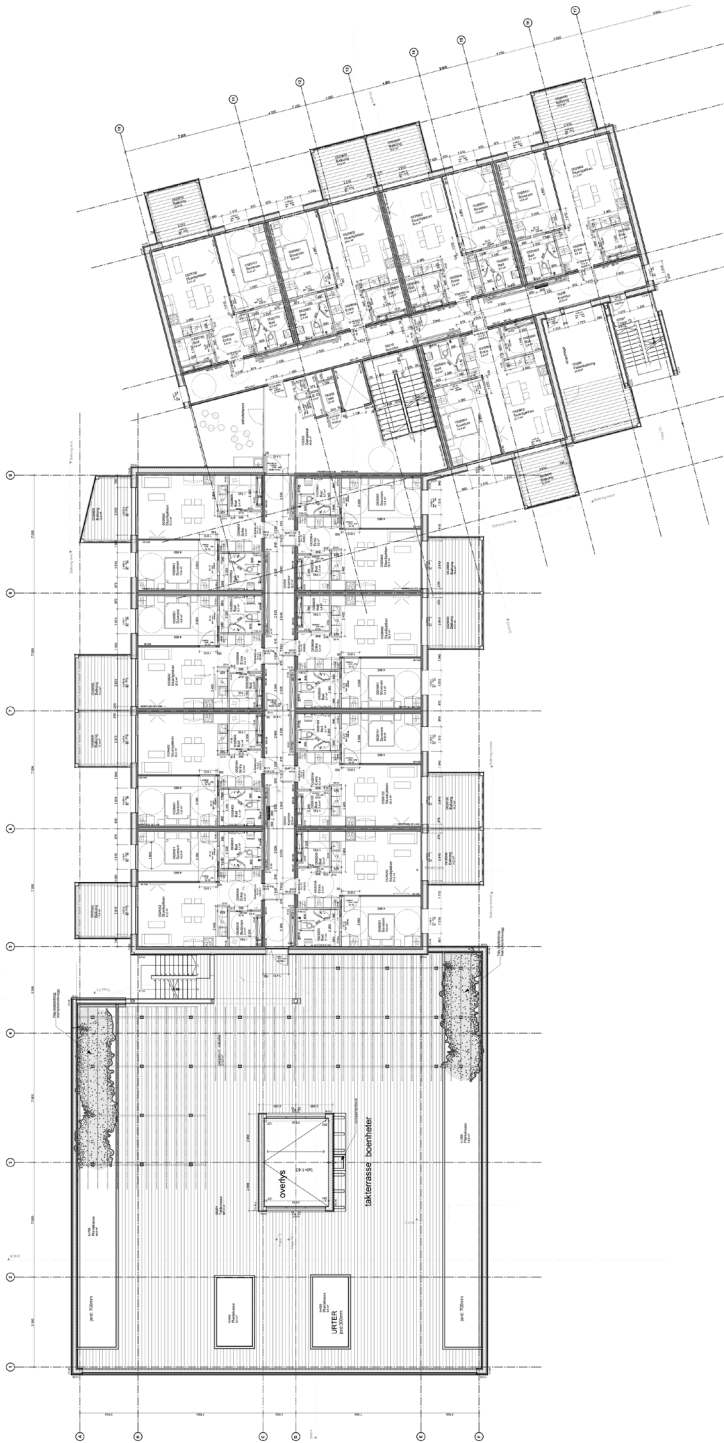


Fig. 211

→ Esquema estructural del proyecto.

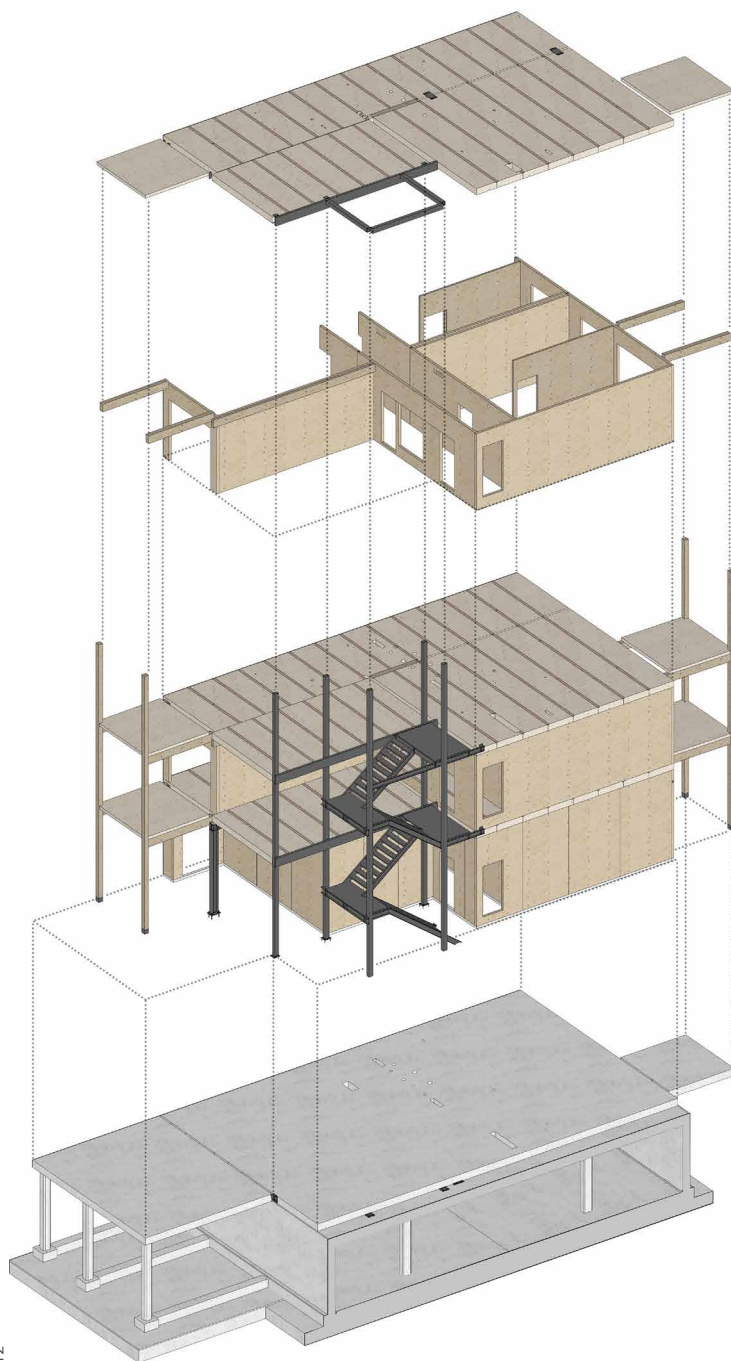


Fig. 212

## DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

«Para la estructura de madera, se adopta la tipología constructiva conocida como «platform frame», en la que los paneles que forman los muros de una planta son temporalmente arriostrados hasta que los paneles que forman las losas son instalados y fijados a ellos (mediante tornillos y angulares metálicos). Una vez completa la estructura de una planta, ésta sirve de plataforma para la erección de los muros de la planta siguiente.

Para ciertos elementos singulares se emplea una estructura o sub-estructura de acero laminado. Dos ejemplos de esto son los refuerzos a compresión que se añaden a los paneles de CLT en planta baja a modo de «pilares». Por otro lado, las escaleras de evacuación en caso de incendios, al estar totalmente expuestas a las inclemencias del exterior, se deciden ejecutar en acero.»



← Esquema estructural del proyecto en planta.

Fig. 213

## MEDIOS AUXILIARES AL MONTAJE

Para la ejecución de este proyecto fue necesaria una torre grúa en superficie, situada en el ángulo interior de la «L» que conforma el edificio, de tal forma que desde ese punto pudiera abarcar, tanto la llegada de los materiales, como la distribución y montaje de los mismos, en toda la obra.

→ Prototipo detalles uniones CLT.

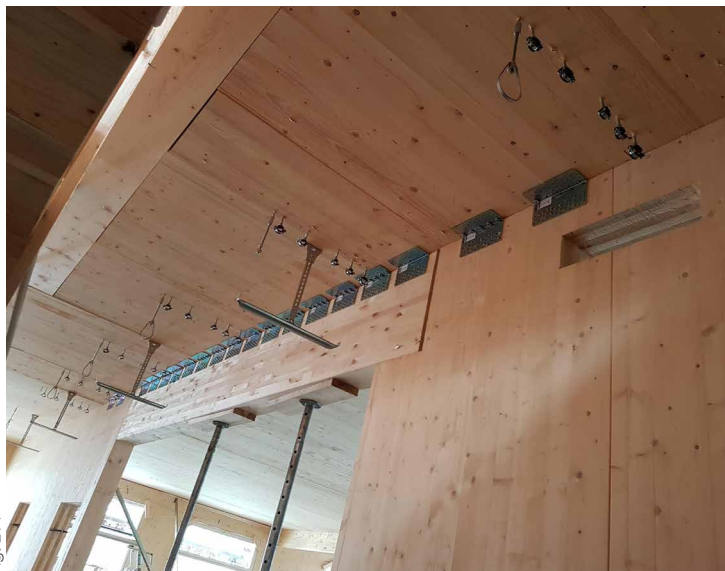


Fig. 214

→ Montaje de estructura con anclajes.



Fig. 215





Fig. 216

← Montaje de estructura con anclajes.



Fig. 217

← Estructura interior de madera sin cubrir.



→ Estructura CLT con soportes de montaje.

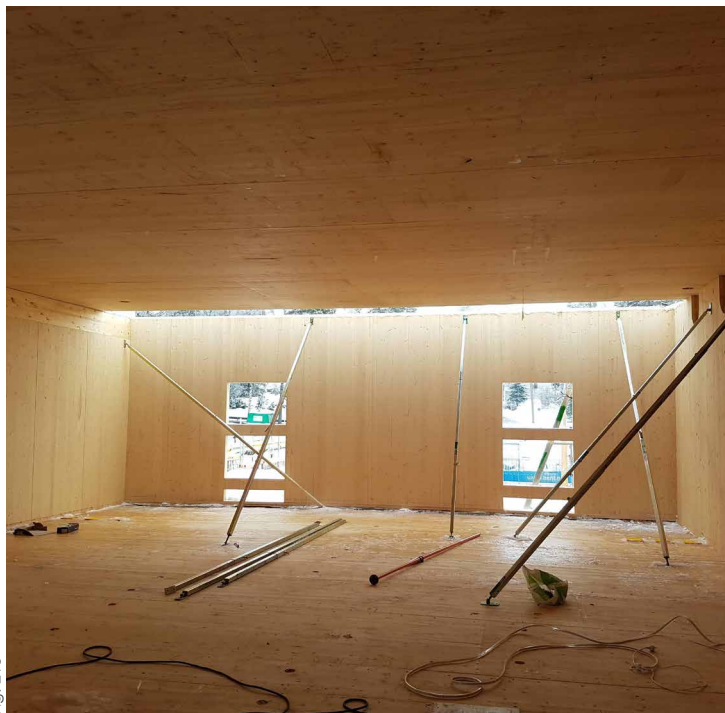


Fig. 218

→ Urbanización terminada y sus jardines en invierno.



Fig. 219



Fig. 220

← Montaje del revestimiento de fachada.



Fig. 221

← Urbanización terminada y sus jardines en verano.





7 VIVIENDAS EN BIEL  
SEELAND • SUIZA



- Promoción: CASA-VITA / FREFEL HOLZBAU AG
- Dirección: CASA-VITA / FREFEL HOLZBAU AG
- Autoría del proyecto de arquitectura: Bauzeit Architects
- Autoría del proyecto de estructura: Bauzeit Architects
- Empresa constructora: CASA-VITA / FREFEL HOLZBAU AG
- Fecha comienzo obra: Verano 2.012
- Fecha comienzo estructura de madera: Verano 2.013
- Presupuesto ejecutado total: (Sin datos)
- Coste del capítulo de estructura: (Sin datos)
- Tipo de madera: Entramado Ligero y Paneles Cajón tipo Novatop
- Procedencia (empresa): CASA-VITA / FREFEL HOLZBAU AG
- Volumen (m<sup>3</sup>): 4.500 m<sup>3</sup> aprox.
- Superficie construida (m<sup>2</sup>): 1.500 m<sup>2</sup> aprox.

## INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

El edificio, primer premio en concurso de proyectos en el año 2007, se sitúa en un entorno urbano de baja densidad a las afueras de Biel, en el que priman los espacios verdes entre edificaciones y las vistas sobre el paisaje circundante gracias a la pendiente de la parcela.

Los siete apartamentos que conforman el edificio se construyen en cuatro plantas sobre rasante, con generosos espacios al aire libre mediante terrazas que articulan el volumen del edificio, y extienden el habitar interior hacia el paisaje, proponiendo un modo de vida vinculado al exterior en cada uno de los apartamentos.

