



Escuela  
Politécnica  
Superior

# Valoración comparativa de la eco-eficiencia de los paneles de madera contralaminada



Grado en Arquitectura Técnica

Trabajo Fin de Grado

Autor:  
Raúl Estévez Chorro

Tutor/es:  
Raúl Hugo Prado Govea

Junio 2015



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante



# Índice

---

|   |    |
|---|----|
| <b>1. Justificación y objetivos</b> .....     | 10 |
| 1.1. Antecedentes.....                        | 10 |
| 1.2. Introducción.....                        | 12 |
| 1.3. Objetivos.....                           | 14 |
| 1.4. Marco teórico.....                       | 15 |
| 1.5. Metodología.....                         | 16 |
| <b>2. La madera contralaminada</b> .....      | 18 |
| Evolución histórica.....                      | 18 |
| 2.1. Descripción del material.....            | 19 |
| 2.2. Características técnicas.....            | 22 |
| 2.2.1. Ficha Técnica.....                     | 22 |
| 2.2.2. Usos.....                              | 24 |
| 2.2.3. Montaje e instalación.....             | 25 |
| 2.2.4. Accidentes.....                        | 28 |
| 2.2.4.1. Fuego.....                           | 28 |
| 2.2.4.2. Estabilidad sísmica.....             | 31 |
| 2.2.4.3. Insectos y hongos.....               | 32 |
| 2.2.4.4. Humedad.....                         | 32 |
| 2.3. Ámbito de aplicación.....                | 33 |
| 2.3.1. Edificación residencial.....           | 33 |
| 2.3.2. Construcciones industriales.....       | 37 |
| 2.3.3. Obras públicas.....                    | 38 |
| 2.3.4. Rehabilitación.....                    | 39 |
| 2.4. Normativa y autorizaciones técnicas..... | 40 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>3. Sostenibilidad</b> .....                         | 42  |
| 3.1. Protección del clima.....                         | 42  |
| 3.1.1. Cambio climático.....                           | 42  |
| 3.1.2. Consecuencias del cambio climático.....         | 43  |
| 3.1.3. Efecto invernadero natural y antropogénico..... | 43  |
| 3.1.4. Medidas para proteger el clima.....             | 44  |
| 3.2. Explotación forestal sostenible.....              | 46  |
| 3.3. Evaluación ecológica de la madera.....            | 48  |
| <b>4. Análisis comparativo</b> .....                   | 49  |
| Planteamiento del edificio modelo.....                 | 50  |
| Análisis del ciclo de vida.....                        | 55  |
| 4.1. Suministro de materia prima.....                  | 58  |
| 4.2. Producción.....                                   | 61  |
| 4.3. Transporte.....                                   | 70  |
| 4.4. Instalación en el edificio.....                   | 77  |
| 4.5. Operación del edificio.....                       | 81  |
| 4.6. Mantenimiento y reparación.....                   | 84  |
| 4.7. Demolición.....                                   | 85  |
| 4.8. Valorización y eliminación de los residuos.....   | 90  |
| 4.9. Repercusión económica.....                        | 94  |
| <b>5. Conclusiones</b> .....                           | 96  |
| <b>6. Bibliografía y referencias</b> .....             | 100 |
| 6.1. Disposiciones legales y normativa aplicada.....   | 100 |
| 6.2. Bibliografía.....                                 | 101 |
| 6.3. Programas de cálculo y dibujo.....                | 104 |

|   |            |
|---|------------|
| 6.4. Otras referencias.....   | 104        |
| <b>7. Anejos.....</b>   | <b>106</b> |
| a. Anejo nº1: Propiedades y mediciones de los materiales del edificio de madera contralaminada..... | 106        |
| b. Anejo nº2: Propiedades y mediciones de los materiales del edificio convencional.....             | 110        |

## Índice de figuras

---

|  |    |
|--|----|
| Fig. 2.1. Modelo de panel de madera contralaminado de cinco capas.....   | 19 |
| Fig. 2.2. Unión pared exterior – pared interior y unión techo – pared.....   | 26 |
| Fig. 2.3. Ranuras y perforaciones en las superficies vistas de la madera (izquierda) y en las superficies no vistas (derecha).....                   | 27 |
| Fig. 2.4. Pieza de madera gruesa carbonizada a un ritmo predecible.....  | 29 |
| Fig. 2.5. Pruebas de estabilidad sísmica de un edificio de paneles de madera contralaminada en la mesa de sacudida más grande del mundo (Japón)..... | 31 |
| Fig. 2.6. Vista nordeste del edificio Forté.....   | 34 |
| Fig. 2.7. Vista noroeste del edificio Forté.....   | 34 |
| Fig. 2.8. Acabado interior de los apartamentos del edificio Forté.....   | 34 |
| Fig. 2.9. Edificio Forté en fase de estructura.....  | 34 |
| Fig. 2.10. Edificio Murray Grove totalmente construido.....  | 35 |
| Fig. 2.11. Acabado interior del salón del Edificio Murray Grove.....   | 35 |
| Fig. 2.12. Acabado interior de la cocina del Edificio Murray Grove.....  | 35 |
| Fig. 2.13. Fase de estructura en la planta 4.....  | 35 |
| Fig. 2.14. Fase de estructura en la planta 7.....  | 35 |
| Fig. 2.15. Edificio Cavallers estructura hasta planta 4.....   | 36 |
| Fig. 2.16. Edificio Cavallers en fase de estructura.....   | 36 |
| Fig. 2.17. Vista interior de los cerramientos del edificio Cavallers.....  | 36 |
| Fig. 2.18. Acabado interior de las viviendas.....  | 36 |
| Fig. 2.19. Montaje de los paneles en el almacén de la empresa KLH.....   | 37 |
| Fig. 2.20. Almacén de la empresa KLH sin revestimiento exterior.....   | 37 |
| Fig. 2.21. Almacén de la empresa KLH totalmente terminado .....  | 37 |
| Fig. 2.22. Hotel BMW en Austria.....   | 38 |

|  |    |
|--|----|
| Fig. 2.23. Acabado interior de las habitaciones del hotel BMW.....   | 38 |
| Fig. 2.24. Ayuntamiento de Izkaltegieta en fase de estructura.....   | 38 |
| Fig. 2.25. Ayuntamiento de Izkaltegieta totalmente construido.....   | 38 |
| Fig. 2.26. Montaje de paneles de planta baja.....  | 38 |
| Fig. 2.27. Montaje de paneles de forjado en obra de rehabilitación.....  | 39 |
| Fig. 2.28. Montaje de particiones y cerramientos con paneles en obra de rehabilitación.....  | 39 |
| Fig. 2.29. Teatro Éphémère en remodelación.....  | 39 |
| Fig. 2.30. Ampliación del teatro Éphémère.....   | 39 |
| Fig. 2.31 - 2.36. Sellos de certificación y homologación.....  | 41 |
| Fig. 3.1. Sellos de certificación de los bosques; PEFC y FSC.....  | 47 |
| Fig. 3.2. Fijación de carbono de una vivienda de varios pisos.....   | 48 |
| Fig. 4.1. Edificio de paneles de madera contralaminada diseñado por el arquitecto Ramón Llobera.....   | 50 |
| Fig. 4.2. Plano de planta tipo del edificio de paneles de madera contralaminada.....   | 51 |
| Fig. 4.3. Modelo 3D del edificio de paneles de madera contralaminada.....  | 52 |
| Fig. 4.4. Plano de planta tipo del edificio convencional.....  | 53 |
| Fig. 4.5. Modelo 3D del edificio construido con materiales y técnicas convencionales.....  | 54 |
| Fig. 4.6. Ciclo de vida de la edificación.....   | 55 |
| Fig. 4.7. Distribución de los recursos forestales por país.....  | 59 |
| Fig. 4.8. Coste energético (MJ) en la producción de materiales para las dos tipologías constructivas.....  | 67 |
| Fig. 4.9. Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg) en la producción de materiales para las dos tipologías constructivas.....  | 68 |
| Fig. 4.8. Transporte de los paneles contralaminados mediante camión.....   | 73 |
| Fig. 4.9. Coste energético (MJ) e impacto medioambiental (kg CO <sub>2</sub> ) en el transporte de los materiales para las dos tipologías constructivas..... | 75 |

|   |    |
|---|----|
| Fig. 4.10. Instalación mediante grúa y trabajadores de un panel vertical de madera contralaminada.....  | 77 |
| Fig. 4.11. Coste energético (MJ) e impacto medioambiental (kg CO <sub>2</sub> ) en la instalación de los materiales de las dos tipologías constructivas.....  | 80 |
| Fig. 4.12. Conductividad térmica (W/m·k) de los materiales de construcción.....   | 82 |
| Fig. 4.13. Coste energético (MJ) e impacto medioambiental (kg CO <sub>2</sub> ) en la demolición y desmontaje de las dos tipologías constructivas.....        | 88 |
| Fig. 4.14. Distribución de residuos en el derribo de la edificación convencional.....   | 91 |
| Fig. 4.15. Coste de la estructura de 3 edificios de madera contralaminada y de 3 edificios convencionales.....  | 95 |
| Fig. 5.1. Impacto medioambiental (kg CO <sub>2</sub> ) de todas las fases de la vida del edificio de paneles contralaminados y del edificio convencional..... | 97 |
| Fig. 5.2. Consumo energético (MJ) de todas las fases de la vida del edificio de paneles contralaminados y del edificio convencional.....                      | 98 |



## Índice de tablas

---

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 2.1. Resultado de las pruebas de resistencia al fuego de los paneles de madera contralaminada.....         | 30  |
| Tabla 4.1. Etapas del ciclo de vida de un edificio.....  | 57  |
| Tabla 4.2. Resultado del impacto y uso de recursos por m <sup>2</sup> producido de panel contralaminado KLH..... | 62  |
| Tabla 4.3. Repercusión de la producción de materiales para el edificio modelo de paneles contralaminados.....    | 65  |
| Tabla 4.4. Repercusión de la producción de materiales para el modelo de edificio convencional....                | 66  |
| Tabla 4.5. Repercusión del transporte de los materiales de la edificación convencional.....                      | 72  |
| Tabla 4.6. Repercusión del transporte de los materiales de la edificación de paneles contralaminados.....        | 75  |
| Tabla 4.7. Repercusión de la instalación de los materiales de la edificación de paneles contralaminados.....     | 79  |
| Tabla 4.8. Repercusión de la instalación de los materiales de la edificación convencional.....                   | 80  |
| Tabla 4.9. Repercusión de la demolición del edificio convencional.....   | 86  |
| Tabla 4.10. Repercusión de la demolición de la estructura del edificio de paneles contralaminados.....           | 88  |
| Tabla 4.11. Evaluación del volumen de residuos de derribo en la edificación convencional.....                    | 91  |
| Tabla A.1. Cómputo de materiales del modelo de edificio de madera contralaminada.....                            | 109 |
| Tabla B.1. Cómputo de materiales del modelo de edificación convencional.....                                     | 112 |

# CAPÍTULO I: JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

## 1.1. Antecedentes

---

En la actualidad, la mayor parte de la población vive en las ciudades y cada vez son más las personas que a la hora de elegir un lugar donde vivir, se decantan por el núcleo urbano. Ya sea por sus infraestructuras, oportunidades de trabajo, calidad de vida o riqueza cultural, la gente tiende a congregarse, provocando un aumento de la densidad poblacional en las zonas urbanas y por lo tanto, haciendo necesario construir edificios residenciales cada vez más altos.

En los próximos años, se tendrán que crear nuevos hogares para millones de personas y es muy importante saber qué tipo de edificios son necesarios construir. La elección de los materiales es un factor determinante a la hora de elegir un método constructivo u otro. El hormigón y el acero son dos de los materiales de construcción con mayor demanda energética y con mayor impacto medioambiental por las emisiones de gases de efecto invernadero producidas durante su fabricación.

El ser humano está causando un daño irreparable al ecosistema y la industria de la construcción, es una de las actividades que mayor responsabilidad tiene. Por ello, hay que buscar alternativas ante esta difícil tarea de seguir construyendo y reducir las emisiones globales de gases de efecto invernadero.

La aparición de nuevas tecnologías y sistemas de construcción están dando lugar a nuevos materiales que pueden sustituir a los hasta ahora conocidos. Uno de ellos, son los paneles de madera contralaminada, placas de madera maciza de gran formato elaboradas con tablas de madera encoladas en cruz. Gracias a su libertad de diseño, sus posibilidades de uso son prácticamente ilimitadas, pudiendo construir edificios en altura y llegando más lejos que las convencionales viviendas unifamiliares de madera.

Su materia prima, la madera, es un producto que crece de forma natural utilizando la energía del sol y es el único de los materiales importantes en la construcción, que es renovable y sostenible a largo plazo. La madera que se emplea en la construcción es un

excelente almacén de dióxido de carbono, ya que los árboles absorben el CO<sub>2</sub> hasta que se queman o biodegradan, pero si se utiliza como material de construcción, se retiene gran cantidad de este dióxido de carbono.

Otra de las grandes propiedades de la madera es su eficiencia energética como aislante térmico. Ante la necesidad de prevenir la pobreza energética, se han actualizado las normas que promueven la mejora de la eficiencia energética de los edificios. Según un estudio de 2012 sobre la Pobreza Energética en España, uno de cada tres hogares en paro no pudo hacer frente a sus necesidades energéticas (Asociación de Ciencias Ambientales, 2012), por lo que hace falta una solución inminente y que sea sostenible a largo plazo.

Cambiar la percepción que las personas tienen de la madera como material de construcción poco tecnológico es un importante paso a la hora de fomentar el uso de los paneles de madera contralaminada y convertir este producto en una alternativa estructural al hormigón y el acero.

## 1.2. Introducción

---

Las actividades llevadas a cabo por el ser humano en la Tierra, están provocando un daño irreparable al ecosistema del que depende su existencia. La forma de vida en los países más industrializados, es la causa de gran parte del impacto generado al medioambiente. El aumento de la demanda energética, los avances tecnológicos y las bases de unas sociedades cada vez más consumistas, son unas de las principales razones por las que el impacto medioambiental está creciendo en los últimos años.

Por ello, el cambio climático es una de las cuestiones que más preocupa a parte de la actual sociedad. Es un tema que está relacionado con prácticamente todas las actividades desarrolladas por el ser humano. Para el caso de la construcción, representa a una parte importante de las industrias que están provocando este impacto sobre el medioambiente.

Este proyecto pretende aportar un espíritu de cambio, una alternativa a las construcciones convencionales que utilizan materiales contaminantes, responsables de la emisión de grandes cantidades de gases de efecto invernadero y que no simpatiza con la actual idea de arquitectura sostenible.

Como se ha explicado anteriormente, el material de construcción que se estudia en este proyecto es la madera, concretamente, los paneles de madera contralaminada. Se trata de un novedoso método de construcción, que cada vez está siendo más utilizado por el centro-norte de Europa y en países como Canadá o Australia. Aunque en España los paneles de madera contralaminada no son un sistema de construcción conocido, ya hay varios ejemplos de edificaciones construidas con este material.

Las propiedades ecológicas de la madera como material de construcción sostenible, con un bajo impacto medioambiental, han fomentado el uso de este material en los últimos años. Pero no suponía una alternativa a las construcciones de hormigón armado, debido a las limitaciones estructurales que tiene la madera maciza. Sin embargo, en los paneles de madera contralaminada, la rigidez de sus uniones aumenta la resistencia estática del conjunto considerablemente, pudiendo llegar a construir edificio en altura como con los materiales utilizados en los métodos de construcción convencional.

Por ello, se ha decidido llevar a cabo este proyecto, en el que se ha partido de la idea principal de que los paneles de madera contralaminada son un material estructural que se presenta como una alternativa a las actuales construcciones de hormigón armado. Y se compara la eficiencia ecológica en el sistema de construcción de paneles de madera contralaminada en relación a la construcción convencional, en busca de un método de construcción sostenible que represente las futuras técnicas constructivas concienciadas con el medioambiente.

## 1.3. Objetivos

---

El principal objetivo de este proyecto es incentivar el uso de los paneles de madera contralaminada como alternativa estructural en la edificación, demostrando su beneficio ecológico.

Los objetivos específicos que se pretende alcanzar mediante la ejecución del presente proyecto son:

- Poner a disposición de los profesionales del sector de la construcción información del material a estudio; descripción del material, ventajas, características técnicas, ámbito de aplicación y definiciones de calidad, para que lo conozcan y estén seguros al utilizarlo.
- Fomentar la protección del clima utilizando un producto con un impacto medioambiental mucho menor que el del hormigón y el acero.
- Comparar datos obtenidos de un análisis entre los paneles de madera contralaminada y los materiales empleados habitualmente en obra en España, a nivel de costo, rendimiento y eficiencia energética.
- Elaborar una documentación práctica que recoja en tablas comparativas los resultados obtenidos del análisis.
- Referenciar obras recientes en España y el resto de países, que ayuden a la comprensión de lo que se puede llevar a cabo con este material.

## 1.4. Marco teórico

---

La situación de la madera como material estructural ha mejorado desde que en 2009 entró en vigor el Documento Básico sobre Seguridad Estructural de Madera (Código Técnico DB-SE-M 2009), y se dispone de una documentación más completa y un uso normalizado de la madera como material estructural.

Sin embargo, al diseñar un edificio, el proyectista difícilmente elegirá la madera como material estructural, recurriendo directamente al hormigón armado. Debido a la falta de conocimiento y difícil acceso a este material, los profesionales no lo utilizan por no estar seguros de sus propiedades.

Actualmente, los grandes concedores de nuevas técnicas constructivas, como los paneles de madera contralaminada, son las empresas especializadas en el suministro y montaje de este tipo de sistemas. Normalmente, los técnicos responsables del diseño y ejecución de estas obras recurren a casas comerciales para que les asesoren y definan los aspectos a considerar tanto en fase de proyecto como de ejecución. Los paneles de madera contralaminada son utilizados en edificaciones concretas y como los fabricantes, en la mayoría de los casos, tienen su propio equipo de montaje, no es algo de lo que los operarios habituales de una obra suelen tener conocimiento.

Los profesionales del sector de la construcción deben ponerse al día en la formación sobre esta materia, ya que la construcción de estructuras de madera ocupa el tercer lugar en tiempo de formación en los estudios académicos después del hormigón y acero. La gran parte de la documentación disponible está vinculada a países extranjeros del centro y norte de Europa y América del Norte, que además de contar con la materia prima tienen grandes empresas especializadas con muchos años de experiencia.

Hoy en día en España, cuando se elige utilizar madera en construcción generalmente se debe a fines estéticos, mientras que en otras partes del mundo ya se están utilizando por sus sostenibilidad y eficiencia energética. La construcción de estructuras de madera es una vía abierta de la que todavía queda mucho por descubrir, si somos capaces de mejorar la formación de los profesionales y promover la investigación.

## 1.5. Metodología

---

La metodología en este proyecto comienza por buscar unos objetivos y definir una hipótesis de trabajo, para identificar hacia dónde es mejor enfocar el estudio. Para mejorar los conocimientos sobre la materia, se ha llevado a cabo una investigación y recopilación de información de la madera como materia de construcción, y más en concreto, sobre los paneles de madera contralaminada. También, se han estudiado los métodos de construcción utilizados de forma convencional en España, para posteriormente decidir con cuál de ellos realizar el análisis comparativo.

Para poder estudiar la eficiencia ecológica de los materiales, se han buscado cuáles son los principales procedimientos de declaración ambiental, que hay homologados en el mercado. Se han evaluado las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos, para finalmente llegar a la conclusión de que la metodología de Análisis del Ciclo de Vida (a partir de ahora, ACV) para materiales de construcción, es la que más se adapta a los intereses del proyecto.

Una vez se ha decidido el método de análisis, se procede a buscar y clasificar toda la información posible de los paneles de madera contralaminada y de todo aquello que haga referencia a la sostenibilidad de la madera. Comenzando por la toma de contacto con diferentes empresas especializadas en la fabricación de este material, ya que son las que disponen de mejor información y de mayor valor técnico. Una de estas empresas es “Egoin”, que fabrica paneles de madera contralaminada en el País Vasco y cuenta con mucha experiencia en la fabricación y montaje de los paneles (Disponible en las referencias de Egoin en el *Capítulo VI: Bibliografía*). Otra ha sido la subcontrata “alterMATERIA”, que dispuso la mayoría de la información técnica que describe las propiedades y el proceso de fabricación, suministro y montaje de los paneles (Disponible en las referencias de KLH Massivholz GmbH en el *Capítulo VI: Bibliografía*). También, nos remitió a otra empresa, KLH Massivholz, que tiene su sede en Austria y es el mayor fabricante de madera contralaminada de Europa y quien suministra a “alterMATERIA”.



Además de buscar información de los paneles contralaminados, se han buscado edificios ya contruidos con estos paneles, para mostrarlos como ejemplo de las posibilidades de diseño de este material.

Usando la metodología de ACV, se ha realizado un análisis medioambiental del proceso de construcción de un edificio con paneles de madera contralaminada y del método de construcción usado comúnmente en España. Para poder cuantificar las cantidades de material necesario en cada proceso, ha sido necesario crear un modelo simplificado de edificio con el software de diseño arquitectónico Revit. En el caso del edificio con paneles contralaminados, los materiales utilizados son similares a los empleados por el arquitecto Ramón Llobera en su edificio de 6 plantas en Lérida (Llobera. *Proyecto de ejecución de edificio plurifamiliar entre medianeras*, 2013), y en el caso del método convencional, se hace referencia al proyecto de ejecución de un edificio de 5 plantas más ático, situado en Guardamar del Segura (Saura. *Proyecto de ejecución de edificio para 18 viviendas de protección pública con garaje y 8 trasteros en planta sótano, baja y cuatro alturas, planta ático con 10 trasteros y urbanización de parcela con piscina*, 2008).

A la hora de realizar el ACV de los dos métodos constructivos, éste se divide por cada una de las fases que comprenden la construcción de un edificio: suministro de materia prima, producción, transporte, instalación en el edificio, operación del edificio, mantenimiento y reparación, demolición y valorización o gestión de los residuos. Para el cálculo del impacto medioambiental y el consumo de energía de la etapa de producción, transporte, instalación y derribo de los materiales, se ha utilizado como base de datos el banco BEDEC del ITeC (Instituto de Tecnología de la Construcción. Banco BEDEC PR/PTC, 2006), de donde se obtienen las emisiones de dióxido de carbono y la energía incorporada en los materiales y en los procesos. Debido a las limitaciones de poder usar otro tipo de base de datos, el resto de fases del ciclo de vida no son calculadas pero sí se obtienen conclusiones de forma analítica de cuál de los dos métodos de construcción es más eficiente.

Tras realizar la comparativa de los dos procesos constructivos, se han analizado los resultados obtenidos y se han definido unas conclusiones, que pueden ser de interés para en un futuro proseguir con la investigación.

## CAPÍTULO II: LA MADERA CONTRALAMINADA

Este capítulo comprende la primera parte del cuerpo del trabajo y en él se desarrolla todo lo referente a los paneles de madera contralaminada como material de construcción. Ha sido necesario elaborar este capítulo porque, al tratarse de un producto novedoso, la información disponible en España no es mucha comparada con otros materiales y tampoco es de fácil acceso, ya que proviene principalmente del centro-norte de Europa y América del Norte.

El capítulo está dividido en cuatro apartados a través de los que se adquieren unos conocimientos básicos de los paneles de madera contralaminada. En el primero de ellos, se describe la madera contralaminada como material de construcción y las principales ventajas que posee. En el segundo apartado, se muestran las características técnicas de los paneles, se clasifican según sus usos y se explica el proceso de montaje e instalación en obra. También se analizan los principales agentes que atacan los paneles de madera como: fuego, movimientos sísmicos, insectos, hongos y humedad. En el tercer apartado, se muestran algunos ejemplos de construcciones con madera contralaminada en distintos ámbitos de la edificación. Y por último, se muestra la normativa de obligado cumplimiento y autorizaciones técnicas.

### Evolución histórica

---

Según la organización canadiense FPInnovations (*Cross Laminated Timber: a Primer*, 2010) que lleva a cabo investigaciones para la industria forestal, la madera contralaminada se desarrolló inicialmente en Suiza cerca de 1990 y fueron varias las empresas que empezaron a desarrollar este producto. En 1996, Austria fabricó los paneles de madera contralaminada modernos, similares a los que se emplean hoy en día, gracias a una industria e investigación centrada exclusivamente en este producto.

Pero durante un tiempo, el progreso de los paneles de madera contralaminada fue lento, hasta que a principios del siglo XXI aumentó drásticamente con la aparición de los métodos de construcción sostenible y las mejoras de eficiencia en la comercialización y distribución.

En función de unos estudios realizados para la industria forestal, se ha considerado que los países que más utilizan los paneles contralaminados son: Austria, Alemania, Suiza, Suecia, Noruega y Reino Unido con 0,3 millones de m<sup>3</sup> contruidos y unas expectativas de 0,6 a 1 millón de m<sup>3</sup> en 2015 (FPInnovations. *Cross Laminated Timber: a Primer*, 2010).

## 2.1. Descripción del material

---

Los paneles de madera contralaminada están formados por capas de madera dispuestas de forma cruzada y encoladas entre sí, formando elementos de madera maciza de gran tamaño.

Las capas de madera o planchas están formadas por tablas del espesor correspondiente juntadas con presión lateral sin cola, sobre la que se extiende una lámina de cola en toda la superficie, para volver a colocar una segunda plancha girada 90° respecto a la anterior. Se vuelve a extender una lámina de cola y se coloca otra plancha de madera, así hasta alcanzar el número de planchas deseado y proceder al prensado del panel. El número de planchadas de madera es de tres, cinco o siete, pero pueden ampliarse hasta formar un panel con espesor definido en el proyecto (Egoin. *Materiales & Productos*).



Figura 2.1. Modelo de panel de madera contralaminado de cinco capas. (Fuente: <http://hybrid-build.co/solutions/clt/>)

Los paneles se pueden utilizar como elementos de separación vertical: cerramientos y particiones, o elementos de separación horizontal: forjados de planta y cubierta. La versatilidad de este sistema lo hace idóneo para la edificación de viviendas unifamiliares, edificios residenciales de varias plantas, oficinas, naves industriales, construcciones modulares y otras estructuras como puentes, ascensores, escaleras y torres (Egoin. *Materiales & Productos*).

Al tratarse de un producto prefabricado, los paneles tienen las medidas exactas de cada proyecto, y en obra sólo hace falta hacer los huecos para la escalera, las carpinterías y el paso de instalaciones. Esto permite ahorrar mucho tiempo en el montaje de la estructura, lo que reduce la exposición de la obra a la intemperie, las posibilidades de que se produzca un accidente laboral y la incomodidad a los vecinos.

Debido a la orientación en cruz de las capas de los paneles, los fenómenos de dilatación y contracción de la madera en la superficie del tablero quedan reducidos a un mínimo irrelevante, mientras que la capacidad de carga estática y la estabilidad de forma mejoran considerablemente (KLH. *Madera Contralaminada* 2013, p. 2).

En la producción de placas de madera maciza KLH se emplea madera secada de acuerdo con la autorización técnica europea, con una humedad de la madera del 12% (+/- 2%), para evitar el ataque de plagas, hongos o insectos.