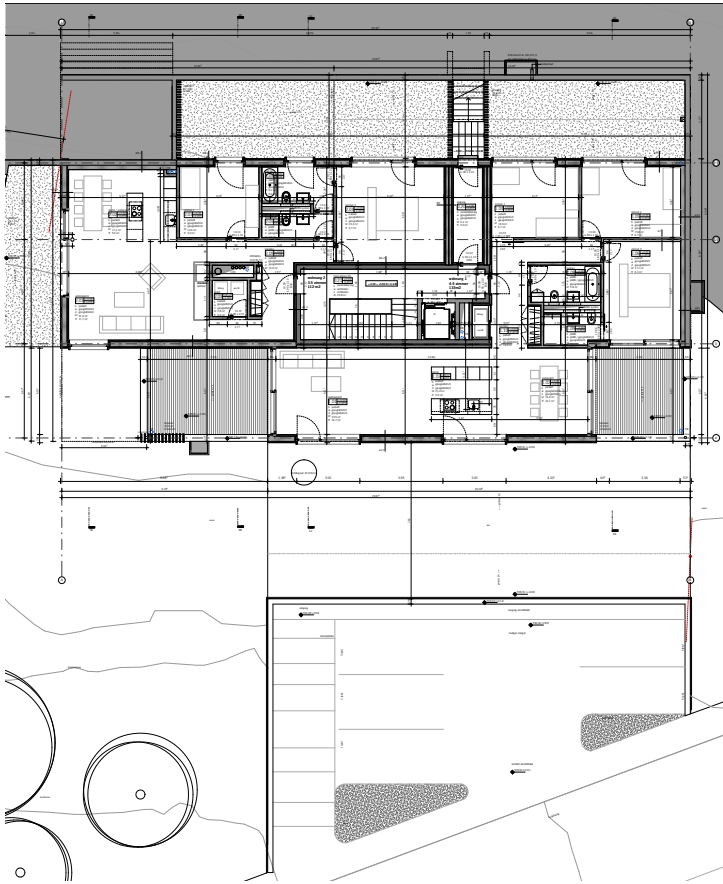
Tanto en los interiores como en los exteriores se han utilizado materiales naturales y nobles con el objetivo de crear unas atmósferas extremadamente positivas y agradables para el desarrollo del habitar. El edificio está construido siguiendo los máximos estándares de eficiencia energética y sostenibilidad, alcanzando la certificación Minergie-Eco.

→ Fachada principal del edificio en construcción.



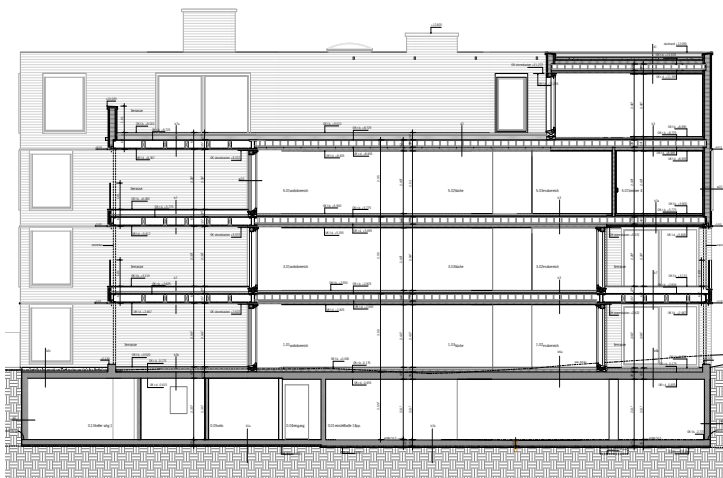
Fig. 223





← Planta tipo con entorno.

Fig. 224



← Sección estructural de la vivienda.

Fig. 225



→ Esquema estructural del proyecto.

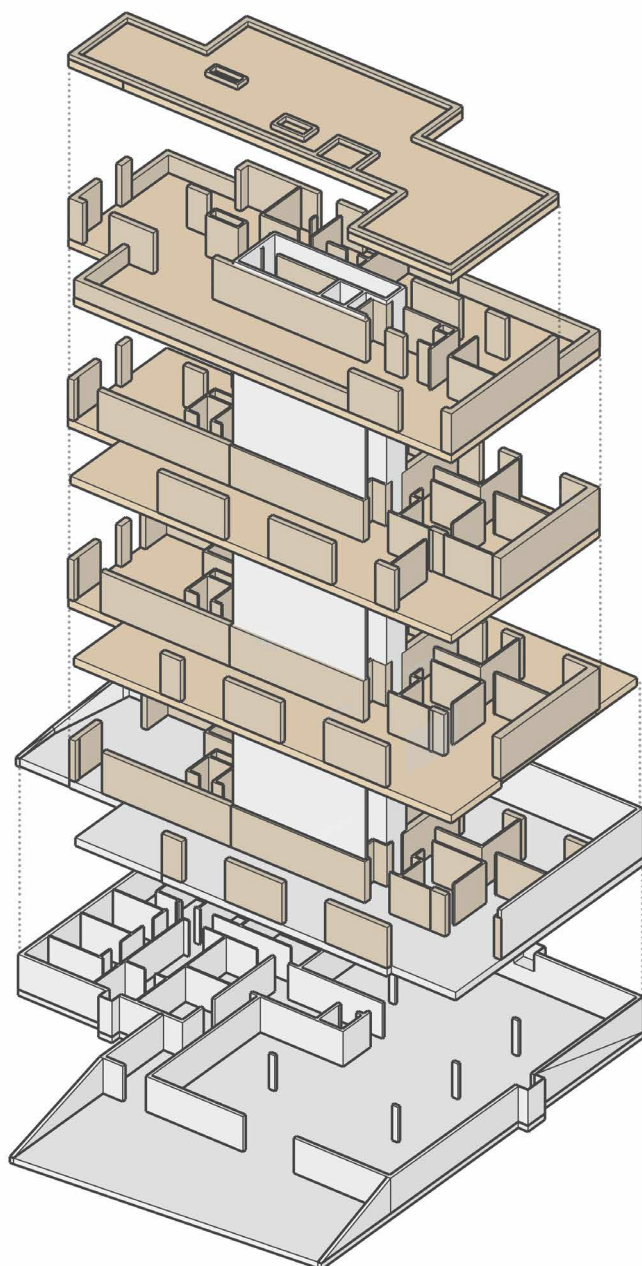


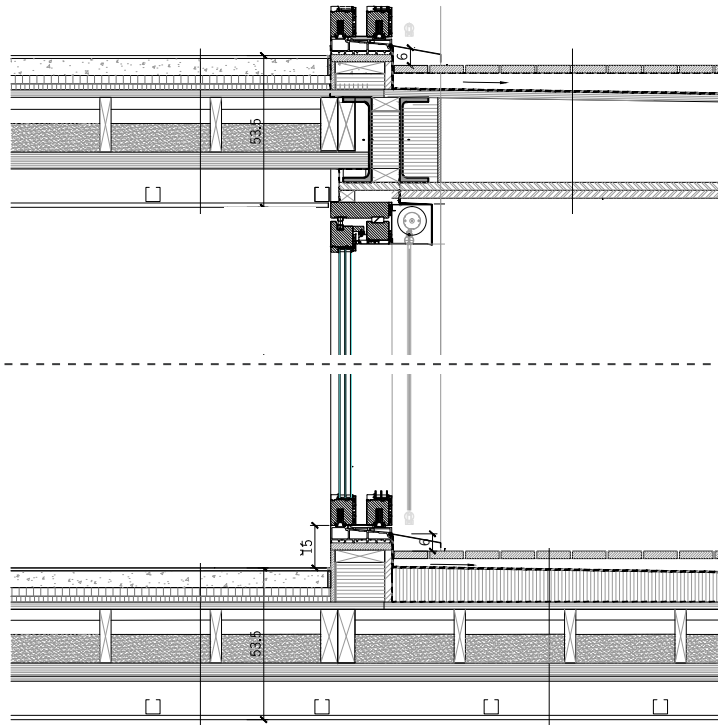
Fig. 226

## DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

El edificio consta de un sótano masivo construido en hormigón armado tanto en sus muros perimetrales como en su forjado de techo, con divisiones de bloque de hormigón en su interior, destinado a garaje y cuartos auxiliares. A partir de la cota 0 y hasta alcanzar las cuatro plantas sobre rasante, se desarrolla una estructura de madera mediante paneles industrializados de entramado ligero.

Tanto las fachadas perimetrales como las divisiones interiores están conformadas por paneles de entramado ligero cerrado, mientras que los forjados están constituidos por paneles cajón tipo Novatop de 28 cms de espesor. Estos paneles cajón están formados por costillas de madera KVH cada 340mm, cerradas superior e inferiormente por paneles multicapa de distinto espesor en función de la resistencia al fuego que sea necesario alcanzar, REI60 en este caso.

El edificio está arriostrado por el núcleo de escalera y ascensor que se construye en hormigón armado, el cual es el encargado de rigidizar el conjunto frente a los esfuerzos horizontales. La estructura se completa con refuerzos lineales de LVL y perfiles de acero.



← Detalle constructivo de plantas con ventana. Diferencia de suelo interior y exterior.

Fig. 227

→ Preparación en fabrica de tabiques.



Fig. 228

→ Preparación en fabrica de tabiques, rematando las ventanas.

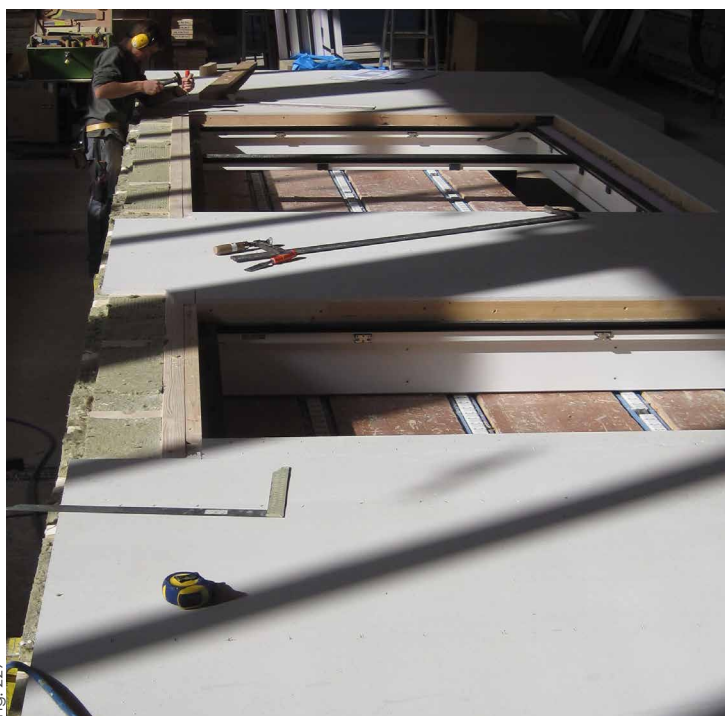


Fig. 229

## MEDIOS AUXILIARES AL MONTAJE

El proyecto tuvo un alto grado de industrialización en fábrica. Tanto las paredes verticales como los forjados horizontales se ensamblaron en taller incluyendo los elementos estructurales, aislamientos y barreras de hermeticidad, carpinterías y vidrios, subestructuras de trasdosados interiores y fachadas ventiladas de madera.

Todo ello permitió el poder terminar la obra en apenas un año, incluyendo la planta sótano y el núcleo vertical, ambos de hormigón armado, reduciendo la necesidad de medios auxiliares a una grúa torre en superficie para el traslado de los diferentes elementos estructurales y de la envolvente directamente desde el transporte a su posición final en obra.



Fig. 230

← Cimentación de hormigón armado.



Fig. 231

← Montaje fachada a la zona llana, a falta de un piso.



→ Montaje de paredes prefabricadas.



Fig. 232

→ Montaje de la estructura, combinación de madera y acero.



Fig. 233





Fig. 234

← Exterior terminado de fachada con vistas a la zona llana.



Fig. 235

← Exterior terminado de fachada, entrada de garajes.





# PREDIMENSIONADO CLT

# 4

## Introducción

- Predimensionado de forjado biapoyado y triapoyado
- Predimensionado de cubierta biapoyada y triapoyada
- Predimensionado de muro biapoyado
- Predimensionado de forjado en voladizo
- Predimensionado de vigas biapoyadas CLT-90 y CLT-120

Autor del capítulo:  
GOIKOETXEA BURGOA, IÑAKI



# INTRODUCCIÓN

Cada fabricante de CLT dispone de unos espesores estándares similares a los que aparecen en la tabla inferior.

Cada uno de ellos, tiene sus tablas de predimensionado para los CLT que fabrica en espesor estándar.

Las siguientes tablas se han calculado con unos paneles de CLT de 1 metro de anchura.

Para el predimensionado de los elementos estructurales de CLT se pueden utilizar las tablas que aparecen en las siguientes páginas. En todas ellas, se calcula un panel de un metro de ancho de CLT. En estas tablas, se han tomado como partida unos espesores estándares de CLT, teniendo como denominador común el mismo espesor de cada una de las capas. Los paneles calculados han sido de capas impares desde 3 hasta 9 capas. En la tabla inferior se hacen observaciones sobre la utilización de cada uno de los paneles.

\*El cálculo del peso propio se ha realizado con la especie de *Pinus radiata* ( $\rho=520 \text{ kg/m}^3$ ).