KLH, describe como el encolado de los paneles se realiza mediante pegamento PUR sin disolventes y sin formaldehídos, y se comprueba conforme a la norma DIN 68141. La cola se aplica de modo automático y cubre toda la superficie con una cantidad óptima de 0,2 kg/m<sup>2</sup> de adhesivo. Gracias a la elevada presión de prensado (6 kg/cm<sup>2</sup>) se consigue un encolado perfecto.

El corte o la separación en el taller se realizan con la más moderna tecnología de CNC. Se utiliza como base los planos de producción y recorte, autorizados por el cliente o la empresa constructora. La precisión del corte se encuentra en el marco de las tolerancias en la construcción de edificios según DIN 18203/ parte 3.

El acabado superficial de las placas de madera maciza KHL que se ofrece de forma estándar es: calidad no vista, vista industrial y vista para vivienda, aunque también es posible conseguir superficies especiales a pedido del cliente, y según la disponibilidad y viabilidad técnica (KLH. *Madera Contralaminada* 2013, p. 3).

Los paneles de madera contralaminada se caracterizan principalmente por ser un producto respetuoso con el medioambiente y eficiente energéticamente, pero además de esto, tienen otra serie de ventajas:

- |  |   |
|--|---|
| - Material sostenible desde el punto de vista ecológico.           | - Producto constructivo autorizado técnicamente y con certificación CE. |
| - Recomendado para la construcción por sus propiedades biológicas. | - Control de calidad en la producción.                                  |
| - Balance ecológico positivo.                                      | - Elementos prefabricados con gran exactitud de medidas.                |
| - Ambiente interior saludable y agradable.                         | - Corte de los elementos controlado por CNC.                            |
| - Libertad en la arquitectura.                                     | - Suministro directo a la obra.   |
| - Composición flexible no sujeta a medidas de intereses.           | - Facilidad de montaje.   |
| - Compatible con acero, vidrio y otros materiales.                 | - Tiempo de construcción breve.   |
| - Propiedades estáticas excelentes.                                | - Construcción en seco.   |
| - Componentes delgados que permiten ganar espacio.                 | - Rápida disponibilidad de los edificios para ser habitados.            |

(Fuente: KLH Massivholz GmbH. *Madera Contralaminada* 2013, p. 4)

## 2.2. Características técnicas

Los fabricantes de paneles de madera contralaminada utilizan métodos analíticos y experimentales para determinar las propiedades de su producto y ver cómo responde ante las condiciones más adversas. Aunque los fabricantes sean distintos, las propiedades de sus productos son similares ya que se siguen unos métodos de fabricación reconocidos y los paneles tienen que pasar unos exámenes de certificado y sellos de conformidad.

### 2.2.1. Ficha técnica

En este proyecto, sólo se describen los datos técnicos de los paneles fabricados por la empresa KLH, la más importante en Europa en la fabricación de paneles de madera contralaminada y que realiza sus estudios y evaluación del producto en base a los estándares de la normativa europea.

A continuación se clasifican los principales datos técnicos de todos los paneles fabricados por KLH:

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| <b>Producto</b>                 | Placa de madera maciza de tamaño grande de planchas encoladas cruzadas                                       |
| <b>Marca</b>                    | Madera contralaminada (KLH)  |
| <b>Aplicación</b>               | Elementos constructivos de pared, forjado y cubiertas.   |
| <b>Estabilidad</b>              | Categoría de uso 1 y 2 conforma a EN 1995-1-1  |
| <b>Tipos de madera</b>          | Píceas (pino, abeto, pino cembro y otros tipos)  |
| <b>Estructura de placas</b>     | 3, 5, 7 o más capas  |
| <b>Planchas</b>                 | Grosor entre 10 y 45 mm, secadas técnicamente, seleccionadas según calidad y unidas por entalladura múltiple |
| <b>Categoría de resistencia</b> | C 24 conforma a EN 338   |
| <b>Encolado</b>                 | Pegamento PUR sin formaldehídos, conforme a EN 15425   |
| <b>Presión de prensado</b>      | 0,6 N/mm <sup>2</sup> como mínimo  |

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| <b>Humedad de la madera</b>          | 12 % (+/- 2 %) a la entrega  |
| <b>Dimensiones máximas</b>           | Largo de 16,50 m/ ancho de 2,95 m/ grosor de hasta 0,50 m  |
| <b>Anchos facturables (estándar)</b> | 2,40/ 2,50/ 2,73/ 2,95 m   |
| <b>Superficies/calidad</b>           | No vista (NSI)/ vista industrial (ISI)/ vista para vivienda (WSI)  |
| <b>Peso</b>                          | 5,5 kN/m <sup>3</sup> conforma a la norma ONORM B 1991-1-1:2011 para cálculos estáticos; 500 kg/m <sup>3</sup> para determinar el peso del transporte  |
| <b>Cambio de forma</b>               | En el nivel de placa: 0,01% por cada % de variación en la humedad de la madera. En sentido perpendicular al nivel de placa (en sentido del grosor): 0,24% por cada % de variación en la humedad de la madera |
| <b>Conductividad térmica</b>         | $\lambda = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$ conforme a EN ISO 10456  |
| <b>Capacidad térmica</b>             | $c_p = 1600 \text{ J}/(\text{kg}^*\text{K})$ conforme a EN ISO 10456   |
| <b>Resistencia a la difusión</b>     | $\mu = 25$ hasta 50 conforme a EN ISO 10456  |
| <b>Estanqueidad al aire</b>          | Los tableros de madera maciza de KLH pueden utilizarse generalmente como capas herméticas al aire<br><br>Las conexiones entre componentes, juntas, penetraciones etc. deberán sellarse como corresponda.     |
| <b>Comportamiento al fuego</b>       | Euroclase D-s2, d0   |
| <b>Velocidad de combustión</b>       | Ritmo de 0,67 mm/min en caso de combustión solamente en la capa expuesta o de 0,76 mm/min. en caso de combustión de varias capas   |

(Fuente: KLH Massivholz Gmbh. *Datos Técnicos característicos*)

## 2.2.2. Usos

Los paneles de madera contralaminada se pueden emplear tanto en obra nueva como en rehabilitación. Y sus principales usos en la edificación son: cerramiento exterior, medianera, partición, forjado interior y cubierta. También se construye la caja del ascensor con paneles contralaminados, estos volúmenes prismáticos llegan a la obra en módulos de hasta 14 m, pudiendo superponer otros si fuera necesario más altura. La estructura del ascensor es fundamental en la estabilidad del edificio ya que arriostra todos los forjados y tiene una función portante.

A continuación, se clasifican los diferentes tipos de paneles de madera contralaminada que se utilizan en una misma obra, según su función como elementos constructivos dentro del edificio (Fuente: Egoín. *Materiales & Productos*):

1. **Cerramientos de fachada:** Como elemento de separación vertical con el exterior, se utilizan paneles de 3 y 5 capas en función de las cargas del edificio. Con los paneles de 3 capas se pueden construir edificios de hasta 3 plantas de altura y con paneles de 5 y 7 capas se llegan a construir edificios de 8 plantas. La dirección de las capas debe corresponder a las solicitaciones mecánicas del panel y, teniendo en cuenta que éstas son fundamentalmente verticales, las dos capas exteriores deben colocarse en vertical, haciendo trabajar a la madera en su sentido axial. Cuando la altura hasta los forjados sea superior a 3,50 m, se gira 90° el sentido de los paneles, pudiendo acometer paredes hasta 14 m. de altura.
2. **Cerramientos de medianera:** En separación de viviendas o locales contiguos se utilizan dos paneles recubiertos con láminas acústicas que aseguren la protección acústica definida en el proyecto.
3. **Particiones:** Las particiones interiores normalmente no resisten cargas y se emplean solo como distribución, se realizan con paneles de grosor entre 6 y 16,5 cm. Se pueden realizar con calidad de lámina industrial, para luego recubrirlas con placas de yeso laminado, o con calidad vista para apreciar la madera.



4. **Forjados interiores:** Se pueden utilizar paneles de 3, 5 ó 7 capas, a partir de 5 capas la capacidad mecánica transversal de estos paneles ya es alta, siendo utilizada huecos de escalera y voladizos. Se deben montar teniendo en cuenta las sollicitaciones mecánicas de los paneles, por lo que las capas externas, al ser las que resisten más carga, deben situarse en el sentido longitudinal del panel. Los paneles de forjados de plantas pueden realizarse con calidad de láminas industriales para luego ser recubiertas, o bien con láminas de calidad estándar para dejar la madera vista.
5. **Forjados de cubierta:** Los paneles se pueden utilizar tanto en cubiertas planas como en inclinadas. En la parte superior de las cubiertas inclinadas se colocan los correspondientes aislamientos y una lámina impermeable para posteriormente colocar las tejas. Y en la las cubiertas planas se coloca una lámina impermeable, para después colocar de capa de protección

### 2.2.3. Montaje e instalación

En este apartado se describe brevemente cual es el proceso de montaje de los paneles de madera contralaminada y cómo se realizan las tareas necesarias para el paso de instalaciones. El procedimiento está basado en la información proporcionada por una empresa encargada del montaje de los paneles (KLH. *Montaje e Instalación* 2012, p. 11-14):

1. **Marcado de la posición de los cerramientos en el asiento de hormigón.** Las medidas de los planos se trasladan a la estructura de hormigón con una precisión milimétrica y comprobando varias veces los ángulos. Las marcas sobre la placa de hormigón se realizan con cordel entizado.
2. **Colocación de las escuadras de montaje.** Sobre el delineado de cordel entizado se colocan las escuadras para fijar los paneles. La distancia entre escuadras suele ser de 100 a 150 cm.

- 3. Colocación de la impermeabilización horizontal.** En caso de edificios con sótano, la impermeabilización se colocará sólo en la zona de los muros y tras la colocación de las escuadras.
- 4. Compensación de altura y relleno de juntas.** Se determinará la altura exacta de cada escuadra mediante un equipo nivelador. Las imprecisiones se compensarán con los correspondientes suplementos. La junta abierta entre el elemento de tabique de madera y la solera se rellenará con mortero para que el muro de carga apoye toda su superficie sobre el asiento de hormigón. El panel se colocará en un lecho de mortero húmedo o se rellenará posteriormente la junta con argamasa.
- 5. Montaje vertical de los elementos para pared.** El equipo de montaje pone los elementos en la posición correcta conforme al plano detallado mediante los sistemas de elevación y prestando atención en asegurar la pared con elementos auxiliares como puntales. El equipo de atornillado une y fija los elementos según las instrucciones del técnico.

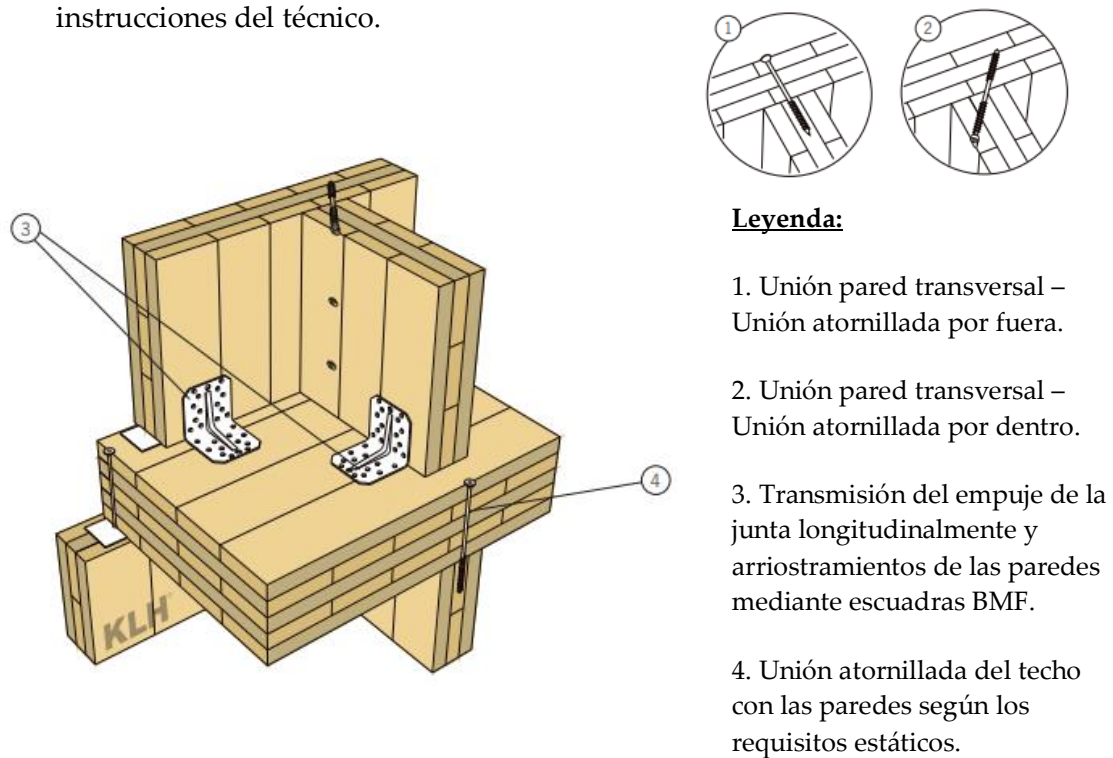


Fig. 2.2. Unión pared exterior – pared interior y unión techo – pared (Fuente: [http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2013/Neu/Spanish/konstruktion\\_span/Konstruktion\\_span.pdf](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2013/Neu/Spanish/konstruktion_span/Konstruktion_span.pdf))

6. **Montaje horizontal de elementos para techo y cubierta.** Llevar el elemento a la posición de montaje mediante los sistemas de elevación y asegurarlo en su posición.
7. **Colocación de elementos constructivos prefabricados.** Si se coloca una chimenea o se montan escaleras de piezas prefabricadas se realizará después de colocar los paneles para aprovechar la disponibilidad de la grúa en la obra.
8. **Instalación eléctrica.** Para elementos del panel en calidad no vista, está la posibilidad de conducir las instalaciones en las falsas fachadas o de embutir los conductos en los paneles contralaminados y recubrirlos después. La profundidad máxima de fresado será, de forma puntual,  $4/5$  del grosor de a placa y en la dirección de las fibras de la capa de cubierta. En caso de superficies vistas, los cables se embuten por la parte trasera (cara superior en caso de techo o cubierta y cara exterior de la pared en muros exteriores vistos) prestando atención a la capa de sellado.