PANEL	CAPAS	COMPOSICIÓN DE LAS CAPAS (mm)	PESO PROPIO (kg/m <sup>2</sup> )	OBSERVACIONES
CLT 75	3	25-25-25	39	Muro recubierto o tabique
CLT 90	3	30-30-30	47	Muro R30 h= 1 altura
CLT 105	3	35-35-35	55	Muro R30 h= 1 altura
CLT 120	3	40-40-40	62	Muro R30 h= 2 alturas
CLT 125	5	25-25-25-25-25	65	Muro R60 h= 1 altura
CLT 150	5	30-30-30-30-30	78	Muro R60 / Forjado h= 2 alturas
CLT 175	5	35-35-35-35-35	91	Forjados L>5m R30 / R60
CLT 200	5	40-40-40-40-40	104	Forjados L>6m R30 / R60
CLT 210	7	30-30-30-30-30-30-30	110	Forjados L>6m R60
CLT 245	7	35-35-35-35-35-35-35	127	Forjados L>7m R 60
CLT 280	7	40-40-40-40-40-40-40	146	Forjados R90
CLT 360	9	40 x 9	187	Forjados R90



### BASES DE CÁLCULO

-Cálculo de forjados a VIBRACIÓN para Categoría de Uso A o B.

-Sobrecarga  $Q$  ( $\text{KN/m}^2$ ) =  $G_k$  (permanente) +  $Q_k$  (sobrecarga de uso =  $2\text{KN/m}^2$ ).

-Peso Propio del panel incluido en las tablas, Pinus radiata ( $\rho=520 \text{ kg/m}^3$ ).

-Factores de seguridad y combinaciones de cargas:

- $\gamma_m = 1.25$
- $k_{def} = 0.8$

-Límites de flechas:

- Integridad =  $L/400$
- Confort =  $L/350$
- Apariencia =  $L/300$

-Todos los paneles, excepto CLT 75, tienen R30 frete a fuego.

## PREDIMENSIONADO DE FORJADO BIAPOYADO

El cálculo a vibración y deformación de un forjado biapoyado se realiza mediante la utilización de la tabla inferior. En ella, se concreta la luz ( $L$ ) existente entre apoyos en la barra izquierda, y en la barra superior se define la sobrecarga ( $Q$ ) existente. La sobrecarga es la suma entre la carga permanente ( $CP$ ) y la sobrecarga de uso ( $SU$ ). Se ha considerado que la sobrecarga de uso siempre sea  $2 \text{ KN/m}^2$ , como se indica para categorías de uso A y B.

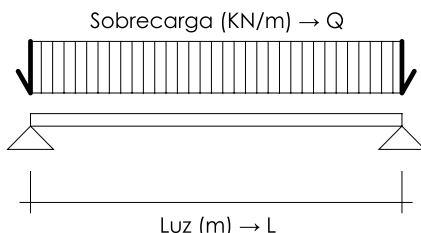


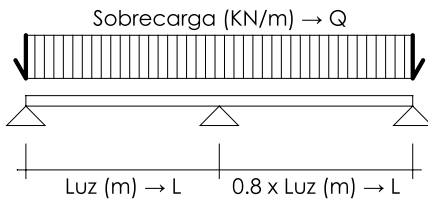
Fig. 237

$L \backslash Q$	3 KN/m	3.5 KN/m	4 KN/m	4.5 KN/m	5 KN/m	5.5 KN/m	6 KN/m
3 m	CLT 90	CLT 90	CLT 90	CLT 105	CLT 105	CLT 105	CLT 120
3.5 m	CLT 90	CLT 105	CLT 105	CLT 120	CLT 120	CLT 150	CLT 150
4 m	CLT 105	CLT 120	CLT 120	CLT 150	CLT 150	CLT 150	CLT 175
4.5 m	CLT 120	CLT 150	CLT 150	CLT 175	CLT 175	CLT 175	CLT 175
5 m	CLT 150	CLT 175	CLT 175	CLT 175	CLT 200	CLT 200	CLT 200
5.5 m	CLT 175	CLT 175	CLT 200	CLT 200	CLT 200	CLT 245	CLT 245
6 m	CLT 175	CLT 200	CLT 200	CLT 245	CLT 245	CLT 245	CLT 245
6.5 m	CLT 200	CLT 245	CLT 245	CLT 245	CLT 280	CLT 280	CLT 280
7 m	CLT 245	CLT 245	CLT 280	CLT 280	CLT 280	CLT 280	CLT 360
7.5 m	CLT 280	CLT 280	CLT 280	CLT 360	CLT 360	CLT 360	CLT 360
8 m	CLT 280	CLT 280	CLT 360	CLT 360	CLT 360	CLT 360	CLT 360
8.5 m	CLT 280	CLT 360	CLT 360	CLT 360	CLT 360	CLT 360	CLT 360

Tabla 3

# PREDIMENSIONADO DE FORJADO TRIAPOYADO

El cálculo a vibración y deformación de un forjado triapoyado se realiza mediante la utilización de la tabla inferior. En ella, se define la luz (L) existente entre apoyos en la barra izquierda (tener en cuenta que la luz debería de ser similar en ambos vanos), y en la barra superior se define la sobrecarga (Q) existente. La sobrecarga es la suma entre la carga permanente (CP) y la sobrecarga de uso (SU). Se ha considerado que la sobrecarga de uso siempre sea 2 KN/m<sup>2</sup>, como se indica para categorías de uso A y B.



## BASES DE CÁLCULO

-Cálculo de forjados a VIBRACIÓN para Categoría de Uso A o B.

-Sobrecarga  $Q$  (KN/m<sup>2</sup>) =  $G_k$  (permanente) +  $Q_k$  (sobrecarga de uso = 2KN/m<sup>2</sup>).

-Peso Propio del panel incluido en las tablas, Pinus radiata ( $\rho=520$  kg/m<sup>3</sup>).

-Factores de seguridad y combinaciones de cargas:

- $\gamma_m = 1.25$
- $k_{def} = 0.8$

-Límites de flechas:

- Integridad =  $L/400$
- Confort =  $L/350$
- Apariencia =  $L/300$

-Todos los paneles, excepto CLT 75, tienen R30 frete a fuego.

Fig. 238

L \ Q	3 KN/m	3.5 KN/m	4 KN/m	4.5 KN/m	5 KN/m	5.5 KN/m	6 KN/m
3 m	CLT 75	CLT 75	CLT 75	CLT 90	CLT 90	CLT 90	CLT 90
3.5 m	CLT 90	CLT 90	CLT 90	CLT 105	CLT 105	CLT 105	CLT 105
4 m	CLT 90	CLT 105	CLT 105	CLT 120	CLT 120	CLT 120	CLT 120
4.5 m	CLT 105	CLT 120	CLT 120	CLT 120	CLT 120	CLT 150	CLT 175
5 m	CLT 120	CLT 120	CLT 150	CLT 175	CLT 175	CLT 175	CLT 175
5.5 m	CLT 150	CLT 175	CLT 175	CLT 175	CLT 200	CLT 200	CLT 200
6 m	CLT 175	CLT 175	CLT 200	CLT 200	CLT 200	CLT 245	CLT 245
6.5 m	CLT 175	CLT 200	CLT 200	CLT 245	CLT 245	CLT 245	CLT 280
7 m	CLT 200	CLT 200	CLT 245	CLT 245	CLT 280	CLT 280	CLT 280
7.5 m	CLT 245	CLT 245	CLT 245	CLT 280	CLT 280	CLT 280	CLT 360
8 m	CLT 245	CLT 280	CLT 280	CLT 280	CLT 360	CLT 360	CLT 360
8.5 m	CLT 280	CLT 280	CLT 360	CLT 360	CLT 360	CLT 360	CLT 360

Tabla 4

BASES DE CÁLCULO

-Cálculo de cubiertas a DEFORMACIÓN para Categoría de Uso G.

-Sobrecarga  $Q$  ( $\text{KN/m}^2$ ) =  $G_k$  (permanente) +  $Q_k$  (sobrecarga de uso =  $1 \text{KN/m}^2$ ).

-Peso Propio del panel incluido en las tablas, Pinus radiata ( $\rho = 520 \text{ kg/m}^3$ ).

-Factores de seguridad y combinaciones de cargas:  
 •  $\gamma_m = 1.25$   
 •  $k_{def} = 0.8$

-Límites de flechas:  
 • Integridad =  $L/300$   
 • Apariencia =  $L/300$

-Todos los paneles, excepto CLT 75, tienen R30 frete a fuego.

# PREDIMENSIONADO DE CUBIERTA BIAPOYADA

El cálculo a deformación de una cubierta biapoyada se realiza mediante la utilización de la tabla inferior. En ella, se concreta la luz ( $L$ ) existente entre apoyos en la barra izquierda, y en la barra superior se define la sobrecarga ( $Q$ ) existente. La sobrecarga es la suma entre la carga permanente (CP) y la sobrecarga de uso (SU). Se ha considerado que la sobrecarga de uso siempre sea  $1 \text{KN/m}^2$ , como se indica para categoría de uso G. La carga de nieve, al ser concomitante con la de uso, y esta última ser superior, no se ha tenido en cuenta.

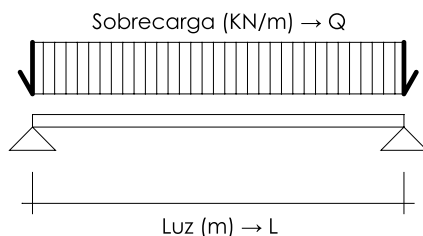


Fig. 239

L \ Q	1.5 KN/m	2 KN/m	2.5 KN/m	3 KN/m	3.5 KN/m	4 KN/m	4.5 KN/m
3 m	CLT 75	CLT 75	CLT 75	CLT 90	CLT 90	CLT 105	CLT 105
3.5 m	CLT 75	CLT 90	CLT 90	CLT 105	CLT 105	CLT 120	CLT 120
4 m	CLT 90	CLT 105	CLT 105	CLT 120	CLT 120	CLT 150	CLT 150
4.5 m	CLT 105	CLT 105	CLT 120	CLT 150	CLT 150	CLT 175	CLT 175
5 m	CLT 105	CLT 120	CLT 150	CLT 175	CLT 175	CLT 175	CLT 200
5.5 m	CLT 120	CLT 150	CLT 175	CLT 175	CLT 200	CLT 200	CLT 200
6 m	CLT 150	CLT 175	CLT 175	CLT 200	CLT 200	CLT 245	CLT 245
6.5 m	CLT 175	CLT 175	CLT 200	CLT 245	CLT 245	CLT 245	CLT 280
7 m	CLT 175	CLT 200	CLT 245	CLT 245	CLT 245	CLT 280	CLT 280
7.5 m	CLT 200	CLT 245	CLT 245	CLT 280	CLT 280	CLT 280	CLT 360
8 m	CLT 245	CLT 245	CLT 280	CLT 280	CLT 360	CLT 360	CLT 360
8.5 m	CLT 280	CLT 280	CLT 280	CLT 360	CLT 360	CLT 360	CLT 360

Tabla 5

# PREDIMENSIONADO DE CUBIERTA TRIAPOYADA

## BASES DE CÁLCULO

-Cálculo de cubiertas a DEFORMACIÓN para Categoría de Uso G.

-Sobrecarga  $Q$  ( $\text{KN/m}^2$ ) =  $G_k$  (permanente) +  $Q_k$  (sobrecarga de uso =  $1\text{KN/m}^2$ ).

-Peso Propio del panel incluido en las tablas, Pinus radiata ( $\rho=520\text{ kg/m}^3$ ).

-Factores de seguridad y combinaciones de cargas:  
 •  $\gamma_m = 1.25$   
 •  $k_{def} = 0.8$

-Límites de flechas:  
 • Integridad =  $L/300$   
 • Apariencia =  $L/300$

-Todos los paneles, excepto CLT 75, tienen R30 frete a fuego.

El cálculo a deformación de una cubierta triapoyada se realiza mediante la utilización de la tabla inferior. En ella, se define la luz ( $L$ ) existente entre apoyos en la barra izquierda (tener en cuenta que la luz debería de ser similar en ambos vanos), y en la barra superior se define la sobrecarga ( $Q$ ) existente. La sobrecarga es la suma entre la carga permanente ( $CP$ ) y la sobrecarga de uso ( $SU$ ). Se ha considerado que la sobrecarga de uso siempre sea  $1\text{KN/m}^2$ , como se indica para categoría de uso G. La carga de nieve, al ser concomitante con la de uso, y esta última ser superior, no se ha tenido en cuenta.

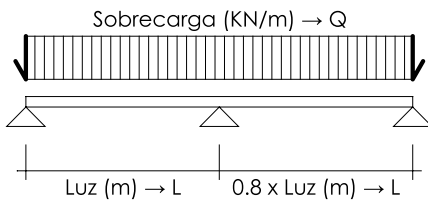


Fig. 240

L \ Q	Q						
	1.5 KN/m	2 KN/m	2.5 KN/m	3 KN/m	3.5 KN/m	4 KN/m	4.5 KN/m
3 m	CLT 75	CLT 75	CLT 75	CLT 75	CLT 75	CLT 75	CLT 90
3.5 m	CLT 75	CLT 75	CLT 75	CLT 90	CLT 90	CLT 90	CLT 105
4 m	CLT 75	CLT 75	CLT 90	CLT 90	CLT 105	CLT 105	CLT 105
4.5 m	CLT 75	CLT 90	CLT 90	CLT 105	CLT 120	CLT 120	CLT 120
5 m	CLT 90	CLT 105	CLT 105	CLT 120	CLT 120	CLT 150	CLT 150
5.5 m	CLT 105	CLT 105	CLT 120	CLT 150	CLT 150	CLT 175	CLT 175
6 m	CLT 105	CLT 120	CLT 150	CLT 175	CLT 175	CLT 175	CLT 200
6.5 m	CLT 120	CLT 150	CLT 175	CLT 175	CLT 200	CLT 200	CLT 245
7 m	CLT 150	CLT 175	CLT 175	CLT 200	CLT 200	CLT 245	CLT 245
7.5 m	CLT 175	CLT 175	CLT 200	CLT 200	CLT 245	CLT 280	CLT 280
8 m	CLT 175	CLT 200	CLT 200	CLT 245	CLT 280	CLT 360	CLT 360
8.5 m	CLT 200	CLT 200	CLT 245	CLT 280	CLT 360	CLT 360	CLT 360

Tabla 6

## BASES DE CÁLCULO

-Cálculo de muros.

-Sobrecarga  $Q$  ( $\text{KN/m}^2$ ) =  $G_k$  (permanente) +  $Q_k$  (sobrecarga de uso).

-Peso Propio del panel incluido en las tablas, Pinus radiata ( $\rho=520 \text{ kg/m}^3$ ).

-Factores de seguridad y combinaciones de cargas:

- $\gamma_m = 1.25$
- $k_{def} = 0.8$

-Límites de flechas:

- Integridad =  $L/400$
- Apariencia =  $L/300$

-Todos los paneles se han calculado sin fuego.

# PREDIMENSIONADO DE MURO BIAPOYADO

El cálculo de un muro biapoyado se realiza mediante la utilización de la tabla inferior. En ella, se define la luz ( $L$ ) existente entre apoyos en la barra izquierda, y en la barra superior se define la sobrecarga ( $Q$ ) existente. La sobrecarga es la suma entre la carga permanente ( $CP$ ) y la sobrecarga de uso ( $SU$ ). Se ha considerado que la mitad es permanente y la otra mitad variable. La carga de viento lateral que se ha tenido en cuenta en el cálculo ha sido  $1 \text{ KN/m}^2$ .

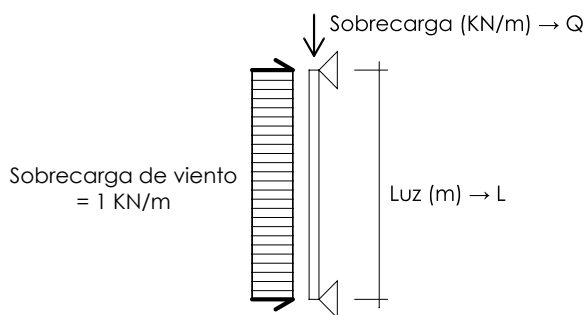


Fig. 241

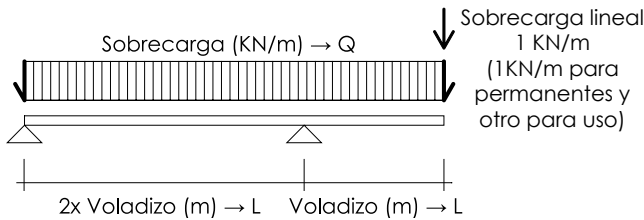
L \ Q	50 KN/m	75 KN/m	100 KN/m	125 KN/m	150 KN/m	175 KN/m	200 KN/m
2.5 m	CLT 75	CLT 75	CLT 75	CLT 90	CLT 90	CLT 90	CLT 120
2.75 m	CLT 75	CLT 75	CLT 90	CLT 90	CLT 90	CLT 120	CLT 120
3 m	CLT 75	CLT 75	CLT 90	CLT 90	CLT 120	CLT 120	CLT 120
3.25 m	CLT 75	CLT 90	CLT 90	CLT 120	CLT 120	CLT 120	CLT 120
3.5 m	CLT 75	CLT 90	CLT 90	CLT 120	CLT 120	CLT 120	CLT 120
3.75 m	CLT 90	CLT 90	CLT 120	CLT 120	CLT 120	CLT 120	CLT 150
4 m	CLT 90	CLT 90	CLT 120	CLT 120	CLT 120	CLT 120	CLT 150
4.25 m	CLT 90	CLT 120	CLT 120	CLT 120	CLT 120	CLT 150	CLT 150
4.5 m	CLT 90	CLT 120	CLT 120	CLT 120	CLT 150	CLT 150	CLT 150
4.75 m	CLT 90	CLT 120	CLT 120	CLT 120	CLT 150	CLT 150	CLT 150
5 m	CLT 120	CLT 120	CLT 120	CLT 150	CLT 150	CLT 150	CLT 175
5.25 m	CLT 120	CLT 120	CLT 120	CLT 150	CLT 150	CLT 175	CLT 175

Tabla 7



# PREDIMENSIONADO DE FORJADO EN VOLADIZO

El cálculo a vibración y deformación del voladizo de un forjado biapoyado se realiza mediante la utilización de la tabla inferior. En ella, se concreta la luz (L) existente del voladizo en la barra izquierda, y en la barra superior se define la sobrecarga (Q) existente. La sobrecarga es la suma entre la carga permanente (CP) y la sobrecarga de uso (SU). Se ha considerado que la sobrecarga de uso siempre sea 2 KN/m<sup>2</sup>, como se indica para categorías de uso A y B. En el extremo del voladizo se han definido dos cargas lineales de 1 KN/m para cargas permanentes y para sobrecargas de uso. La luz del forjado biapoyado se ha considerado que es el doble que el voladizo.



## BASES DE CÁLCULO

-Cálculo de voladizos de forjado para Categoría de Uso A o B.

-Sobrecarga  $Q$  (KN/m<sup>2</sup>) =  $G_k$  (permanente) +  $Q_k$  (sobrecarga de uso = 2KN/m<sup>2</sup>).

-Peso Propio del panel incluido en las tablas, Pinus radiata ( $\rho=520$  kg/m<sup>3</sup>).

-Factores de seguridad y combinaciones de cargas:

- $\gamma_m = 1.25$
- $k_{def} = 0.8$

-Límites de flechas:

- Integridad =  $L/200$
- Confort =  $L/175$
- Apariencia =  $L/150$

-Todos los paneles, excepto CLT 75, tienen R30 frete a fuego.

Fig. 242

L \ Q	3 KN/m	3.5 KN/m	4 KN/m	4.5 KN/m	5 KN/m	5.5 KN/m	6 KN/m
0.75 m	CLT 75	CLT 75	CLT 75	CLT 75	CLT 75	CLT 75	CLT 75
1 m	CLT 90	CLT 90	CLT 90	CLT 90	CLT 105	CLT 105	CLT 105
1.25 m	CLT 105	CLT 105	CLT 105	CLT 120	CLT 120	CLT 120	CLT 120
1.5 m	CLT 120	CLT 120	CLT 120	CLT 150	CLT 150	CLT 150	CLT 150
1.75 m	CLT 150	CLT 150	CLT 150	CLT 150	CLT 150	CLT 150	CLT 175
2 m	CLT 175	CLT 175	CLT 175	CLT 175	CLT 175	CLT 175	CLT 175
2.25 m	CLT 175	CLT 175	CLT 175	CLT 200	CLT 200	CLT 200	CLT 200
2.5 m	CLT 200	CLT 200	CLT 200	CLT 200	CLT 200	CLT 200	CLT 245
2.75 m	CLT 200	CLT 245	CLT 245	CLT 245	CLT 245	CLT 245	CLT 245
3 m	CLT 245	CLT 245	CLT 245	CLT 245	CLT 245	CLT 245	CLT 280
3.25 m	CLT 245	CLT 245	CLT 280	CLT 280	CLT 280	CLT 280	CLT 280
3.5 m	CLT 280	CLT 280	CLT 280	CLT 280	CLT 280	CLT 360	CLT 360

Tabla 8

BASES DE CÁLCULO

-Cálculo de vigas a VIBRACIÓN para Categoría de Uso A o B.

-Sobrecarga Q (KN/m²)= Gk (permanente) + Qk (sobrecarga de uso).

-Peso Propio del panel incluido en las tablas, Pinus radiata (ρ=520 kg/m³).

-Factores de seguridad y combinaciones de cargas:  
 • γ m = 1.25  
 • kdef = 0.8

-Límites de flechas:  
 • Integridad= L/400  
 • Confort = L/350  
 • Apariencia= L/300

# PREDIMENSIONADO DE VIGAS BIAPOYADAS CLT 90

El cálculo a vibración y deformación de una viga biapoyada de CLT 90 se realiza mediante la utilización de la tabla inferior. En ella, se concreta la luz (L) existente entre apoyos en la barra izquierda, y en la barra superior se define la sobrecarga (Q) existente. La sobrecarga es la suma entre la carga permanente (CP) y la sobrecarga de uso (SU). La mitad de esta carga se ha considerado permanente y la otra mitad de uso. El resultado de la tabla es la altura necesaria de dintel/viga para cubrir la luz concretada.

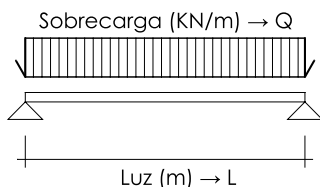


Fig. 243

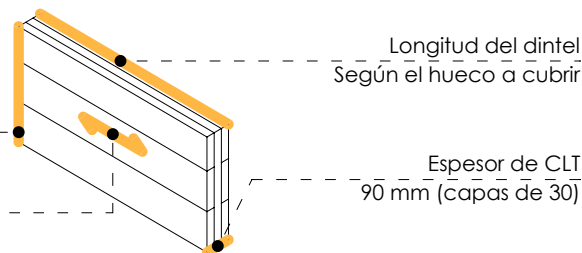


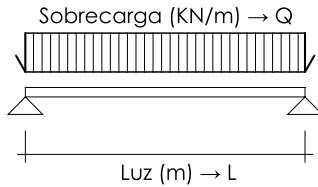
Fig. 244

L \ Q	8 KN/m	10 KN/m	12 KN/m	14 KN/m	16 KN/m	18 KN/m	20 KN/m
1.5 m	200 mm	250 mm	300 mm	350 mm	400 mm	450 mm	500 mm
1.75 m	250 mm	300 mm	350 mm	400 mm	450 mm	550 mm	650 mm
2 m	300 mm	350 mm	400 mm	500 mm	600 mm	750 mm	1000 mm
2.25 m	350 mm	400 mm	500 mm	600 mm	800 mm	-	-
2.5 m	400 mm	500 mm	600 mm	750 mm	-	-	-
2.75 m	450 mm	550 mm	700 mm	1000 mm	-	-	-
3 m	500 mm	650 mm	800 mm	-	-	-	-
3.25 m	600 mm	750 mm	1000 mm	-	-	-	-
3.5 m	650 mm	900 mm	-	-	-	-	-

Tabla 9

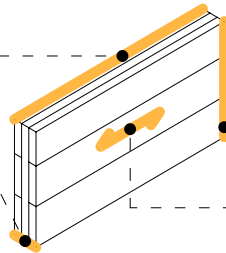
# PREDIMENSIONADO DE VIGAS BIAPOYADAS CLT 120

El cálculo a vibración y deformación de una viga biapoyada de CLT 120 se realiza mediante la utilización de la tabla inferior. En ella, se define la luz (L) existente entre apoyos en la barra izquierda, y en la barra superior se define la sobrecarga (Q) existente. La sobrecarga es la suma entre la carga permanente (CP) y la sobrecarga de uso (SU). La mitad de esta carga se ha considerado permanente y la otra mitad de uso. El resultado de la tabla es la altura necesaria de dintel/viga para cubrir la luz concretada.



Longitud del dintel  
Según el hueco a cubrir

Espesor de CLT  
120 mm (capas de 40)



Altura del dintel  
Resultado de las tablas

Dirección de panel  
Horizontal- trabajando como viga

Fig. 245

## BASES DE CÁLCULO

-Cálculo de vigas a VIBRACIÓN para Categoría de Uso A o B.

-Sobrecarga  
 $Q \text{ (KN/m}^2\text{)} = G_k \text{ (permanente)} + Q_k \text{ (sobrecarga de uso)}$ .

-Peso Propio del panel incluido en las tablas, Pinus radiata ( $\rho=520 \text{ kg/m}^3$ ).

-Factores de seguridad y combinaciones de cargas:  
•  $\gamma = 1.25$   
•  $k_{def} = 0.8$

-Límites de flechas:  
• Integridad=  $L/400$   
• Confort =  $L/350$   
• Apariencia=  $L/300$

Fig. 246

L \ Q	8 KN/m	10 KN/m	12 KN/m	14 KN/m	16 KN/m	18 KN/m	20 KN/m
1.5 m	200 mm	200 mm	250 mm	250 mm	300 mm	350 mm	400 mm
1.75 m	200 mm	200 mm	250 mm	300 mm	350 mm	350 mm	400 mm
2 m	200 mm	250 mm	300 mm	350 mm	400 mm	450 mm	500 mm
2.25 m	250 mm	300 mm	350 mm	400 mm	450 mm	500 mm	600 mm
2.5 m	300 mm	350 mm	400 mm	450 mm	550 mm	650 mm	800 mm
2.75 m	300 mm	400 mm	450 mm	550 mm	650 mm	800 mm	1000 mm
3 m	350 mm	450 mm	500 mm	600 mm	700 mm	850 mm	-
3.25 m	400 mm	450 mm	550 mm	650 mm	800 mm	1000 mm	-
3.5 m	400 mm	500 mm	600 mm	700 mm	900 mm	-	-

Tabla 10



FIG. 247



# MODELADOR PARAMÉTRICO

Introducción (Descripción del Proceso)

Resultado

Autores del capítulo:  
GONZALEZ-QUINTIAL, FRANCISCO  
ERAÑA AZCONOBIETA, ASIER





# MODELADO PARAMÉTRICO PARA ALOJAMIENTOS DOTACIONALES

(Según el Proyecto de Decreto que regula las condiciones mínimas de habitabilidad y las normas de diseño de las viviendas y alojamientos dotacionales en la Comunidad Autónoma del País Vasco .)