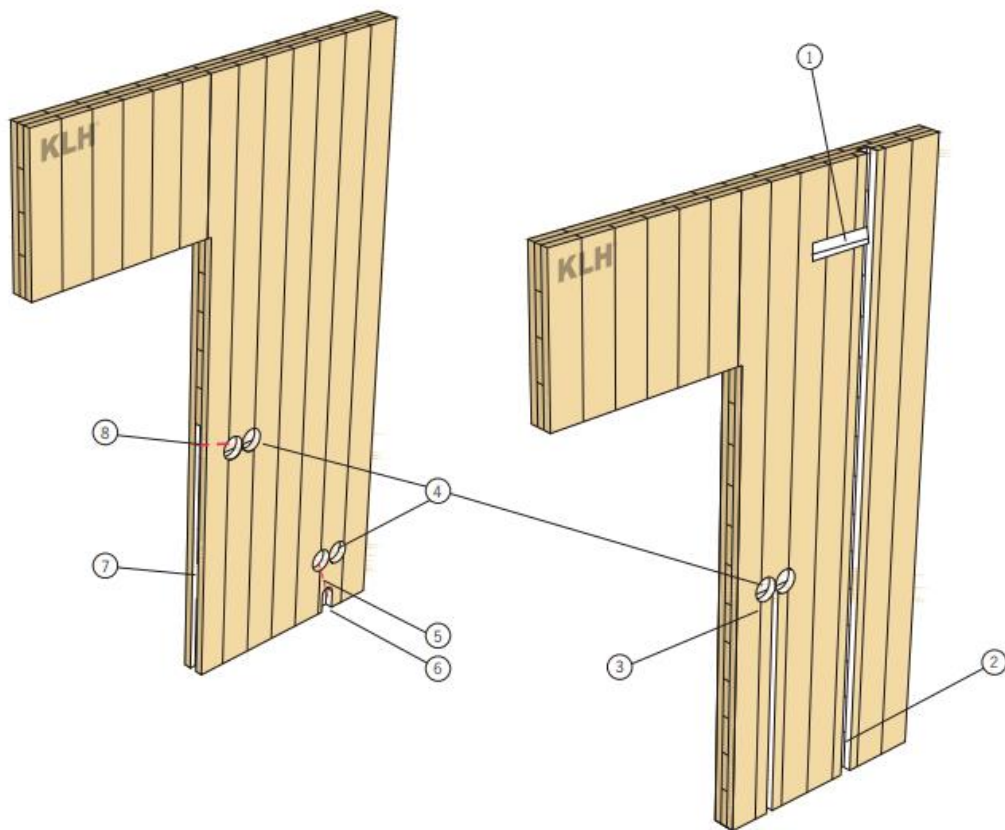


Fig. 2.3. Ranuras y perforaciones en las superficies vistas de la madera (izquierda) y en las superficies no vistas (derecha)

(Fuente: [http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2013/Neu/Spanish/konstruktion\\_span/Konstruktion\\_span.pdf](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2013/Neu/Spanish/konstruktion_span/Konstruktion_span.pdf))

**Leyenda Figura 2.3:**

1. Ranuras transversales; solo bajo ciertas condiciones; realizar comprobación estática.
2. Ranuras verticales; solo en la dirección de la capa superior.
3. Distancia mínima hasta el borde: 10 cm.
4. Taladros para cajas de enchufe e interruptores; la distancia del hueco hasta el borde depende de la carga del elemento de pared.
5. Taladros en los lados frontales de las paredes (por abajo).
6. Nicho o agujero pequeño practicado en la superficie para el guiado de las tuberías (en la estructura de suelo).
7. Ranura en el derrame de la puerta.
8. Taladro desde el derrame de la puerta hasta los taladros para interruptores.

- 9. Instalación de la calefacción y de las tuberías de agua y desagüe.** Estas tuberías en gran parte van por el suelo y las falsas fachadas. En el suelo las tuberías no se suelen fresar y se tienden en la estructura del suelo. Las tuberías de mayor tamaño deberán revestirse mediante encofrado y respetando un desacoplamiento acústico. En los pasamuros para tuberías y en los huecos para las instalaciones deberá respetarse un aislamiento acústico suficiente. En los cuartos de baño se recomienda realizar un sellado superficial horizontal por debajo de la estructura del suelo.

## 2.2.4. Accidentes

Al tratarse de un producto relativamente nuevo, es necesario realizar numerosos estudios y pruebas, a escala real, que ayuden a comprender el comportamiento de los paneles de madera en las situaciones más desfavorables. En este apartado, se estudia la resistencia de los paneles de madera contralaminada a: fuego, estabilidad sísmica, insectos, hongos y humedad.

### 2.2.4.1. Fuego

El fuego es quizás el elemento más desfavorable y el primero que viene a la cabeza cuando se piensa en las debilidades de las estructuras de madera. Para contrarrestar esta idea preconcebida de la madera, las empresas especializadas en este sector han llevado a cabo numerosos estudios acerca de la resistencia al fuego de los paneles de madera

contralaminada. En este caso, la información se ha extraído de las pruebas de resistencia realizadas por el Consejo de Investigación Nacional de Canadá (National Research Council Canada. *Full-scale fire resistance tests on cross-laminated timber*, 2013), cuyos resultados ayudarán a comprender cómo responden los paneles de madera contralaminada ante la acción del fuego.

La resistencia al fuego se define como la capacidad de un material de prevenir o retardar el paso de calor excesivo, gases calientes o llamas en situaciones de fuego. La calificación depende del período de tiempo en el que impide el paso de fuego y resiste la carga estructural al que está sometido (Continuing Education. *Cross Laminated Timber*, 2013).

Las pruebas de resistencia al fuego de las estructura de madera se hace conforme a la norma corresponde de cada país (AENOR. *Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego*, 2011) y en el caso de los paneles de madera contralaminada, depende fundamentalmente del número de capas.

Los paneles de madera contralaminada tienen una excelente resistencia al fuego debido a la composición de sus capas cruzadas, que al estar expuestas al fuego, se carbonizan de forma lenta y predecible. Al quemar la superficie de los paneles, se produce una capa de carbón de poco espesor que actúa como aislante (ver Figura 2.4), de baja densidad, y que protege a la madera de alcanzar temperaturas elevadas (National Research Council Canada. *Full-scale fire resistance tests on cross-laminated timber*, 2013).



Figura 2.4. Pieza de madera gruesa carbonizada a un ritmo predecible.  
(Fuente:[http://construction.com/CE/CE\\_images/2013/Oct\\_reThink-Wood-American-Wood-Council-and-FPIinnovations-9.jpg](http://construction.com/CE/CE_images/2013/Oct_reThink-Wood-American-Wood-Council-and-FPIinnovations-9.jpg))

A la hora de llevar a cabo unas pruebas de resistencia al fuego, es importante conocer cuáles son todos los factores que dependerán de ello: el adhesivo utilizado entre las capas, el número de capas, la forma de las juntas, el método de protección utilizado y el tipo de exposición al fuego.

El Consejo de investigación Nacional de Canadá llevó a cabo un estudio experimental (*Full-scale fire resistance tests on cross-laminated timber*, 2013) de 8 ejemplares de paneles de madera contralaminada de distintos fabricantes de Canadá, para obtener clasificaciones de resistencia al fuego (capacidad portante en caso de incendio: criterio “R”). Las pruebas se realizaron en tres paneles verticales y cinco horizontales en unos hornos especiales, algunos paneles estaban protegidos por placas de yeso y otros totalmente expuesto. Los resultados de las pruebas fueron los siguientes:

Tabla 2.1. Resultado de las pruebas de resistencia al fuego de los paneles de madera contralaminada

| Número de capas | Espesor (mm) | Protección de placa de yeso | Carga (KN/m) | Carbonización (mm/min) | Tipo de fallo    | Resistencia al fuego (min) |
|-----------------|--------------|-----------------------------|--------------|------------------------|------------------|----------------------------|
| 3               | 114          | 2 x 12,7 mm                 | 333          | 0.41                   | Estructural      | 106                        |
| 5               | 175          | Desprotegido                | 333          | 0.65                   | Estructural      | 113                        |
| 5               | 105          | Desprotegido                | 72           | 0.80                   | Estructural      | 57                         |
| 3               | 114          | 2 x 12,7 mm                 | 2.7          | -                      | Ningún fallo (*) | 77                         |
| 5               | 175          | Desprotegido                | 11.8         | 0.64                   | Integridad       | 96                         |
| 3               | 105          | 1 x 15,9 mm                 | 2.4          | 0.60                   | Integridad       | 86                         |
| 5               | 175          | 1 x 15,9 mm                 | 8.1          | 0.75                   | Integridad       | 124                        |
| 7               | 245          | Desprotegido                | 14.6         | 0.65                   | Estructural      | 178                        |

(\*) No se alcanzó el límite porque la prueba se detuvo debido a preocupaciones de seguridad del equipo.  
(Fuente: *National Research Council Canada. Full-scale fire resistance tests on cross-laminated timber*, 2013)

Las pruebas muestran que los paneles de 3 capas adquieren una buena resistencia al fuego mediante el uso de revestimientos de placa de yeso, ya que sin ellos, sólo puede alcanzar una resistencia al fuego máxima de categoría R30.

Los paneles de 5 capas sin protección alcanzan en la mayoría de los casos la categoría R60 y puede llegar hasta R90 con el grosor adecuado, lo que permite realizar paneles con acabado visto con alta resistencia al fuego.

Como se puede observar, utilizando paneles con 7 capas sin ningún tipo de protección, se puede llegar a alcanzar resistencias al fuego de casi 3 horas.

Se puede concluir que los resultados de las pruebas de resistencia al fuego a gran escala, certifican la alta capacidad de carga de los paneles contralaminados, en comparación con los cerramientos típicos de construcciones no combustibles.

#### **2.2.4.2. Estabilidad sísmica**

Aunque los paneles de madera contralaminada puedan parecer un sistema estructural ligero, sus múltiples conexiones lo hacen un conjunto rígido y estable que resiste muy bien la carga lateral. Tiene un buen comportamiento dúctil y disipador de la energía (Continuing Education. *Cross Laminated Timber*, 2013).

Se han llevado a cabo numerosas pruebas sísmicas, una de las más importantes fue realizada por IVALSA (Instituto de Árboles y Madera de Italia) en Japón, en la mesa de sacudida más grande del mundo con un edificio de 7 plantas con estructura de paneles de madera contralaminada.



Figura 2.5. Pruebas de estabilidad sísmica de un edificio de paneles de madera contralaminada en la mesa de sacudida más grande del mundo (Japón). (Fuente: [http://construction.com/CE/CE\\_images/2013/Oct\\_reThink-Wood-American-Wood-Council-and-FPIinnovations-4.jpg](http://construction.com/CE/CE_images/2013/Oct_reThink-Wood-American-Wood-Council-and-FPIinnovations-4.jpg))

Después de someter al edificio a una simulación de terremoto grave (magnitud de 7,2 en la escala de Richter), la estructura no mostró ninguna deformación considerable al final de la prueba. La desviación máxima entre plantas fue de 40 mm y la deformación lateral máxima en la parte superior del edificio fue de tan solo 287 mm. El edificio sobrevivió a 14 eventos sísmicos consecutivos con casi ningún daño, lo que pone de manifiesto la elasticidad y a su vez la seguridad de los edificios contruidos con paneles de madera contralaminada (Continuing Education. *Cross Laminated Timber*, 2013).

#### **2.2.4.3. Insectos y hongos**

Los fabricantes se aseguran de que todos sus paneles sean sometidos a un control de calidad antes de ser utilizados. Para prevenir el ataque de insecto y hongos, la madera es sometida a un proceso de secado, conforme a la homologación técnica europea, para alcanzar una humedad del 12% (+/- 2%) (KLH. *Madera Contralaminada* 2013, p. 2).

#### **2.2.4.4. Humedad**

Según las indicaciones de los fabricantes (KLH. *Madera Contralaminada* 2013, p. 14), se deben evitar los cambios bruscos de temperatura en el ambiente interior tanto en la fase de montaje como al inicio del uso del edificio. Durante la fase de montaje, los paneles de madera contralaminada están sometidos a variaciones del clima debidas a los cambios de estaciones y a las condiciones de la obra. Tan pronto como se habilite el edificio, dependiendo de la humedad del aire en la edificación, la madera alcanza una humedad promedio del 8 al 11% aproximadamente.

La propiedad higroscópica de la madera es responsable de equilibrar la humedad ambiental y ayudar a conseguir un ambiente interior agradable, pero también hace que el volumen de la madera varíe dependiendo de la absorción o pérdida de humedad.

Se recomienda mantener una humedad del aire de alrededor de 40 – 60% en el edificio, para conservar la humedad de la madera en los paneles del 12%.



## 2.3. Ámbito de aplicación

---

Gracias a la libertad de diseño de los paneles de madera contralaminada, se pueden realizar ilimitadas combinaciones hasta formar la estructura que mejor se adecue al edificio que se está buscando. No todos los paneles tienen la misma función dentro del edificio, la gran mayoría trabajan como elementos sustentadores y arriostradores que reciben la carga de las plantas superiores, pero otros, sólo tienen la tarea de dividir estancias sin resistir cargas.