El diseño de edificios de viviendas protegidas viene siempre condicionado por normativas estrictas que, a la hora de diseñar la distribución interior, se traduce en complejo encaje de diferentes dimensiones mínimas o máximas de obligado cumplimiento para cada espacio del proyecto. De esta manera, las posibilidades tipológicas suelen reducirse a esquemas tipo con ligeras variaciones, constituyendo su resolución un problema de ajuste pormenorizado en el rango de las prescritas dimensiones. En el presente capítulo se describe el desarrollo de un modelador paramétrico creado como primera aproximación al diseño, de forma que permita generar esquemas de distribuciones a partir de las dimensiones básicas de una célula bidimensional rectangular, ajustándose en todo momento las restricciones normativas recogidas para alojamientos dotacionales según el PROYECTO DE DECRETO QUE REGULA LAS CONDICIONES MÍNIMAS DE HABITABILIDAD Y LAS NORMAS DE DISEÑO DE LAS VIVIENDAS Y ALOJAMIENTOS DOTACIONALES EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DEL PAÍS VASCO.

En este Proyecto de Decreto se definen los alojamientos dotacionales como las dotaciones residenciales en parte de una construcción, que se destinan a resolver de forma transitoria y mediante pago de renta o canon la necesidad de habitación de personas o unidades de convivencia y que cumple las condiciones contempladas en la citada norma. Estarán ubicadas sobre suelo o en edificaciones o locales destinados a equipamientos de titularidad pública y afectos al servicio público. Por su carácter dotacional, no le serán de aplicación los estándares y reservas legales derivados de la regulación urbanística para las viviendas, siendo, sin embargo, asimilable al uso de vivienda a efectos de la aplicación de la normativa técnica.

En los capítulos anteriores se han descrito distintos proyectos destinados a alojamientos dotacionales, tipolo-

gía que se intenta emplear como referencia, de donde se han extraído varias conclusiones entorno a las disposiciones más racionales de cada espacio de la vivienda enfocadas a su ejecución con estructura de madera. El uso de madera estructural como se ha apuntado anteriormente requiere de una serie de características que se adaptan de manera muy apropiada a la construcción de estas tipologías de alojamiento dotacional.

El esquema tipo escogido como base se dispone dentro de un rectángulo con un teórico acceso por uno de sus lados (ya sea un distribuidor interior o una pasarela exterior) y con la fachada opuesta abierta al exterior permitiendo la creación de espacios exteriores volados aprovechables para encajar aspectos que las disposiciones del W prevén. Se supone así mismo que los dos lados ortogonales al acceso y la fachada constituyen medianeras con las células de habitación vecinas. Esta decisión de tipología tiene como objetivo simplificar el generador ya que se busca ofrecer un modelo básico tipo que, obviamente, dejando fuera los casos particulares como esquinas, ángulos irregulares, encuentros inusuales o viviendas adaptadas con requerimientos específicos, pueda mostrar diferentes esquemas de las disposiciones más adecuadas a la hora de aproximar una primera solución de un proyecto de alojamientos dotacionales.

Por otro lado, se ha querido aplicar las tablas de pre-dimensionamiento descritas en el capítulo 4 para poder construir este tipo de viviendas con un sistema de paneles de madera contralaminada (CLT). La distribución que ofrece el modelo paramétrico tiene unas opciones limitadas para colocar los paneles portantes y elegir la dirección de los forjados, por lo que se ha modelado también la disposición más lógica para esta estructura. Cabe señalar que persiguiendo la claridad y teniendo en cuenta que se diseña como herramienta de uso a niveles muy iniciales del Proyecto y por personal técnico que puedan estar poco familiarizados con el uso de la madera estructural, los datos que ofrece el modelo se centran en la disposición de los elementos exclusivamente de forjado. Las particiones interiores pueden emplear diferentes sistemas donde el CLT se combine con

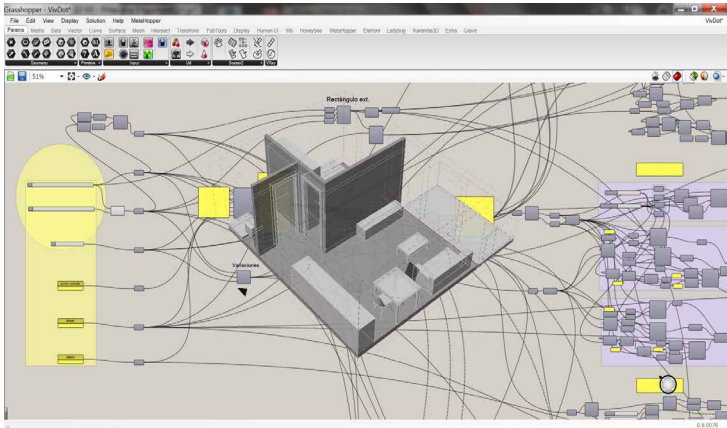


Fig. 248

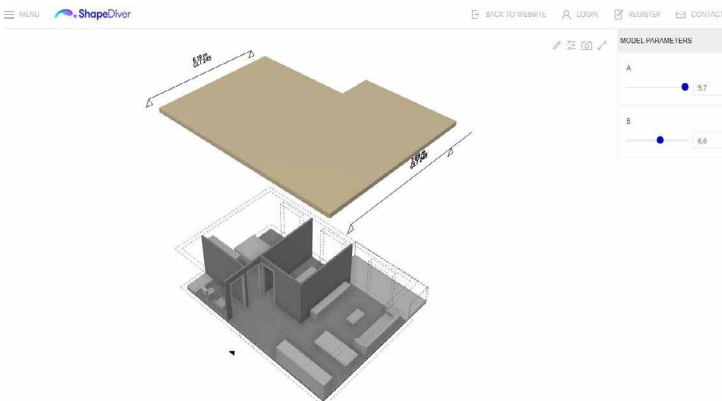
← Imagen del entorno de creación del modelador paramétrico creado con Grasshopper sobre Rhinceros.

elementos resistentes o no, por tanto se considera que un análisis posterior con mayor profundidad es necesario a la hora de organizar el sistema vertical portante.

Este modelo principalmente se basa en dos parámetros básicos que son las medidas del rectángulo principal, y da como resultado una distribución de la vivienda adaptada a los requerimientos normativos y un esquema estructural optimizado para luces resultantes en cuanto a disposición de forjados en CLT.

Para el desarrollo del modelador se ha utilizado Grasshopper [•], modelador algorítmico para Rhinoceros (Fig. 248). La definición obtenida es totalmente abierta a la incorporación y modificación de los parámetros de partida considerados. Esta definición se traslada a la aplicación

[•] Rutten, D. Grasshopper



← Entorno interactivo del modelador en la plataforma ShapeDiver.



Fig. 249

web ShapeDiver (Fig. 249) en la que se crea una interfaz donde los valores puedan ser modificados a voluntad obteniéndose una serie de datos de utilidad a la hora de enfrentarse a un proyecto de estas características.

### CONDICIONES GENERALES

Superficie útil total  $18 < S < 60 \text{ m}^2$

### ESTANCIAS

superficies mínimas (m<sup>2</sup>)

Dormitorio sencillo	6
Dormitorio doble	8 (si es único 10)
Cocina	7
Comedor	8
Cocina-comedor	11
Estar	13
Estar-comedor	14
Estar-comedor-cocina	20
Dormitorio-estar-comedor-cocina	21
Baño	2,5 ó 3,5
Aseo	1,5

### CÍRCULOS INSCRITOS

Ø (m)

Acceso	1,2
Estar	3
Estar-comedor	3
Estar-comedor-cocina	3
Dormitorios en general	2,5
Dormitorios no principales	2

Como se ha mencionado, la cuestión fundamental se centra en el cumplimiento de una serie de parámetros dimensionales establecidos en el Proyecto de Decreto. En la siguiente tabla se resumen todas las medidas aplicadas.

Con estos datos definidos se inició el modelado paramétrico tomando como dimensiones iniciales el ancho y la profundidad del rectángulo base, estas dimensiones son los parámetros únicos que maneja quien haga uso de la aplicación a la hora de realizar el predimensionamiento. A ellas se suman otras como el grosor de los cerramientos, las dimensiones de los aseos, la posición del acceso, etc. El siguiente paso es modelar la distribución de la unidad dotacional. Para ello es necesario clasificar los distintos casos con los que nos podemos encontrar. Cuando la vivienda es mínima, solamente tendremos un baño y una estancia para todas las demás funciones. Esta tipología se contempla en el Proyecto de Decreto: «Cuando un edificio de alojamientos dotacionales disponga de los servicios comunes contemplados en este apartado, y la superficie de la cocina común y la sala comedor común sumadas superen un ratio de  $3\text{m}^2/\text{unidad de alojamiento}$ , se podrá eximir a la unidad de alojamiento de los citados servicios comunes y reducir la superficie del mencionado espacio único hasta en  $7\text{m}^2$ ». Esto resulta en que la dimensión mínima de alojamiento fijada en  $25\text{m}^2$  se puede reducir hasta los  $18\text{m}^2$ . A medida que la superficie del rectángulo se incrementa, estas funciones se pueden presentar en estancias diferenciadas, y más adelante se podrá añadir una habitación más. En cualquier caso, la ubicación del baño y la cocina no cambia, dado que es la forma más adecuada de encajar en la distribución.

Tenemos, por lo tanto, tres casos distintos que se van a modelar por separado y un módulo aparte se encargará de seleccionar el más adecuado en cada caso. Se obtienen así todos los elementos de la distribución que se muestran después tanto en planta como en un esquema tridimensional.

Por último, se integran las tablas de predimensionamiento de CLT descritas en capítulos anteriores. De esta manera el modelo propone una estructura de paneles de forjado en madera adaptada a cada caso con los matices mencionados.



## RESULTADO

De todas las variables posibles que arroja el modelo, se han seleccionado algunas como ejemplo representativo. La primera es la más sencilla, con una crujía de 4 metros. No tiene particiones salvo la del baño, por lo que consta de un espacio único con las funciones de dormitorio, estar, cocina y comedor. (Fig. 250)

El siguiente tipo dispone de 6 metros de crujía, de forma que aparece un elemento de división que cierra el dormitorio. La cocina se dispone en el lado del acceso tomando para sí un mayor espacio. (Fig. 251)

Un tercer caso lo conforma una vivienda con dos habitaciones. Su anchura, 8 metros de crujía, permite añadir un segundo dormitorio situado entre la principal y el salón, y eso permite la reorganización del baño para alinearse con las demás divisiones. (Fig. 252)

Las posibilidades son infinitas, como en cualquier modelo paramétrico, algunas soluciones serán válidas y otras podrán carecer de sentido, se trata de una herramienta que permite realizar una primera aproximación de acuerdo con la normativa existente y con criterios estructurales básicos, dejando como no puede ser de otro modo, la decisión final de diseño al técnico proyectista.

El resumen de la familia de variantes que produce el modelo está organizado en columnas y filas de la misma anchura y altura respectivamente. Se representan las tipologías posibles desde la superficie mínima hasta la máxima y en los rangos de superficie contemplados, 18-25 m<sup>2</sup>, 25-40 m<sup>2</sup> y 40-60 m<sup>2</sup>. (Fig. 253)