El diseño de la fachada de un edificio depende mucho del destino que vaya a tener, y aunque la estructura de estos edificios sea de madera, la fachada no tiene por qué tener un acabado de madera. La elección del acabado en este tipo de edificios es totalmente libre, y como se verá a continuación, se suelen revestir con acabados continuos que dan al edificio un aspecto convencional.

A continuación, se muestran una serie de edificios, en forma de ejemplos, contruidos o reformados con paneles de madera contralaminada y clasificados en función de destino: residencial, industrial, obra pública y rehabilitación.

### 2.3.1. Edificación residencial

A la hora de construir un edificio residencial es importante buscar un método que sea eficiente en coste y tiempo de ejecución, y los paneles contralaminados lo son. Como es un producto prefabricado, se ahorra mucho tiempo en el montaje lo que supone que la inversión de dinero en maquinaria y mano de obra sea menor. Al tratarse de una obra seca en la que se van montando y ensamblando los paneles, se ahorra tiempo que en una obra convencional haría falta para que el hormigón fraguase.

Los edificios residenciales que se muestran a continuación, son un emblema en la construcción con paneles de madera contralaminada, por la altura que han sido capaces de alcanzar con estructura exclusivamente de madera contralaminada.

## Forté

(Fuente: Forté. *Explore the world's tallest timber apartments*)



Fig. 2.6. Vista nordeste del edificio Forté  
(Fuente:<http://www.pisos.com/noticias/blogs/arquitectura/files/2013/04/Forte-esquina-nordeste-photo-by-Forte.jpg>)

**Tipo de edificio:** Residencial

**Localización:** Puerto Victoria de Melbourne (Australia)

**Constructora:** Lend Lease

**Proveedor principal:** KLH (Austria)

**Año:** 2012

**Número de plantas:** 10

**Tiempo de construcción:** 10 meses

**Observaciones:** Edificio de viviendas con estructura de madera más alto del mundo



Fig. 2.7. Vista noroeste del edificio Forté  
(Fuente:<http://www.pisos.com/noticias/blogs/arquitectura/files/2013/04/Forte-esquina-noroeste-photo-by-Forte.jpg>)



Fig. 2.8. Acabado interior de los apartamentos del edificio Forté  
(Fuente:[https://arqgea.files.wordpress.com/2013/07/2bed\\_01.jpg?w=300&h=195](https://arqgea.files.wordpress.com/2013/07/2bed_01.jpg?w=300&h=195))

Fig. 2.9. Forté en fase de estructura  
(Fuente:<https://arqgea.files.wordpress.com/2013/07/melbourne-marvel5.jpg?w=300&h=273>)

## Murray Grove

(Fuente: FPInnovations. *Cross Laminated Timber: a Primer*, 2010)



Fig. 2.10. Edificio Murray Grove totalmente construido  
(Fuente:<http://www.waughthistleton.com/project.php?name=murray>)

**Tipo de edificio:** Residencial  
**Localización:** Londres (Inglaterra)  
**Arquitecto:** Waugh Thistleton  
**Proveedor principal:** KLH (Austria)  
**Año:** 2009  
**Número de plantas:** 9  
**Superficie construida total:** 2.352 m<sup>2</sup>  
**Tiempo de construcción:** 6 meses  
**Observaciones:** Es el edificio más alto de Europa con paneles de madera contralaminada.



Fig. 2.11. Acabado interior del salón del Edificio Murray Grove  
(Fuente:<http://www.klhuk.com/media/2048/stadthaus08.jpg>)



Fig. 2.12. Acabado interior de la cocina del Edificio Murray Grove  
(Fuente:<http://www.klhuk.com/media/2054/stadthaus09.jpg>)

Fig. 2.13. Fase de estructura en la planta 4  
(Fuente:<http://www.klhuk.com/media/2024/stadthaus03.jpg>)



Fig. 2.14. Fase de estructura en la planta 7  
(Fuente:<http://www.klhuk.com/media/2030/stadthaus04.jpg>)



## Edificio Cavallers

(Fuente: Cases; Pallàs, 2014, p. 56-62)



Fig. 2.15. Edificio Cavallers estructura hasta planta 4  
(Fuente:<https://lh4.googleusercontent.com/-dhH4J5wDTXs/UW5Wj1Ma5VI/AAAAAAAAAHw/3ZtOb5Humns/w601-h801-no/P1100052.JPG>)



Fig. 2.17. Vista interior de los cerramientos del edificio Cavallers  
(Fuente:[https://lh3.googleusercontent.com/-q5x1aRlzZzw/UX\\_xWNFumbI/AAAAAAAIIs/Yv6HIJcJe/w927-h696-no/P1150918.JPG](https://lh3.googleusercontent.com/-q5x1aRlzZzw/UX_xWNFumbI/AAAAAAAIIs/Yv6HIJcJe/w927-h696-no/P1150918.JPG))

Fig. 2.16. Edificio Cavallers en fase de estructura (Fuente: [https://lh4.googleusercontent.com/--yRSTrRQHo/VAI4X\\_P8y3I/AAAAAAAAAgo/b4U0VPu59HU/w494-h371-no/a3.jpg](https://lh4.googleusercontent.com/--yRSTrRQHo/VAI4X_P8y3I/AAAAAAAAAgo/b4U0VPu59HU/w494-h371-no/a3.jpg))



**Tipo de edificio:** Residencial  
**Localización:** Lérida (Cataluña)  
**Arquitecto:** Ramón Llobera Serentill  
**Proveedor principal:** KLH (Austria)  
**Año:** 2013  
**Número de plantas:** 6  
**Superficie construida total:** 1.000 m<sup>2</sup>  
**Tiempo de construcción:** 6 meses  
**Observaciones:** Edificio más alto de España con paneles de madera contralaminada



Fig. 2.18. Acabado interior de las viviendas. (Fuente: <https://lh3.googleusercontent.com/-bq0RQepNIGE/VAI58RiXYfI/AAAAAAAmw/x7vOBYwNWlC/w927-h696-no/3.jpg>)

### 2.3.2. Construcciones industriales

El tamaño de las construcciones industriales depende fundamentalmente de su uso, y suelen ser edificios de gran tamaño en los que los paneles de madera contralaminada se combinan con otros productos de madera y acero. En este tipo de edificios es de gran importancia tener en cuenta factores como la resistencia a los agentes químicos o la resistencia al fuego.

#### Almacén de la empresa KLH Massivholz GmbH



**Tipo de edificio:** Industrial

**Localización:** Katsch an der Mur (Austria)

**Proveedor principal:** KLH (Austria)

Fig. 2.19. Montaje de los paneles en el almacén de la empresa KLH (Fuente: <http://www.klh.at/typo3temp/pics/286f99b266.jpg>)



Fig. 2.20. Almacén de la empresa KLH sin revestimiento exterior (Fuente: <http://www.klh.at/typo3temp/pics/a1333214f9.jpg>)



Fig. 2.21. Almacén de la empresa KLH totalmente terminado (Fuente: <http://www.klh.at/typo3temp/pics/faac6cc1d7.jpg>)

### 2.3.3. Obras públicas

En las obras públicas se suele valorar la estética de los paneles de madera contralaminada, ya que hacen al edificio diferente al resto, convirtiéndolo en emblemático.

## BMW Alpenhotel Ammerwald

(Fuente: Merz Kley Partner. *BMW Alpenhotel Ammerwald*)

**Tipo de edificio:** Hotel

**Localización:** Reutte

(Austria)

**Arquitecto:** Kaufmann Rűf

**Proveedor principal:** KLH

(Austria)

**Año:** 2009

**Número de plantas:** 5

**Observaciones:** Premio

International Architecture

Awards 2012



Fig. 2.22. Hotel BMW en Austria (Fuente: <http://www.klh.at/typo3temp/pics/7477e000fc.jpg>)



Fig. 2.23. Acabado interior de las habitaciones del hotel BMW (Fuente: <http://www.klh.at/typo3temp/pics/565f30103f.jpg>)

## Ayuntamiento de Izkaltegieta

(Fuente: Egoín. *Características y oportunidades que ofrece el tablero contralaminado en la construcción. Impresiones de un arquitecto.*)



Fig. 2.24. Ayuntamiento de Izkaltegieta totalmente terminado (Fuente: [http://www.egoín.com/galeria\\_fotos/galeria-obras-singulares-ikaztegieta.php](http://www.egoín.com/galeria_fotos/galeria-obras-singulares-ikaztegieta.php))

**Tipo de edificio:** Municipal

**Localización:** Izkaltegieta (Guipúzcoa)

**Arquitecto:** Astazaldi Arkitektura

**Proveedor principal:** Egoín (España)

**Año:** 2009

**Superficie construida:** 850 m<sup>2</sup>

**Tiempo de construcción:** 3 meses



Fig. 2.25. Ayuntamiento de Izkaltegieta en fase de estructura (Fuente: [http://www.egoín.com/galeria\\_fotos/galeria-obras-singulares-ikaztegieta.php](http://www.egoín.com/galeria_fotos/galeria-obras-singulares-ikaztegieta.php))

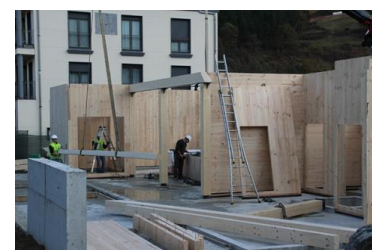


Fig. 2.26. Montaje de paneles de planta baja (Fuente: [http://www.egoín.com/galeria\\_fotos/galeria-obras-singulares-ikaztegieta.php](http://www.egoín.com/galeria_fotos/galeria-obras-singulares-ikaztegieta.php))



### 2.3.4. Rehabilitación

Para llevar a cabo la rehabilitación de un edificio en el que se tiene que intervenir en su estructura pero manteniendo los elementos de la fachada, los paneles de madera contralaminada son un excelente elección por su gran trabajabilidad, gran solidez estructural, ligereza y tiempo de ejecución corto.

#### Posada Real (Fuente: Blog de KLIMARK, 2013)

**Tipo de edificio:** Hotel rural

**Localización:** Riahuellas (Segovia)

**Director de obra:** Manuel García Barbero

**Proveedor principal:** Stora Enso (Finlandia)

**Año:** 2013

**Número de plantas:** 3

**Superficie construida total:** 600 m<sup>2</sup>

**Observaciones:** Rehabilitación de ruina del siglo XVIII para su conversión en un hotel rural



Fig. 2.28. Montaje de particiones y cerramientos con paneles en obra de rehabilitación (Fuente: [http://2.bp.blogspot.com/-eTO6cSKBmPA/UUhF9IQbvAI/AAAAAAAAALA/2sKo44Xg3As/s1600/20130320\\_rehb+riahuellas+BG\\_12.jpg](http://2.bp.blogspot.com/-eTO6cSKBmPA/UUhF9IQbvAI/AAAAAAAAALA/2sKo44Xg3As/s1600/20130320_rehb+riahuellas+BG_12.jpg))



Fig. 2.27. Montaje de paneles de forjado en obra de rehabilitación (Fuente: [http://3.bp.blogspot.com/-JaPq7FA5blo/UUhF-OfGRTI/AAAAAAAAALU/NAUCsZNOdfI/s1600/20130320\\_rehb+riahuellas+BG\\_14.jpg](http://3.bp.blogspot.com/-JaPq7FA5blo/UUhF-OfGRTI/AAAAAAAAALU/NAUCsZNOdfI/s1600/20130320_rehb+riahuellas+BG_14.jpg))

#### Teatro Éphémère (Fuente: Blog de KLH. *El teatro flexible*, 2013)

**Tipo de edificio:** Teatro

**Localización:** Le Mans (Francia)

**Año de reforma:** 2012

**Nº de plantas:** 1 (10 m de altura)



Fig. 2.29. Teatro Éphémère en remodelación (Fuente: <http://www.klh.at/typo3temp/pics/9735ef3ceb.jpg>)

**Arquitecto:** Alain-Charles y Florent Richard

**Proveedor principal:** KLH (Austria)

**Superficie reformada:** 1000 m<sup>2</sup>

**Tiempo de reforma:** 4 meses



Fig. 2.30. Ampliación del teatro Éphémère con paneles KLH (Fuente: <http://www.klh.at/typo3temp/pics/a6dd221f5d.jpg>)

## 2.4. Normativa y autorizaciones técnicas

---

El uso de la madera como material estructural está en igualdad de condiciones que el hormigón y el acero desde que en 2009, entrase en vigor la normativa regulada por el Código Técnico de la Edificación en el DB SE-M (Ministerio de Fomento. *Documento Básico sobre Seguridad Estructural: Madera*, 2009), basado en el Eurocódigo 5.

A nivel europeo, se verifica la utilización de los paneles de madera contralaminada mediante la norma UNE-EN 386 (Aenor. *Madera laminada encolada*, 2012), que desarrolla las especificaciones y requisitos de fabricación de la madera contralaminada.

Para los fabricantes de paneles de madera contralaminada es fundamental diferenciarse del resto por la calidad de sus productos, para ello buscan desarrollar técnicamente sus productos y gestionar los trabajos de la mejor forma posible.

Dependiendo del país del que procedan los paneles, habrá algunas diferencias entre el tipo de certificados que tengan. Para este trabajo se han estudiado los certificados de los que dispone la empresa Egoín S.A., que es la más importante en fabricación de paneles contralaminados en el ámbito nacional.

El Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITeC) junto con la Organización Europea para la Aprobación Técnica, ha certificado con el marcado CE número 1120-CPD-1112, los paneles contralaminados como elemento estructural en la edificación (Egoín. *Certificaciones y homologaciones*, 2012).

También posee cinco sellos de conformidad otorgados por la Asociación de Investigación de las Industrias de la Madera (AITIM) en los que se reconoce el método de fabricación de sus productos y el montaje de las estructuras.

Además, la madera laminada encolada tiene un certificado de conformidad CE, de acuerdo a la norma UNE-EN 14080:2006, concedido por el organismo de certificación AENOR.



Por último, destacar los Sistemas de Certificación Forestal (PEFC) que autentifican que la madera utilizada procede de bosques que se han gestionado de forma sostenible, demostrando el compromiso con el medioambiente a la hora de utilizar la madera como material de construcción. (Egoín. *Certificaciones y homologaciones*, 2012)

| Sello   | Organismo  | Aplicado a  |
|---|--|---|
|    | ITeC (Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña)      | Panel de tabla de madera maciza como elemento estructural de edificación  |
|    | AENOR  | Madera laminada encolada  |
|  | AITIM (Asociación de Investigación de las Industrias de la Madera) | <p>Fabricación de paneles estructurales contralaminados</p> <p>Fabricación de estructuras de madera encolada</p> <p>Certificado de ingeniería y montaje de estructuras de madera</p> <p>Fabricación de madera empalmada estructural</p> <p>Fabricación de dúos y tríos de madera encolada</p> |
|  | Sistemas de Certificación Forestal (PEFC)                          | Gestión sostenible de los bosques   |
|  | AENOR  | Procesos de trabajo, seguridad laboral y prevención de riesgos  |

Fig. 2.31 - 2.36. Sellos de certificación y homologación (Fuente: <http://www.panelesclt.com/certificaciones-clt.html>; <http://www.lattommi.sk/drevostavby/index.php?m=3&sm=1&smt=8&jazyk=sk>)

## CAPÍTULO III: SOSTENIBILIDAD

Este capítulo juega un papel fundamental en el proyecto, ya que es muy importante entender dos aspectos como; el impacto medioambiental de la construcción y la silvicultura sostenible, para comprender los beneficios de la madera contralaminada.

En el primer punto se explica de qué se trata el cambio climático, sus consecuencias, soluciones y las medidas para llevar a cabo una explotación forestal de forma sostenible. Y en el segundo apartado, se explica cómo contribuye la utilización de la madera a proteger nuestro clima.

### 3.1. Protección del clima

---

En los últimos años el interés por saber cómo proteger nuestro clima se ha visto en aumento debido a que cada vez ha sido más notable el cambio climático que supone el calentamiento global de nuestro planeta. Ante la posibilidad de poder reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera simplemente utilizando madera en la construcción, ha sido necesario incluir este capítulo en el que se explican aspectos referentes a la protección de nuestro clima y la sostenibilidad de la madera.

#### 3.1.1. Cambio climático

La organización WWF, de conservación por la naturaleza, asegura que el cambio climático está provocado por un incremento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y que ocasiona que un mayor porcentaje de los rayos del sol queden “atrapados” en la misma produciendo así una subida de la temperatura a nivel global. El ser humano es el responsable del aumento de temperatura y debe de buscar alternativas que reduzcan las inmensas cantidades de dióxido de carbono que se expulsa como consecuencia de la quema de combustibles fósiles utilizados para producir energía y transporte (WWF. *El origen del cambio climático*).

### 3.1.2. Consecuencias del cambio climático

Según el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF son sus siglas en inglés), el cambio climático avanza a una velocidad e intensidad más alta de la prevista, lo que provoca una serie de fenómenos climáticos (WWF. *El origen del cambio climático*):

- Calentamiento global de la Tierra
- Mayor nivel de evaporación y de precipitación
- Aumento del nivel del mar
- Derretimiento de los glaciares y placas de hielo
- Aumento de la frecuencia e intensidad de ciertos fenómenos climáticos extremos

### 3.1.3. Efecto invernadero natural y antropogénico

Los gases con efecto invernadero de la atmósfera son los que hacen posible la vida en la Tierra, sin el efecto invernadero, la Tierra tendría una temperatura media de  $-18^{\circ}\text{C}$  (KLH. *Medio ambiente y sostenibilidad* 2013, p. 4).

Los gases naturales con efecto invernadero que hay en la atmósfera son responsables de que la superficie de la Tierra se caliente de  $-18^{\circ}\text{C}$  a  $+15^{\circ}\text{C}$ . Ese calentamiento de  $33^{\circ}\text{C}$  se denomina “efecto invernadero natural”. Los gases traza dejan pasar los rayos solares de onda corta y absorben simultáneamente la radiación térmica de onda larga reflejada por la Tierra.

Cuando se habla del efecto invernadero y de sus consecuencias negativas, se refiere esencialmente al efecto invernadero antropogénico del que parcialmente es el propio ser humano responsable. El aumento no natural de la concentración de gases con efecto invernadero, especialmente la concentración de  $\text{CO}_2$ , se debe, entre otras cosas, a la combustión de fuentes energéticas fósiles, a la intensificación de la utilización del suelo así como a la deforestación de las selvas tropicales.

Entre los gases con efecto invernadero liberados por el ser humano están, además del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el gas hilarante (N<sub>2</sub>O), también los clorofluorocarburos (CFC) y el ozono a ras de suelo por nombrar sólo los más importantes (KLH. *Medio ambiente y sostenibilidad* 2013, p. 4).

#### **3.1.4. Medidas para proteger el clima**

La protección del clima se ha convertido en una tarea fundamental a la hora de reducir el cambio climático, que tiene como referencia los estudios científicos y que comenzó con una conferencia de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 1992.

Teniendo en cuenta la situación global del medio ambiente, en Río de Janeiro se celebró la mayor conferencia de las naciones Unidas (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), para desarrollar un plan de acciones de política medioambiental y desarrollo sostenible para el siglo XXI (KLH. *Medio ambiente y sostenibilidad* 2013, p. 7).

Estas medidas sirvieron de base para que en 1997, se celebrase otra conferencia donde se aprobó el Protocolo de Kioto, que fija unos compromisos obligatorios sobre la emisión de gases antropogénicos con efecto invernadero en los estados industrializados.

La protección del clima incluye medidas para actuar contra el calentamiento global y también para reducir las consecuencias, porque según los expertos, ya es poco probable que pueda evitarse. Además de una política climática intencional adecuada, la protección del clima también comprende los siguientes puntos (KLH. *Medio ambiente y sostenibilidad* 2013, p. 11):

- El aumento de la eficacia energética de centrales eléctricas y plantas de producción de los países fuera de la UE no tienen el estándar actual de la técnica
- La reducción del volumen global de transportes
- El aprovechamiento de energías renovables que en caso ideal sean CO<sub>2</sub> neutras para reducir el uso de combustibles fósiles

- Medidas para el ahorro de energía y aumento de la eficacia de la energía utilizada
- Conservación de la diversidad biológica
- Una explotación sostenible de los recursos naturales
- Utilización de materias primas regenerativas en el sector de la construcción

## 3.2. Explotación forestal sostenible

---

Los 192 estados miembros de la ONU se han pronunciado en contra de la deforestación de las selvas tropicales y están de acuerdo en ampliar las zonas de protección y reforzar la explotación forestal sostenible en todas las direcciones (KLH. *Medio ambiente y sostenibilidad* 2013, p. 7).

Según estimaciones del Banco Mundial, la subsistencia de más de 1.600 millones de personas de todo el mundo depende del aprovechamiento del bosque. El comercio internacional de productos del bosque, forestales y de madera llega a una magnitud de 270.000 millones de dólares.

Según datos de la FAO, en los bosques y suelos de los bosques de todo el mundo hay almacenadas más de 1 billón de toneladas de carbono que equivalen al doble de las que hay en la atmósfera.

Más del 80% de los bosques europeos ya está sometido a los criterios de explotación forestal desarrollados en la Conferencia sobre el Medio Ambiente en Río de Janeiro (1992). El organismo oficial para la explotación sostenible y la protección del bosque es la Conferencia Ministerial sobre Protección de Bosques de Europa (CMPBE) que es una cooperación fundada en 1990 y con sede en Noruega a la que pertenecen 46 países europeos con el objetivo de tratar las cuestiones políticas y sociales más urgentes sobre la sostenibilidad (KLH. *Medio ambiente y sostenibilidad* 2013, p. 15).

La certificación de los bosques se ha impuesto con relativa rapidez en Europa posiblemente debido a que ya en 1992 pudo partirse de un alto estándar en la explotación forestal. El 35% de los bosques certificados en todo el mundo están en Europa, aproximadamente el 92% de ellos están en los países miembros de la UE (KLH. *Medio ambiente y sostenibilidad* 2013, p. 16).

La certificación europea de bosques se basa esencialmente en dos iniciativas: por un lado en el “Programa de reconocimiento de Sistemas de Certificación Forestal”(PEFC), que se desarrolló originalmente para la estructura forestal predominante en Europa y, por otro lado, en el “Consejo de Administración Forestal”(FSC) que cooperaba con el WWF.



Fig. 3.1. Sellos de certificación de los bosques; PEFC y FSC (Fuente:<http://www.british-thornton.co.uk/News-Archive/fsc-and-pefc-accredited>)

La importancia del calentamiento global hace que a la hora de vender un producto procedente de explotación sostenible se exija un comprobante. Especialmente, por parte de las autoridades, contratistas públicos y normas de adjudicación que buscan dar una imagen en el mercado de conciencia medioambiental.

Los organismos de certificación son independientes y comprueban que la materia prima proviene de bosques explotados de forma sostenible, así como el funcionamiento de un sistema de control instalado en la empresa tanto en el marco de la certificación PEFC como para el certificado FSC.

### 3.3. Evaluación ecológica de la madera

Hay dos principios esenciales relacionados con la protección del clima; uno es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y el otro el ampliar los sumideros de carbono.

Teniendo en cuenta que el 30% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> y el 40% del consumo global de recursos proceden de la industria de la construcción, cabe destacar el hecho de que por cada metro cúbico que se construye con madera, en sustitución de otro material, de media supone un ahorro de 1,1 toneladas de emisión de CO<sub>2</sub>. Si a eso se le añade que en un metro cúbico de madera se pueden almacenar 0,9 toneladas de CO<sub>2</sub> gracias a la fotosíntesis, entonces el ahorro es de 2 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada metro cúbico de madera usado en la construcción. (La reducción de CO<sub>2</sub> utilizando madera está contemplada en el Art. 3.4. del Protocolo de Kioto) (KLH. *Medio ambiente y sostenibilidad* 2013, p. 19).

El estudio (Schnabel, 2002) de un complejo de 36 viviendas construidas en madera con una vida útil de 75 años, ha dado como resultado que en su construcción se fijan entre 500 y 700 toneladas de CO<sub>2</sub>, dependiendo de la forma constructiva (ver Figura 3.2) (KLH. *Medio ambiente y sostenibilidad* 2013, p. 24).

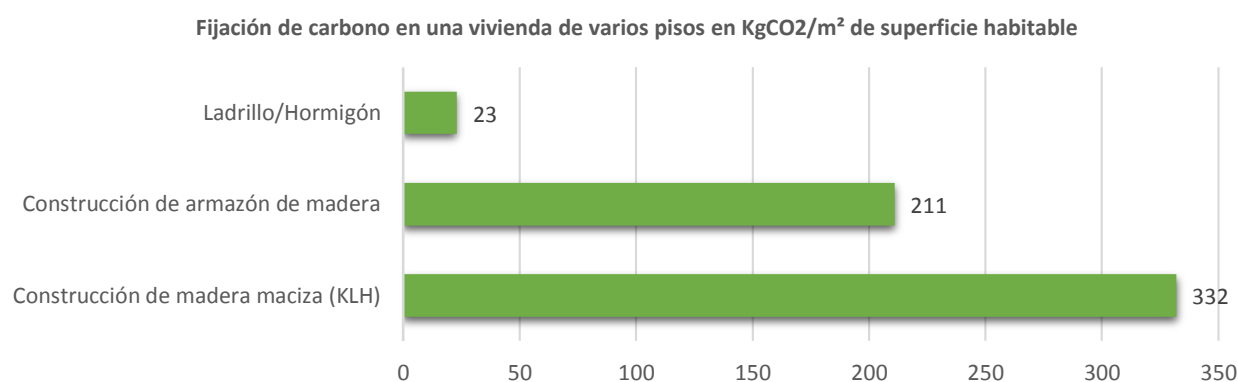


Fig. 3.2. Fijación de carbono de una vivienda de varios pisos (Fuente: pro Holz Austria, Arbeitsheft/Booklet 3/03)



## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS COMPARATIVO

El propósito de este capítulo es comparar el impacto medioambiental y el consumo de energía a lo largo de la vida de un edificio, que se ha construido mediante dos métodos distintos.

Uno de ellos, es un sistema de construcción modular de paneles de madera contralaminada. Es una forma de construir poco conocida, pero que se está abriendo paso en la industria de la construcción gracias a sus propiedades ecológicas.

El otro método, es el sistema de construcción utilizado de forma convencional en España. Es el método constructivo más utilizado durante los últimos años y el más representativo de la tipología edificatoria residencial en España.

La metodología elegida para estudiar el impacto medioambiental y el consumo de energía en cada una de las fases de los edificios es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Gracias a esta forma de estudio, se podrá determinar qué sistema constructivo es más eficiente en cada una de las fases de la vida del edificio.

También se tendrá en cuenta las repercusiones económicas de construir el edificio de forma convencional y con paneles contralaminados. Este apartado no forma parte del ciclo de vida del edificio, pero es importante determinar qué método es más rentable porque se trata de un factor determinante a la hora de elegir un sistema constructivo.

Las conclusiones obtenidas tras el análisis de cada una de las fases del ACV y del resultado global del edificio, determinarán cuál de los dos métodos constructivos es más eficiente ecológicamente.

Pero para poder llevar a cabo la comparativa de los dos métodos de construcción, es necesario compararlos respecto a un mismo edificio para que el resultado no se vea afectado por otros factores que no sean los materiales. Para ello, se han creado de forma virtual dos edificios con las mismas dimensiones, pero con materiales de construcción distintos. A continuación se describen las principales características de cada modelo.