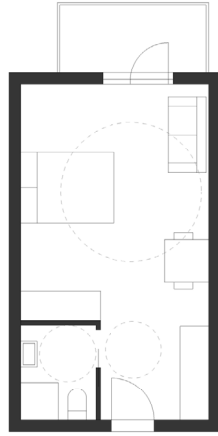


Fig. 250

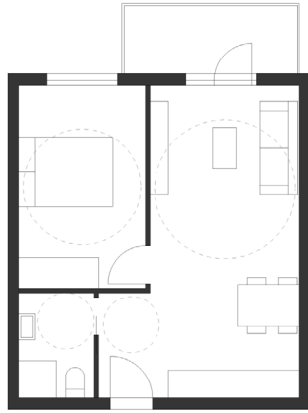


Fig. 251

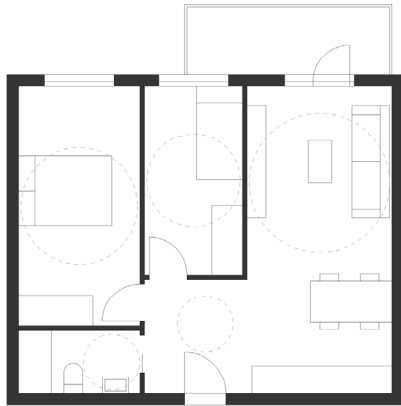
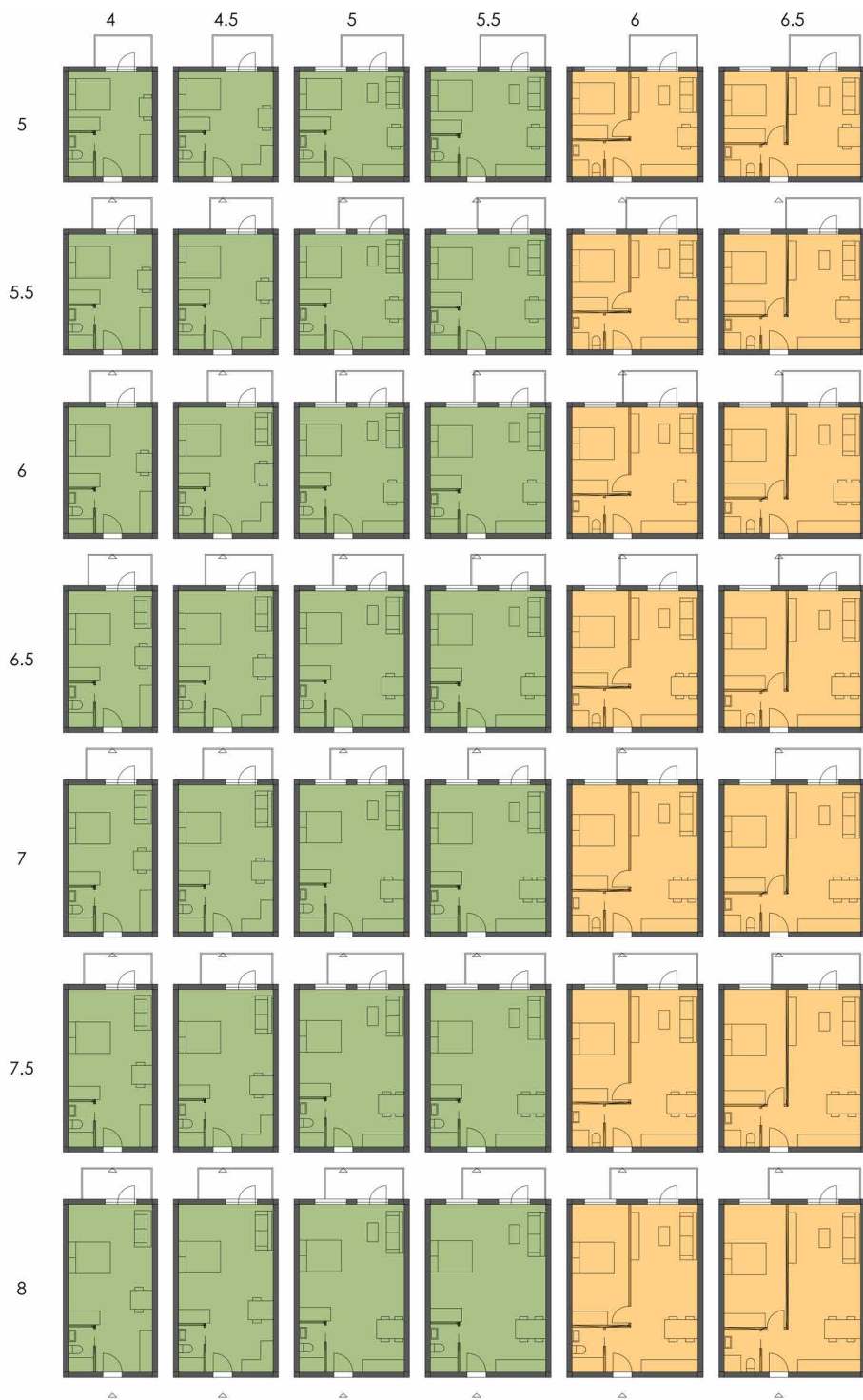


Fig. 252





← Tipologías de alojamientos dotacionales creadas a partir de la parametrización:

- Estancia única (en edificios de alojamientos dotacionales que dispongan de servicios comunes)
- 1 habitación
- 2 habitaciones

Fig. 253



Fig. 254



# CONCLUSIONES

Conclusiones generales

# 6

Autores del capítulo:  
DEL PRIM GRACIA, IÑAKI  
RICO-MARTINEZ, JOSE MIGUEL





## CONCLUSIONES GENERALES

Habitualmente definimos a la civilización humana en función de los materiales utilizados en cada época. Así nos referimos a la Edad de Bronce, la Edad de Hierro, y llegando al siglo XX podríamos llegar a definir la Edad del Hormigón. Parece posible pensar en el siglo XXI como la Edad de la Madera.

Hoy en día, la utilización de sistemas estructurales de madera tecnológica, o madera procesada, en la construcción de nuestras ciudades empieza a parecerse a la que, a principios del Siglo XX, fue una creciente utilización del hormigón: un material antiguo, utilizado de forma contemporánea gracias al uso de la industria y la tecnología. Mientras el uso de este material se hace más habitual, y sus capacidades y posibilidades son poco a poco comprendidas y explotadas, surgirá una nueva arquitectura que sobrepasará las posibilidades estructurales que nos ha ofrecido el hormigón. Unido a ello, el desarrollo de un nuevo urbanismo, y la adopción de estándares de alta eficiencia energética, tendrán un gran impacto en nuestras ciudades produciéndose un verdadero cambio de paradigma.

La presente Guía comienza con una introducción en la que se dan una serie de argumentos en los que, como profesionales de la arquitectura y el diseño, podemos basarnos para garantizar y concluir que la construcción en madera es posible y necesaria para construir y re-densificar nuestras ciudades, así como que un cambio de paradigma basado en la madera es posible y obligado en el mundo de la construcción si queremos vivir en un planeta mejor. De las diferentes ideas expuestas en la introducción, extraemos este argumentario en defensa de una construcción en madera:

- La utilización de la madera procedente de una gestión forestal sostenible en sustitución del hormigón armado en las ciudades se hace imperativo para poder combatir el cambio climático desde el sector de la construcción.

- El ciclo de vida de la madera, desde esa gestión forestal sostenible hasta su utilización en obra, e incluso la previsión de desmontado y reutilización de la misma, tiene un balance neto muy positivo como almacenamiento de carbono.

- Se hace necesario repensar la manera de construir con madera, pasando de la construcción on-site a la prefabricación e industrialización, es decir a la construcción off-site. Mayores rendimientos de obra, tanto en términos de plazo y repercusión económica, menos residuos, menos medios auxiliares, mayor salud y calidad en el trabajo, hacen que la construcción en taller y la minimización de los tiempos en obra redunden en una mayor calidad de la construcción.

- La adopción de estándares constructivos pasivos de alta eficiencia energética definidos por una envolvente energética de altas prestaciones, ofrece una doble solución a los aspectos planteados en puntos anteriores: sostenibilidad y calidad de la construcción. Debemos entender la madera como aliado perfecto para alcanzar estos estándares debido a sus propiedades estructurales y térmicas que ayudan a definir de manera óptima dicha envolvente.

- En la búsqueda de una construcción más sana para la salud de las personas, debemos potenciar la repercusión en la calidad del aire interior de los edificios de los sistemas estructurales en madera y, fundamentalmente, de las estructuras de madera vistas en el interior de la edificación.

La relación entre el comportamiento térmico de la edificación y su respuesta estructural es un factor clave para conseguir soluciones óptimas en edificios con estructuras de madera paneladas o murarias de media altura. Los edificios de bajo consumo energético, con estrategias basadas en el aislamiento y la hermeticidad, aumentando exponencialmente la calidad constructiva de la envolvente, están siendo adoptadas por diferentes normativas de obligado cumplimiento a lo largo y ancho del planeta, para la edificación del futuro inmediato.

Con el objetivo de alcanzar las necesidades de vivienda en nuestras ciudades, mediante una re-densificación responsable y sostenible, los sistemas estructurales pre industrializados y panelados en madera son una tecnología óptima para conseguir viviendas de calidad, saludables y energéticamente eficientes. Los conceptos generales de funcionamiento de estos sistemas panelados son fundamentales para una correcta definición de la estructura. Se ha tratado de dar una serie de claves de diseño para la correcta definición de los muros de cortante, un correcto planteamiento de la transmisión de cargas, la comprensión de las propiedades de la madera, etc., conceptos que son fundamentales para una correcta adaptación de la estructura de madera al programa. Por lo general, para programas residenciales resultan beneficiosas desde el punto de vista estructural las siguientes cuestiones:

- Las estructuras redundantes, o en nido de abeja, en las que gran parte de la compartimentación interior es estructural. De esta manera, dada la repetitividad de dichas distribuciones de unas plantas a otras, se obtienen unas trasferencias de cargas en los planos estructurales perfectamente asumibles por los sistemas planteados.
- El comportamiento global del edificio frente a esfuerzos laterales debe ser contemplado en la fase de diseño, debiendo erradicarse la práctica habitual de estudio por partes o elementos aislados con la que se están acometiendo en la actualidad algunas estructuras de este tipo. En este sentido, la generación de una jerarquía clara en cuanto a la función de los diferentes elementos estructurales y su comportamiento en el funcionamiento global de la estructura, es de máxima importancia.
- Muros de cortante, núcleos centradores, elementos de trasferencia horizontal, etc., deben ser definidos en el diseño tanto en cuanto a su ubicación como a su materialización. En función de esos planteamientos o estrategias estructurales, se podrá definir adecuadamente el sistema murario que mejor se adapte a cada una de los requerimientos.

Con el objetivo de concretar estos argumentos y conceptos claves en la edificación de Alojamientos Dotacionales en la Comunidad Autónoma Vasca, se ha analizado una serie de promociones construidas por el Gobierno Vasco en estos últimos años, que recogen diferentes tipologías y formas de agrupación de Alojamientos Dotacionales.

Se ha pretendido recoger una serie representativa de posibles diseños válidos para acometer nuevas promociones, analizando las diferentes tipologías, y proponiendo para cada una de ellas una resolución estructural en base a madera. De dicho análisis se extrae que, para la tipología de apartamentos dotacionales, con luces que pueden ser controladas tanto en el eje X como en el eje Y, los sistemas estructurales en madera son perfectamente válidos para resolver edificios de media altura alcanzando hasta 6 plantas sobre rasante sin excesivas penalizaciones estructurales, más allá de las provocadas por las dimensiones mínimas que las diferentes normativas de habitabilidad puedan proponer.

Por tanto, se puede concluir que las tipologías más habituales utilizadas en los conjuntos de alojamientos dotacionales promovidos por el Gobierno Vasco hasta ahora son fácilmente adaptables a sistemas estructurales murarios en base madera utilizando componentes estructurales comerciales.

Dado el escaso volumen de edificios de media altura construidos con estructura de madera en nuestro entorno, se ha pretendido ejemplificar diferentes alternativas mediante el estudio de algunos «Casos de Éxito» que, por diferentes motivos, son casos paradigmáticos de resolución de edificación residencial con diferentes sistemas estructurales en madera. Se han incorporado a la presente Guía edificios resueltos con los sistemas estructurales más habituales, basados en paneles de madera contralaminada CLT, muros de entramado ligero combinados con pilares y vigas de madera laminada, así como soluciones que recurren a ambos sistemas de manera complementaria, o estructuras mixtas acero-madera. Prácticamente en todos los ejemplos, la utilización de un zócalo o base de hormigón, así como la diferente resolución de los núcleos de comunicaciones, caracterizan las diferentes propuestas.

Esta miscelánea de ejemplos contruidos, auténticos casos de éxito que resuelven de manera diferente programas similares basándose en todo caso en sistemas estructurales en madera, demuestra que la construcción con madera en media altura es ya una realidad en el ámbito residencial, y que la combinación de diferentes sistemas estructurales resulta una alternativa viable y exitosa como queda reflejado en el análisis de diferentes casos de éxito de diversa escala y organización estructural.

Del análisis de los diferentes casos de éxito podría extraerse una comparativa concreta de los dos sistemas estructurales considerados como más habituales en el mercado para la resolución de edificios de media altura con estructura de madera: paneles de entramado ligero, y paneles de madera contralaminada. Ambos sistemas tienen sus puntos fuertes y débiles, y será decisión del proyectista discernir cuales son las virtudes que quiere potenciar en su diseño a la hora de elegir el sistema más adecuado.

En cuanto a comportamiento estrictamente estructural, el CLT es una opción más segura, aunque supone un aprovechamiento del material mucho menor. Por tanto, en condiciones habituales para edificios de pequeña y media escala la opción del entramado supone un uso más responsable y eficaz del recurso natural madera aplicada a la edificación. En cuanto al comportamiento higrotérmico, el funcionamiento es bastante similar, con pequeñas ventajas en cuanto a ligereza y capacidad aislante para el entramado ligero. En cuanto a capacidad de almacenar carbono en el ciclo producción-transporte, el CLT tiene un balance de ahorro de CO<sub>2</sub> considerablemente mayor. Lo cual, unido a que el coste de energía primaria para su fabricación a nivel de componente o sistema es generalmente menor que los sistemas de entramado, hace que medioambientalmente el CLT resulte una opción más ecológica.

Por tanto, se pueden considerar ambos sistemas estructurales como válidos para resolver un edificio de media altura de una forma coherente, si bien el CLT ofrece una respuesta estructural más sólida, en el entramado ligero se hace un uso más responsable y eficaz de la madera como material estructural, potenciando la eficiencia térmica de los cerramientos.



Sin embargo, a pesar de que ambos sistemas son válidos, para disposiciones abiertas de espacios flexibles y luces mayores, sería recomendable la utilización del CLT en combinación con vigas de madera laminada. Para disposiciones cerradas o en nido de abeja, con interiores muy compartimentados en los que la tabiquería, o gran parte de ella, puede ser portante, sería cuando el entramado ligero explotaría todas sus virtudes, y se mostraría como un sistema realmente eficaz para resolver estructuralmente un edificio residencial de media altura como algunos de los analizados en el presente trabajo.