## Planteamiento del edificio modelo

El edificio modelo se ha creado de forma virtual para que se pueda adaptar a las dos tipologías constructivas (paneles de madera contralaminada y construcción convencional) y los resultados obtenidos dependan exclusivamente del método de construcción.

Dado que no existe un mismo edificio construido de dos formas distintas, es necesario referenciar los dos métodos de construcción a un modelo con el que definir dos edificios muy similares en cuanto a dimensiones, pero con materiales diferentes.

Las maquetas virtuales de los edificios se han diseñado con el software de arquitectura Revit. Se ha utilizado este programa porque permite calcular las superficies y volúmenes de los materiales que componen el edificio con total precisión.

Dado que no hay muchos edificios construidos con paneles de madera contralaminada, el edificio modelo utiliza como referencia un edificio residencial de 6 plantas construido por el arquitecto Ramón Llobera Serentill. Está situado en Lérida y se trata del edificio con estructura de madera más alto de España. Se construyó en el año 2013 y la obra duró tan solo 6 meses.



Fig. 4.1. Edificio de paneles de madera contralaminada diseñado por el arquitecto Ramón Llobera  
(Fuente:<https://lh3.googleusercontent.com/-VFniKVizOF8/VAl4Y-rPBHI/AAAAAAAAAg4/KNh6h8gvId0/w638-h422-no/a5.jpg>)

La estructura del edificio modelo es muy similar al edificio construido en Lérida, porque aunque se trate de un modelo virtual, para que el resultado sea lo más real posible, tiene que cumplir con las necesidades estructurales de un edificio de 6 plantas.

Se han utilizado los planos de estructura del edificio de Ramón Llobera como referencia para el diseño de los paneles contralaminados en el edificio modelo (Fuente de los planos: Llobera, 2013).

La estructura portante del edificio modelo de madera contralaminada está comprendida principalmente por los paneles utilizados en los muros perimetrales y el núcleo de comunicación vertical. Se combina la rigidez del núcleo del ascensor con los muros perimetrales a través de los forjados de madera contralaminada. Además, los forjados cuentan con dos apoyos lineales que mejoran la estabilidad con perfiles de acero anclados a los muros perimetrales (ver Figura 4.5). El arranque de la estructura se realiza con la unión de los paneles de planta baja a la losa de hormigón que conforma la cimentación del edificio.

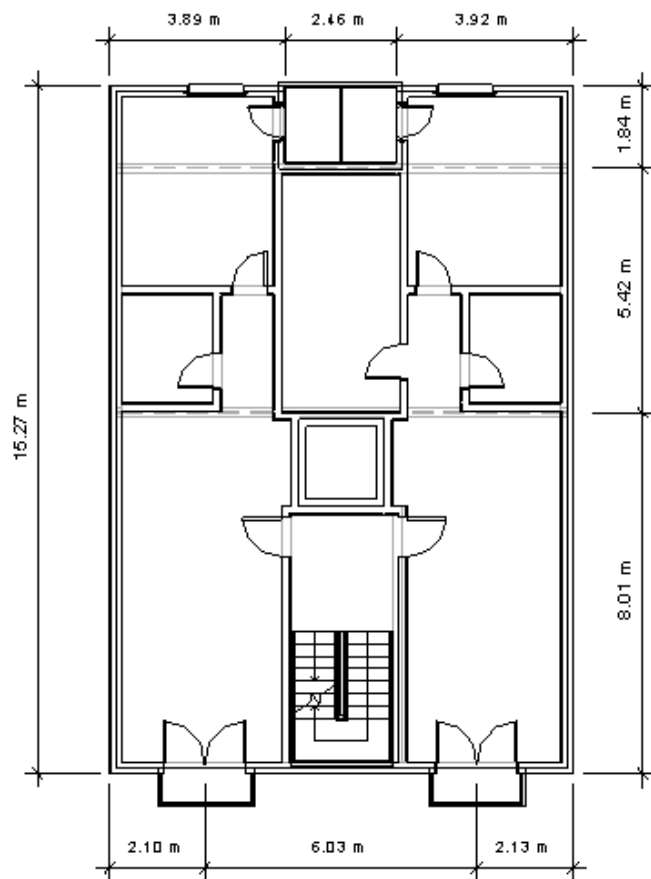


Fig. 4.2. Plano de planta tipo del edificio de paneles de madera contralaminada (Fuente: elaboración propia)

Se considera que, al igual que el edificio del arquitecto Ramón Llobera, los paneles contralaminados son fabricados y transportados por la empresa KLH Massivholz. Esta empresa está situada en Austria y es una de las más importantes a nivel mundial en la fabricación de paneles de madera contralaminada.

También se han tenido en cuenta los materiales utilizados en los acabados del edificio de Lérida, a la hora asignar los elementos de construcción no estructurales al edificio modelo de paneles contralaminados. Además, se ha hecho uso de las recomendaciones de los fabricantes de paneles contralaminados, en cuanto a la combinación de los acabados con los paneles (KLH. *Catálogo de elementos de construcción de pisos y apartamentos*, 2012).

La lista de todos los materiales que forman el edificio modelo de paneles de madera contralaminada está disponible en el *Anejo nº1: Materiales del modelo de edificio de madera contralaminada*.

A continuación se muestra una vista en 3D de la fachada principal del edificio modelo de madera contralaminada (izquierda) y una sección vertical en la que se aprecia la estructura del edificio (derecha).

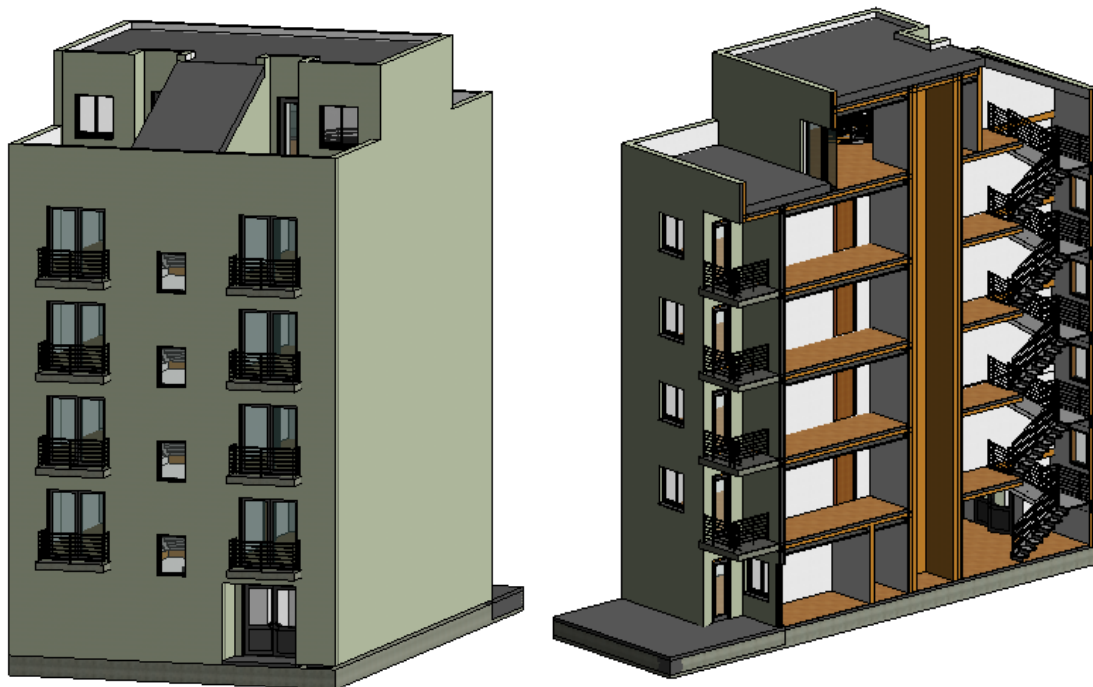


Fig. 4.3. Modelo 3D del edificio de paneles de madera contralaminada (Fuente: elaboración propia)

En el caso del edificio modelo de materiales convencionales, se ha tomado como base el anterior modelo de paneles contralaminados y se ha adaptado a una estructura convencional de hormigón armado. Aunque los materiales de construcción cambian a los representativos de una construcción convencional, el diseño del edificio es similar al anterior.

La estructura del edificio modelo convencional toma como referencia la tipología constructiva de los edificios residenciales estándar en España. Para el diseño de la estructura del edificio modelo de construcción convencional, se ha utilizado como referencia el proyecto de ejecución de un edificio de 5 plantas de altura más ático situado en Guardamar del Segura (Alicante). Este proyecto de ejecución se asemeja bastante al edificio de madera contralaminada en cuanto a la forma del edificio y cumple con las características de una construcción convencional (Fuente del proyecto: Arq. Pascual Saura, 2008).

La estructura del edificio modelo convencional consta principalmente de pórticos de pilares de sección rectangular y forjados reticulares de hormigón (ver Figura 4.4). La distribución de los pilares se ha adaptado a la forma del modelo para cumplir con las exigencias de estabilidad del edificio. La cimentación es una losa de hormigón armado similar al modelo de paneles contralaminados.

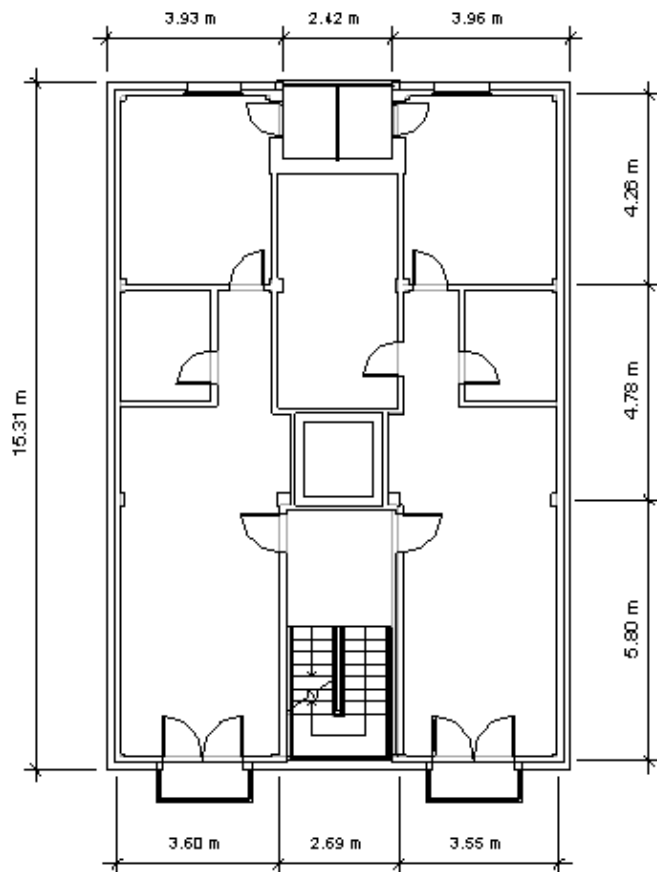


Fig. 4.4. Plano de planta tipo del edificio convencional (Fuente: elaboración propia)

Los materiales constructivos que forman la envolvente del edificio modelo, son similares a los utilizados en el edificio del Guardamar del Segura.

Todos los materiales están dentro del estándar edificatorio convencional, que se caracteriza por utilizar cerramientos de fachada de doble hoja, particiones cerámicas, carpintería exterior de aluminio, cubierta plana invertida, etc. Los acabados del edificio modelo son como los que se emplean normalmente en las edificaciones construidas con la metodología convencional.

La lista de todos los materiales que forman el edificio modelo construido con las técnicas y materiales convencionales está disponible en el *Anejo nº2: Materiales del modelo de edificación convencional*.

La siguiente imagen se trata de una vista en 3D de la fachada principal con la medianera seccionada (izquierda) y de la fachada posterior (derecha) del modelo del edificio convencional.



Fig. 4.5. Modelo 3D del edificio construido con materiales y técnicas convencionales (Fuente: elaboración propia)

Para poder calcular el impacto medioambiental y el consumo de energía en algunas fases del ciclo de vida del edificio, es necesario conocer la situación de modelo. Para ello, se ha considerado que los dos edificios se construyen en la ciudad de Alicante.

## Análisis del ciclo de vida

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una técnica utilizada para evaluar los aspectos medioambientales y los potenciales impactos de un producto. Se analizan cada una de las etapas de la vida del producto, desde la extracción de las materias primas hasta el uso final del producto y el tratamiento de los desechos derivados. Gracias a ello, se puede calcular el impacto medioambiental y el consumo de energía en cada etapa de la vida del producto.

El ACV puede aplicarse tanto en productos como en soluciones constructivas o edificios. Una de las principales características de las etapas de la vida de un edificio es que están interrelacionadas. Lo que significa que el impacto en una de las etapas, condiciona a las siguientes etapas.

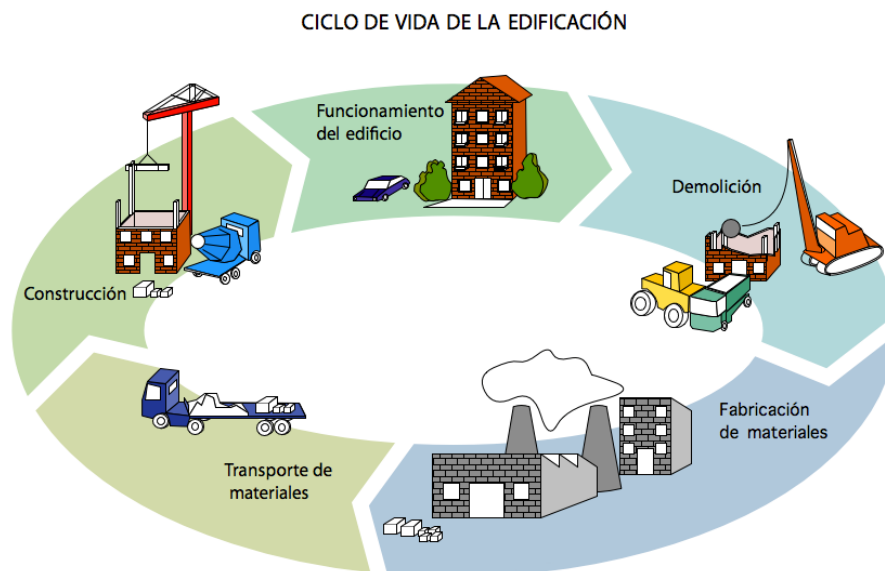


Fig. 4.6. Ciclo de vida de la edificación  
 (Fuente:[http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/images/08/01Ciclo\\_edificaci%C3%B3n.png](http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/images/08/01Ciclo_edificaci%C3%B3n.png))

Según la Comisión Europea, se trata de la metodología de análisis ambiental más completa y más utilizada para los productos de construcción. Permite estudiar de forma continuada cada una de las etapas de la vida de un edificio: diseño, construcción, uso, mantenimiento y disposición final del edificio. (Ecohabitar, 2014).