No obstante, y entendiendo que la tendencia actual del mercado es resolver con un único sistema estructural todo el edificio, siendo habitualmente los sistemas basados en CLT los elegidos por las promotoras y los equipos de diseño, se propone en esta Guía un capítulo de pre-dimensionado estructural con el objetivo de ayudar al proyectista a definir la estructura y dimensionar los elementos dentro de una escala de «números gordos», de forma que se faciliten los estudios iniciales, tanto técnicos como económicos, que posibiliten la realización de nuevas promociones con estructura de madera.

A continuación, se recoge en la Guía un modelador paramétrico que recoge y aplica a casos concretos lo analizado en los capítulos anteriores: limitaciones tipológicas y dimensiones normativas, así como pre-dimensionados de los diferentes elementos estructurales en madera para las luces resultantes de la aplicación normativa en cada caso.

Las posibilidades combinatorias de este modelador paramétrico, herramienta de ayuda para promotoras y equipos de diseño en las fases iniciales de un proyecto de alojamientos dotacionales con estructura de madera, ponen de manifiesto que, conociendo los condicionantes normativos de los alojamientos dotacionales, y dominando las características estructurales del material madera, la limitación para resolver de manera exitosa desde la Arquitectura un edificio de Alojamientos Dotacionales en Madera son casi inexistentes.

Por último, se propone un Check-list, o listado de comprobación, que recoge aquellos aspectos fundamentales que deben estar resueltos en un proyecto de esta

envergadura con estructura de madera, sembrando las bases para que tanto desde el equipo de redacción del proyecto, como desde la administración que supervisa e informa dicho proyecto, se den los pasos para que los documentos de licitación de estas obras estén perfectamente definidos y se garantice de esta manera una buena calidad de la construcción y la libre competencia de diferentes empresas que sean capaces de aprovechar y optimizar los tiempos constructivos y los rendimientos de una estructura de madera, con el fin de que sea una alternativa viable y competitiva frente al hormigón o el acero.

Por tanto, y a modo de conclusión, ante la pregunta, ¿qué sistema estructural es óptimo para resolver un edificio de media altura con estructura de madera? La respuesta debería ser: todos; o ninguno de ellos. En primer lugar, probablemente nunca se van a dar las circunstancias arquitectónicas adecuadas para poder resolver todo el edificio con un único sistema, a pesar de que en la actualidad se estén planteando muchos edificios así por cuestiones comerciales, tanto en CLT en nuestras latitudes, como en entramado ligero en América del Norte o incluso centro Europa, tal y como muestran los casos de éxito recogidos en esta guía. En segundo lugar, la utilización de un único sistema para resolver todos los requisitos de comportamiento estructural que debemos pedirle a una estructura de este tipo, nos lleva a infrautilizar en muchos casos gran parte del material, e incluso a utilizarlo de manera antinatural respecto a las características físicas y estructurales de la propia madera.

Sin embargo, una utilización inteligente de dichos sistemas estructurales, vinculado a un diseño arquitectónico que surja del entendimiento del comportamiento estructural de la materia prima madera, será capaz de resolver de manera óptima y eficiente la construcción de edificios de Apartamentos Dotacionales con estructura de madera, tal y como queda recogido en la presente publicación, convirtiendo las próximas promociones en nuevos Casos de Éxito para futuros desarrollos inmobiliarios en nuestras ciudades y pueblos.

Con toda probabilidad, en aras de impulsar un desarrollo y re-densificación de nuestras ciudades con una construcción más sana, confortable, y energéticamente efi-

ciente realizada en madera, conforme se vaya profundizando en la comprensión del material madera en su aplicación a la construcción contemporánea, irán desarrollándose soluciones mixtas para resolver este tipo de edificaciones de una manera solvente y empresas capaces de proveer de dichas soluciones de forma coordinada y eficiente. Soluciones estructurales híbridas, con combinaciones de diferentes sistemas estructurales en madera, donde se aprovechen las características de la madera de una manera eficaz y se potencien las virtudes de cada sistema para cada una de las solicitaciones o requisitos a los que dan respuesta.

Solo de esta manera estaremos haciendo un uso racional y eficaz del único material de construcción que podemos cultivar, la madera, de forma que pueda darse ese cambio de paradigma tan necesario en el sector de la construcción, y podamos por fin abrazar una nueva Era de la Madera en este siglo XXI.





Fig. 255

# CHECKLIST

## Introducción

- Propiedades del material
- Cálculo
- Durabilidad
- Otros aspectos
- Documentación gráfica

Autor del capítulo:  
DEL PRIM GRACIA, IÑAKI





# CHEKLIST PARA PROYECTOS EN MADERA

Se propone a continuación a modo de checklist, una serie de aspectos que se considera imprescindible que estén recogidos y solventados en el contenido documental de un proyecto de ejecución en madera. Los temas recogidos deberán adaptarse dándose respuesta en función de los diferentes sistemas estructurales disponibles en el mercado y aplicados al Proyecto en cuestión, siempre en cumplimiento y según las disposiciones recogidas en el CTE DB SE-Madera y el Eurocódigo 5.

La vocación del presente checklist es que sirva de guía tanto al técnico supervisor de la administración a la hora de revisar un proyecto, como al técnico redactor de dicho proyecto, con el objeto de tener un listado mínimo de aspectos que deben quedar definidos, resueltos y justificados en un proyecto de ejecución de apartamentos dotacionales con estructura de madera.

## **PROPIEDADES DEL MATERIAL**

- ❑ Definición especie de madera utilizada, con nomenclatura científica-botánica.
- ❑ Definición de las dimensiones nominales de las secciones utilizadas.
- ❑ Definición del tipo de productos estructurales en base madera utilizados.
- ❑ Definición clase resistente de todos los elementos estructurales.
- ❑ Definición del tipo de acero de los diversos conectores y herrajes.
- ❑ Definición de contenido de humedad admisible de la madera estructural, en función del tipo de producto prescrito.
- ❑ Definición de tolerancias máximas y mínimas a aplicar sobre las dimensiones nominales.

## CÁLCULO

- ❑ Definición de clases de duración de las acciones.
- ❑ Definición de clases de servicio.
- ❑ Definición del sistema estructural global y estrategias de arriostramiento del edificio.
- ❑ Cálculo global del edificio frente a fuerzas horizontales exteriores.
- ❑ Memoria de cálculo pormenorizada y justificativa: comportamiento global del edificio, elementos de madera, herrajes y anclajes metálicos, uniones.
- ❑ Cálculos realizados por profesionales de ingeniería o arquitectura no vinculado a empresa comercial.
- ❑ Justificación de resistencia al fuego y definición de protecciones.

## DURABILIDAD

- ❑ Definición de Clase de Uso, para las diferentes caústicas del edificio, tanto para los elementos estructurales de madera como para conectores y herrajes metálicos.
- ❑ Elección del tipo de protección para garantizar la durabilidad de la madera en función de la Clase de Uso y del Nivel de Penetración.
- ❑ Definición de la durabilidad natural de las especies de madera utilizadas e impregnabilidad de las mismas.
- ❑ Definición de la protección contra la corrosión de los elementos metálicos prescritos.
- ❑ Definición de medidas de protección frente a la humedad en obra en el acopio y montaje de las estructuras de madera.
- ❑ Pliego de Condiciones específico para madera.

## OTROS ASPECTOS

- ▣ Justificación y diseño de soluciones acústicas específicas para madera.
- ▣ Estudio de vibraciones en forjados.
- ▣ Estudio de condensaciones intersticiales, cálculos higrotérmicos, para todos los cerramientos de la envolvente con estructura o subestructura de madera.
- ▣ Cálculo de puentes térmicos que afecten a elementos estructurales en madera, con el objetivo de evitar patologías.
- ▣ Definición de estrategias de hermeticidad y difusión de vapor a través de la envolvente, garantizando una correcta difusión de vapor a través de los cerramientos de la envolvente.
- ▣ Criterios de aceptación de producto en obra, control de recepción.

## DOCUMENTACIÓN GRÁFICA

- ▣ Planos estructurales de todos los elementos estructurales en madera (alzado, planta y sección), con especificación de tipo de madera, protección, herrajes y anclajes metálicos, clavijas, uniones, y detalles.
- ▣ Detalles constructivos de protección frente a agentes meteorológicos, en pro de garantizar la durabilidad de la madera en todas las soluciones constructivas.
- ▣ Detalle constructivo de arranque desde cimentación.
- ▣ Detalle constructivo definición de envolventes.
- ▣ Detalles constructivos con estrategias de difusión de vapor y hermeticidad.
- ▣ Detalle constructivo solución puentes térmicos que afecten a elementos estructurales en madera.
- ▣ Detalles constructivos de los elementos y soluciones de protección al fuego.
- ▣ Detalles constructivos de soluciones acústicas.



Fig. 256



# ANEXO

Autoría de Imágenes

Índice de Normativa

Bibliografía General







# AUTORÍA DE IMÁGENES

Página	Número de figura	Autoría
8	Fig. 1	◦ Waugh Thistleton / Waugh Thistleton Architects
10	Fig. 2	◦ Lacol SCCL
15	Fig. 3	◦ Akola ( <a href="https://www.flickr.com/photos/akola/">https://www.flickr.com/photos/akola/</a> )
16-17	Figs. 4 - 7	◦ Iñaki Del Prim Gracia
18	Figs. 8 - 10	◦ Uxue Martínez de Goñi Mentxaka
18	Fig. 11	◦ Iñaki Del Prim Gracia
18	Figs. 12 - 13	◦ Egoin
20-22	Figs. 14 - 18	◦ Iñaki Del Prim Gracia
22	Figs. 19 - 20	◦ Uxue Martínez de Goñi Mentxaka
24	Fig. 21	◦ Waugh Thistleton Architects
27	Fig. 22	◦ Adolf Bereuter
29-31	Figs. 23 - 25	◦ Uxue Martínez de Goñi Mentxaka
31	Fig. 26	◦ Iñaki Del Prim Gracia
32-35	Figs. 27 - 31	◦ Uxue Martínez de Goñi Mentxaka
36	Fig. 32	◦ Egoin
37	Figs. 33 - Fig. 35	◦ Rothoblaas
39-45	Figs. 36 - 39	◦ Uxue Martínez de Goñi Mentxaka
47	Fig. 40	◦ Rothoblaas
48-50	Figs. 41 - 43	◦ Uxue Martínez de Goñi Mentxaka
52	Fig. 44	◦ Carmelo Fernández Militino / TYM asociados
57	Figs. 45 - 47	◦ Augusto Terrero Martínez y Nuria Altuna Jauregi
58	Figs. 48 - 53	◦ Francisco Gonzalez-Quintial, Asier Eraña Azkonobieta y Julen López Tejada
59	Figs. 54 - 55	◦ Francisco Gonzalez-Quintial y Asier Eraña Azkonobieta
61	Figs. 56 - 58	◦ Pedro Artolozaga Bengoetxea / Zona Novarino S.L.
62	Figs. 59 - 64	◦ Francisco Gonzalez-Quintial, Asier Eraña Azkonobieta y Julen López Tejada
63	Fig. 65	◦ Francisco Gonzalez-Quintial y Asier Eraña Azkonobieta
65	Figs. 66 - 67	◦ Josu Gárate Suinaga. Gecon 5 arquitectos SLP
66	Figs. 68 - 73	◦ Francisco Gonzalez-Quintial, Asier Eraña Azkonobieta y Julen López Tejada
67	Figs. 74 - 75	◦ Francisco Gonzalez-Quintial y Asier Eraña Azkonobieta
69	Figs. 76 - 78	◦ Aitor Fernández Oneka y Jon Aranguren / Oneka Arquitectura
70	Figs. 79 - 84	◦ Francisco Gonzalez-Quintial, Asier Eraña

- Azkonobieta y Julen López Tejada
- 71 Fig. 85 ◦ Francisco Gonzalez-Quintial y Asier Eraña Azkonobieta
- 73 Figs. 86 - 88 ◦ Anteproyecto: Luis A. Lumbreras Cañada, Ana M<sup>a</sup> Bravo Ortega. / Proyecto de ejecución: TGA Arquitectura, Begoña García Gordo, Juan Carlos Linares Fernández, Silvia Saldaña Vela, Yoana Urralburu Soto
- 74 Figs. 89 - 94 ◦ Francisco Gonzalez-Quintial, Asier Eraña Azkonobieta y Julen López Tejada
- 75 Fig. 95 ◦ Francisco Gonzalez-Quintial y Asier Eraña Azkonobieta
- 77 Figs. 96 - 97 ◦ Enrique Muga Francisco, Joseba Fernández Beldarrain, Beatriz Bergasa Balda y Ekain Olaizola Lizarralde
- 77 Fig. 98 ◦ Ekain Olaizola Lizarralde
- 78 Figs. 99 - 104 ◦ Uxue Martínez de Goñi Mentxaka
- 79 Fig. 105 ◦ Francisco Gonzalez-Quintial
- 81 Figs. 106 - 107 ◦ Javier Rodríguez Alcoba y Carlos Rodríguez Alcoba
- 81 Fig. 108 ◦ Jorge Allende
- 82 Figs. 109 - 114 ◦ Uxue Martínez de Goñi Mentxaka
- 83 Fig. 115 ◦ Francisco Gonzalez-Quintial
- 85 Figs. 116 - 117 ◦ Carlos Anasagasti Ormaechea
- 85 Fig. 118 ◦ Jorge Allende
- 86 Figs. 119 - 124 ◦ Uxue Martínez de Goñi Mentxaka
- 87 Fig. 125 ◦ Francisco Gonzalez-Quintial
- 89 Figs. 126 - 127 ◦ Miguel Angel Campo
- 89 Fig. 128 ◦ Jorge Allende
- 90 Figs. 129 - 134 ◦ Uxue Martínez de Goñi Mentxaka
- 91 Fig. 135 ◦ Francisco Gonzalez-Quintial
- 94 Fig. 136 ◦ Daniel Shearing / Waugh Thistleton Architects
- 100-103 Figs. 137 - 139 ◦ Carmelo Fernández Militino / TYM asociados
- 104 Fig. 140 ◦ Alejandro Maortua Gaminde
- 105-109 Figs. 141 - 148 ◦ Carmelo Fernández Militino / TYM asociados
- 110-119 Figs. 149 - 159 ◦ Studio Ergodomus + Fabbricart architetti associati (Gabriele Marasmi)
- 120 Fig. 160 ◦ Lluc Miralles / Lacol SCCL
- 123 Figs. 161 - 163 ◦ Lacol SCCL
- 124 Fig. 164 ◦ Alejandro Maortua Gaminde
- 125 Fig. 165 ◦ Lluc Miralles / Lacol SCCL
- 126 Fig. 166 ◦ Lacol SCCL
- 127 Fig. 167 ◦ Joan Andreu y Usue Belandía / Lacol SCCL
- 127-128 Figs. 168 - 170 ◦ Lacol SCCL
- 129 Fig. 171 ◦ Lluc Miralles / Lacol SCCL

- 129 Fig. 172 ◦ Lacol SCCL
- 131-133 Figs. 173 - 175 ◦ Waugh Thistleton Architects
- 134 Fig. 176 ◦ Alejandro Maortua Gaminde
- 135-136 Figs. 177 - 178 ◦ Daniel Shearing / Waugh Thistleton Architects
- 137 Fig. 179 ◦ Waugh Thistleton Architects
- 137 Fig. 180 ◦ Waugh Thistleton / Waugh Thistleton Architects
- 138 Fig. 181 ◦ Daniel Shearing / Waugh Thistleton Architects
- 138 Fig. 182 ◦ Waugh Thistleton / Waugh Thistleton Architects
- 139 Figs. 183 - 184 ◦ Daniel Shearing / Waugh Thistleton Architects
- 140-143 Figs. 185 - 187 ◦ Garcia & Sala Arquitectes
- 144 Fig. 188 ◦ Alejandro Maortua Gaminde
- 145-149 Figs. 189 - 196 ◦ Garcia & Sala Arquitectes
- 150-153 Figs. 197 - 199 ◦ Waugh Thistleton Architects
- 154 Fig. 200 ◦ Alejandro Maortua Gaminde
- 155-158 Figs. 201 - 205 ◦ Waugh Thistleton Architects
- 158-159 Figs. 206 - 208 ◦ Franck Marcellin / Waugh Thistleton Architects
- 160-163 Figs. 209 - 211 ◦ HRTB AS Arkitekter
- 164 Fig. 212 ◦ Alejandro Maortua Gaminde
- 165-169 Figs. 213 - 221 ◦ HRTB AS Arkitekter
- 170 Fig. 222 ◦ Santiago Sanchez Salinas / CASAVITA
- 172-173 Figs. 223 - 225 ◦ Bauzeit Architects + Casa-Vita
- 174 Fig. 226 ◦ Uxue Martinez de Goñi Mentxaka
- 175-179 Figs. 227 - 235 ◦ Bauzeit Architects + Casa-Vita
- 180 Fig. 236 ◦ Daniel Shearing / Waugh Thistleton Architects
- 184-191 Figs. 237 - 246 ◦ Iñaki Goikoetxea Burgoa
- 192 Fig. 247 ◦ Daniel Shearing / Waugh Thistleton Architects
- 197-203 Figs. 248 - 253 ◦ Francisco Gonzalez-Quintial y Asier Eraña  
Azconobieta
- 204 Fig. 254 ◦ Daniel Shearing / Waugh Thistleton Architects
- 216-222 Figs. 255 - 256 ◦ Waugh Thistleton / Waugh Thistleton Architects

# ÍNDICE DE NORMATIVA

LEY 2/2006, de 30 de junio, de Suelo y Urbanismo.

LEY 3/2015, de 18 de junio, de Vivienda.

Código Técnico de la Edificación según Real Decreto 314/2006

Ley 20/1997 de 4 de Diciembre para la promoción de la Accesibilidad

Decreto 68/2000 de 11 de Abril por el que se aprueben las Normas Técnicas sobre condiciones de accesibilidad de los entornos urbanos, espacios públicos, edificaciones y sistemas de información y comunicación.

ORDEN de 12 de febrero de 2009 del Consejero de Vivienda y Asuntos Sociales, por la que se aprueban las Ordenanzas de Diseño de Viviendas de Protección Oficial.

DECRETO 39/2008, de 4 de marzo, sobre régimen jurídico de viviendas de protección pública y medidas financieras en materia de vivienda y suelo.

EN 1990 – Eurocódigo 0. Bases de diseño estructural.

EN 1993-1-8 – Eurocódigo 3. Diseño de estructuras de acero - Parte 1-8: Diseño de uniones.

EN 1995-1-1 – Eurocódigo 5. Diseño de estructuras de madera - Part 1-1: General – Reglas generales y reglas para edificios.

EN 1998-1-1 – Eurocódigo 8. Diseño de estructuras sismo resistentes - Part 1: Reglas generales, acciones sísmicas y reglas para edificios.

EN 338 – Madera estructural – Clases resistentes.

EN 14080 –Estructuras de madera – Madera laminada encolada y madera maciza encolada – Requerimientos.

EN 10025 –Aceros estructurales laminados en caliente.

Proyecto de Decreto que regula las condiciones mínimas de habitabilidad y las normas de diseño de las viviendas y alojamientos dotacionales en la Comunidad Autónoma del País Vasco

## BIBLIOGRAFÍA GENERAL

American Wood Council: Manual for Engineered Wood Construction. American Wood Council, 2018.

Arriaga, F.; Argüelles, R.; Esteban, M.; Iñiguez, G; Argüelles, R.: Estructuras de Madera – Bases de Cálculo. Aitim, 2013.

Arriaga, F.; Argüelles, R.; Esteban, M.; Iñiguez, G; Argüelles, R.: Estructuras de Madera – Uniones. Aitim, 2015.

Arup: Rethinking Timber Buildings. 2019.

Bejtka, I.: Cross (CLT) and diagonal (DLT) laminated timber as innovative material for beam elements, KIT Scientific Publishing, 2011.

Bernheimer, A.: Timber in the City: Design and Construction in Mass Timber, Oro Editions, 2015.

Dickson, M.: Sustainable Timber Design, Routledge, 2015.

Felder, L.: La torre di legno. Tarmac, 2008.

Gagnon, S.; Pirvu, C.: CLT handbook: cross-laminated timber, FP Innovations and Binational Softwood Lumber Council, 2011.

Green, M.: The Case for Tall Wood Buildings, Blurb, 2018.

Green, M.; Taggart, J.: Tall Wood Buildings - Design Construction and Performance, Birkhäuser, 2017.

Hairstans, R.: Mass Timber - an Introduction to Solid Laminate Timber Systems, Arcamedia, 2018.

Herzog; Natterer; Schweitzer; Volz; Winter: Timber Construction Manual. Birkhauser, 2004.

Hoekstra, T.: 'Multi-storey timber frame building' – Modelling the racking stiffness of timber-frame shear-walls. 2012.

Hofmeister; S. (ed): Timber Structures in Vorarlberg: Architecture, Craftsmanship, Environment. Detail, 2017.

Huss, W.; Kaufmann, M.; Merz, K.: Building in Timber - Room Modules. Detail, 2019.

Jones, S.: Mass Timber: Design and Research, Oro Editions, 2018.



- Kaufmann, H.; Krotsch, S.; Winter, S.: Manual of Multy-Storey Timber Construction. Detail, 2018.
- Kaufmann, H.; Sauer, S.: Illwerke Zentrum Montafon. Edition Detail, 2015.
- Kermani, A.: Structural Timber Design. Blackwell Science, 1999.
- Klein, O.; Schlenger, J.: Room Conditioning, Basics. Birkhauser, 2008.
- Knaak, U.; Koender, E.: Building Physics of the Envelope: Principles of Construction. Birkhauser. 2018.
- Kolb, J.: Systems in Timber Engineering, Birkhäuser, 2018.
- Lancashire, R.; Taylor, L.: Timber Frame Construction. Designing fo High Performance. Exova BM TRADA. 5th edition 2011.
- Lancashire, R.; Taylor, L.; Milner, M.: Site Check. The timber frame pocket guide. Exova BM TRADA, 2018.
- Mayo, J.: Solid Wood: Case Studies in Mass Timber Architecture, Technology and Design, Routledge ,2015.
- McLeod, V.: Detail in Contemporary Timber Architecture, Laurence King Publishing, 2010.
- Menéndez, J.: Optimisation of Timber Frame Closed Panel Systems for Low Energy Buildings. PD thesis. 2017.
- Norman, J.: Structural timber elements, a pre-scheme guide, Exova BM TRADA, 2016.
- Passivhaus Institut; Feist, W.: Criterios y requisitos de certificación passivhaus para edificios de uso no residencial. 2019.
- Peraza, F.; A. R. Nevado, M.: Guía de la madera II, construcción y estructuras. Aitim, 2014.
- Peraza, F.; Peraza, E.; et al.: Guía de la madera I, productos básicos y carpintería. Aitim, 2010.
- Piva, F.: Manualle delle costruzioni di legno. Legislazione Tecnica, 2019.
- Schnieders, J.: Passive houses in South West Europe. Darmstadt Passivhaus Institut. 2009.
- Steiger, L.: Timber Construction, Basics. Birkhauser, 2007.
- Sutton, A.; Black, D.: Cross-Laminated Timber, An introduction to low-impact building materials, BRE Press, 2011.

Teischinger, A.: Interaktion Mensch und Holz Conference Transcripción de la conferencia, Innsbruck 2012.

Thallon, R.: Graphic Guide to Frame Construction. 4th edition revised and updated. The Taunton Press, 2016.

Waltjen, T.; et al.: Details for Passive Houses, a catalogue of ecologically rated constructions. 3rd edition. SpringerWienNewYork, 2009.

Wassouf, M.: De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos. Ed. Gustavo Gili. 2014.

Waugh Thistleton Architects. 100Projects UK CLT. 2018.

Waugh, A.: Introducción al libro Tall Wood Buildings. Design, Construction and Performance. 2017.

Waugh, A.; Weiss, K. H.; Wells, M.: A Process Revealed / Auf Dem Holzweg, Murray & Sorrell FUEL, 2009.

Wilson, P.: The Modern Timber House in the UK, Wood for Good, 2018.

Young, A.; Hislop, P.; Lawrence, A.; Waugh, A.; Ogle, A.; B&K Structures; Mason, G.; Walker, H.; Cooper, G.; Strange, H.; Hartmann, K.; Dewar, L.; Milner, M.; Milestone, N.; Neve, O.; Lancashire, R.; Taylor, L.; Bratt, M.: Cross-laminated timber, Design and Performance, Exova BM TRADA, 2017.

Zelger, T.; Figl, H.; Scharnhorst, A.; Lipp, B.; Waltjen, T.; et al.: Details for Passive Houses: Renovation, a catalogue of ecologically rated constructions. Birkhauser, 2017.



Kalitatea adierazteko zigilu bat da **ehupress**. Label horren azpian argitaratzen diren jatorrizko guztiek kanpoko ebaluazio bat gainditu dute, gutxienez bi adituren eskutik gauzatuta, parekoen ebaluazio bikoitz itsua metodoa erabiliz.

El sello **ehupress** es un distintivo de calidad. Todos los originales publicados bajo este sello han superado una evaluación externa, llevada a cabo por, al menos, dos especialistas, mediante el sistema de revisión por pares doble ciego.

The **ehupress** seal is an assurance of quality. All original works published with this seal have been subjected to external evaluation, carried out by at least two experts, through the system of double-blind peer review.

Le sceau **ehupress** est un distinctif de qualité. Tous les originaux publiés sous ce label ont passé avec succès une évaluation externe, en double aveugle par les pairs, réalisée par au moins deux experts.









Los alojamientos dotacionales albergan apartamentos de tamaño reducido que se adaptan perfectamente a los diversos sistemas de construcción industrializada en madera, aprovechando la fabricación en planta, la obra seca y el montaje rápido. Esta guía ha sido creada con la idea de facilitar la incorporación de la madera como material estructural en las próximas promociones de alojamientos dotacionales. El Departamento de Planificación Territorial, Vivienda y Transportes del Gobierno Vasco, en colaboración con la Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, hace una apuesta clara por este modelo como catalizador del cambio que el sector de la construcción debe afrontar.

**IKERTUZ**



Ikerketa lanak  
Trabajos de investigación

ISBN: 978-84-1319-494-3