Gracias a esta metodología, se puede comparar el consumo de recursos energéticos, hídricos y naturales, así como las emisiones que se desprenden y los residuos que se generan en cada uno de los procesos constructivos.

La Organización Internacional para la Estandarización (ISO son sus siglas en inglés) es el organismo que ha desarrollado la estandarización de esta metodología a través de las normas ISO 14040:2006 (*Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia*) e ISO 14044:2006 (*Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices*) (Aenor. Gestión ambiental, 2006).

Actualmente, se está desarrollando un estándar metodológico de ACV exclusivo para edificios "Sustainability of construction works" por el Comité Técnico 350 del Comité Europeo de Normalización (CEN/TC 350). Según este estándar, el sistema debe incluir estas cuatro etapas del edificio: producción, construcción, uso y disposición final (Ecohabitar, 2014).

El conjunto de etapas en el que se divide en análisis del ciclo de vida de los dos edificios modelo (paneles contralaminados y construcción convencional), se basa en las etapas declaradas por el Comité Europeo (EN 15643 del CEN/TC 350). En la Tabla 4.1, se ha desarrollado un escenario con cada uno de los apartados que se han tenido en cuenta, en el análisis comparativo de los dos métodos constructivos. También se incluye, la metodología utilizada para determinar qué sistema es más eficiente en cada etapa.



Tabla 4.1. Etapas del ciclo de vida de un edificio

| Etapa                          | Elementos incluidos  |
|--------------------------------|--|
| Producción del edificio        | Suministro de materia prima<br><i>Cálculo: Análisis de estudios y estadística</i>        |
|                                | Producción<br><i>Cálculo: Base de datos del banco BEDEC</i>                              |
| Construcción del edificio      | Transporte<br><i>Cálculo: Base de datos del banco BEDEC</i>                              |
|                                | Instalación en el edificio<br><i>Cálculo: Base de datos del banco BEDEC</i>              |
| Uso del edificio               | Operación del edificio<br><i>Cálculo: Análisis de estudios y estadística</i>             |
|                                | Mantenimiento y reparación<br><i>Cálculo: Análisis de estudios y estadística</i>         |
| Disposición final del edificio | Demolición<br><i>Cálculo: Base de datos del banco BEDEC</i>                              |
|                                | Valorización y gestión de residuos<br><i>Cálculo: Análisis de estudios y estadística</i> |
| Repercusión económica *        | Coste<br><i>Cálculo: Análisis de estudios y estadística</i>                              |

(\*) El apartado de repercusión económica no forma parte del ACV pero se ha incluido en la comparativa de los dos sistemas constructivos

(Fuente: Ecohabitar, 2014)

## 4.1. Suministro de materia prima

---

El primer paso en la etapa de producción de un edificio es la obtención de las materias primas que componen cada uno de los materiales constructivos.

Todos los materiales de construcción están formados por materias primas extraídas previamente del ecosistema. Estas materias primas, como por ejemplo: el hierro, la arcilla, la madera y el petróleo, son procesadas utilizando distintos métodos hasta obtener los materiales de construcción deseados: el acero, la cerámica, el cemento y los plásticos (Crawford 2011, p. 16).

En la Unión Europea, el sector de la construcción supone un consumo del 40% de los materiales totales (Elías 2012, p. 431). El consumo a gran escala de las materias primas, puede llevar al agotamiento de algunos materiales considerados como poco abundantes en la corteza terrestre. Por ello, hay que encontrar alternativas al suministro de los materiales de construcción convencionales. La solución está en utilizar materiales abundantes en el ecosistema y procedentes de recursos renovables, como por ejemplo la madera.

A la hora de estudiar el suministro de materiales para un edificio con estructura convencional, el hormigón es el principal material a tener en cuenta. Es un material compuesto formado por cemento, grava, agua, aditivos y adiciones.

En los últimos años, el consumo de áridos en España se ha multiplicado sustancialmente. Según un estudio realizado por ANEFA (Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos), en el año 2005, el consumo de áridos en España llegó a 460,3 toneladas. El consumo de árido para la construcción per cápita es de casi once toneladas al año, por encima de la media europea, que son alrededor de siete toneladas por habitante y año (Elías 2012, p. 431).

La extracción de materias primas de la tierra no solo supone el agotamiento de estas fuentes naturales, también hay que tener en cuenta el uso que se hace de la energía y el agua, así como las emisiones de agentes contaminantes al medio ambiente.

La extracción de materias primas para fabricar acero y cemento se realiza a través de cantera o explotación minera. El impacto ambiental de la minería, ya sea por extracción superficial o subterránea, supone un grave daño a la corteza terrestre. Los principales riesgos que supone son: erosión de las tierras agrícolas, pérdida de biodiversidad, removimiento de la tierra, contaminación de polvo y ruido, contaminación del suelo y aguas superficiales y alto riesgo de contaminación química de las aguas freáticas (Greenpeace, 2010).

La explotación minera supone un grave impacto para el hábitat, porque el daño que causa al terreno es irreparable. Sin embargo, aunque la explotación forestal también supone la alteración de nuestro ecosistema, se puede llevar a cabo de forma sostenible.

La deforestación supone la eliminación de los árboles de una zona si se realiza de forma poco responsable y con unas leyes medioambientales deficientes, pero si se establecen unas directivas y programas sobre la explotación sostenible y protección del bosque (ver apartado 3.2. *Explotación forestal sostenible*) se pueden alcanzar unas prácticas de silvicultura sostenible como la regeneración de la cosecha.

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO son sus siglas en inglés), los recursos forestales mundiales ascienden a un total de 3.952 millones de hectáreas y equivalen al 31 % de la superficie rural mundial. La distribución por continentes indica que el 47% de los recursos forestales mundiales están en 5 países; Rusia, Brasil, Canadá, Estados Unidos y China (FAO 2006, p. 13).

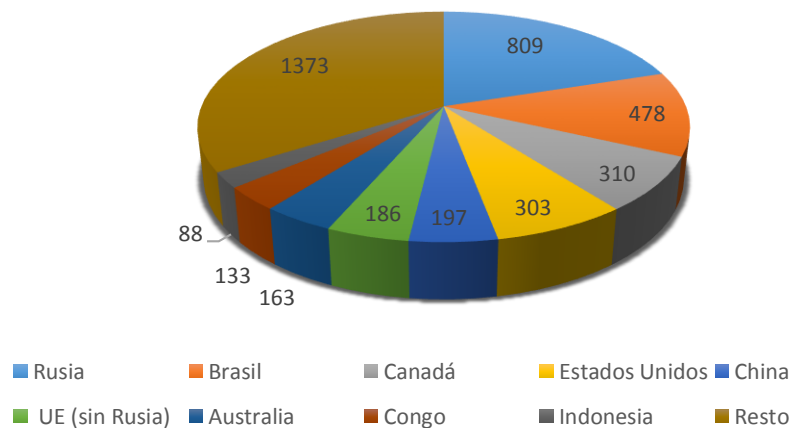


Fig. 4.7. Distribución de los recursos forestales por país (millones de hectáreas) (Fuente: FAO, 2006)

La materia prima de los paneles de madera contralaminada utilizados en el edificio que se está analizando, provienen de la empresa KLH Massivholz. Esta empresa es una de las que más comercializa este producto por todo el mundo y tiene su sede en Austria, un país líder en la fabricación de los paneles de madera contralaminada.

El 80 % del bosque austriaco es propiedad de empresas privadas, un 15 % es propiedad del Estado y el resto se reparte en comunidades y municipios. Austria tiene principalmente bosques de coníferas (70%) y bosques mixtos. El árbol predominante es la píceo autóctona que ocupa una superficie del 55 % y del que se obtiene la materia prima de los paneles de madera contralaminada (KLH. *Medio ambiente y sostenibilidad* 2013, p. 18).

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2006), España tiene 17,9 millones de hectáreas de bosque, ocupando el cuarto lugar en el ranking de países europeos con mayores recursos forestales (después de Rusia, Suecia y Finlandia).

Según el Informe de Situación de los Bosques y del Sector en España (Herrero et al 2013, p. 6), la mayor parte de nuestros bosques está poblados por especies autóctonas. Principalmente, se trata de bosques frondosos (46,4%), bosques de coníferas (34,5%) y masas mixtas (19,1%). Aproximadamente el 60% del bosque español es propiedad privada, otro 30% pertenece a los municipios y el resto a las comunidades autónomas. Una cuarta parte de estos bosques son espacios protegidos.

El 88% de la superficie forestal de España tiene como función principal la protección contra la erosión del suelo y la desertificación, así como la regulación del ciclo hidrológico. El 12% restante son bosques productivos, que suministran gran parte de la madera que consume España (Bosques Naturales, 2008).

Por lo que, un interés colectivo e internacional de cooperar para crear un marco de política e instituciones supondría el paso de la deforestación a una ordenación sostenible de los bosques. Este desarrollo sería garantía de un medioambiente sano y recursos naturales suficientes para hacer frente al suministro de madera utilizada en la producción de paneles contralaminados, como alternativa estructural a los materiales convencionales.

## 4.2. Producción

---

Una vez se han obtenido las materias primas, el siguiente paso en el ciclo de vida de un edificio es la fabricación de los materiales constructivos que lo forman.

En la segunda etapa del ACV, el cálculo de las repercusiones se hace teniendo en cuenta dos factores. El primero son los gases contaminantes emitidos a la atmósfera durante la fabricación de los materiales: dióxido de carbono, dióxido de azufre, fosfato, etileno y antimonio. Y el segundo, el consumo de los distintos tipos de fuentes de energía: energía renovable, energía no renovable, combustible renovable, combustible no renovable y agua (AENOR. *Etiquetas y declaraciones ambientales*, 2006).

Los materiales con los que se forman la estructura de los edificios cobran un papel fundamental en esta fase, ya que al utilizarse en grandes cantidades, las repercusiones de su impacto medioambiental son las más importantes.

Para el caso del edificio modelo con estructura de paneles contralaminados, es importante conocer el uso de recursos y las emisiones contaminantes que se generan en la producción de los paneles contralaminados.

La empresa KLH es quien suministra los paneles para esta obra y tiene a disposición una Declaración Medioambiental del Producto (EPD son sus siglas en inglés) por el Instituto Bauen und Umwelt e.V. de acuerdo a la norma ISO 14025:2006 (AENOR. *Etiquetas y declaraciones ambientales*, 2006). Los datos del ciclo de la vida de la EPD se basan en un estudio realizado por el organismo emisor PE International.

La EPD aporta información acerca del impacto medioambiental de dos tipos de paneles contralaminados: El panel KLH de 3 capas y 57 mm de espesor y el panel KLH de 5 capas y 320 mm de espesor. Aunque la EPD tiene en cuenta todas las fases del ciclo de la vida de los paneles, en la siguiente tabla sólo se muestra el impacto correspondiente a la fase de producción.

Tabla 4.2. Resultado del impacto y uso de recursos por m<sup>2</sup> producido de panel contralaminado KLH

| Parámetro                                       | Unidad                              | Panel 57 mm | Panel 320 mm |
|---|-------------------------------------|-------------|--------------|
| Gases de efecto invernadero emitidos            | Kg CO <sub>2</sub> eq               | 4           | 19           |
| Gases de efecto invernadero almacenados         | Kg CO <sub>2</sub> eq               | -50         | -283         |
| Calentamiento global                            | Kg CO <sub>2</sub> eq               | -46         | -264         |
| Potencial de eutrofización                      | Kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq | 0,004       | 0,024        |
| Total demanda acumulada de energía no renovable | MJ                                  | 97          | 471          |
| Total demanda acumulada de energía renovable    | MJ                                  | 630         | 3539         |
| Consumo de recursos de agua dulce               | m <sup>3</sup>                      | 0,072       | 0,392        |

(Fuente: KLH. *Declaración ambiental de productos de acuerdo a ISO 14025*, 2012, p. 9)

Los valores negativos representan la cantidad de dióxido de carbono que la madera acumula, haciendo que tenga un balance global positivo en cuanto a emisión de gases de efecto invernadero. La tabla muestra el resultado de dos paneles estándar, que en algún caso no coincidirán con los utilizados en el edificio que se está analizando. Los parámetros varían en función del espesor y el número de capas de los paneles.

Para la otra tipología constructiva, en la que se han utilizado los materiales de una obra convencional, hay que prestar especial atención a su principal componente estructural, que se trata de hormigón reforzado con barras de acero.

El material más importante del hormigón es el aglomerante, en este caso, el cemento. Para elaborar cemento, las principales materias primas suministradas son la caliza y la arcilla. En su proceso de fabricación se utilizan hornos giratorios que calientan el material hasta los 1400 °C, consumiendo grandes cantidades de energía para mantener los hornos a esa temperatura. Durante todo el proceso de fabricación del cemento, se desprenden partículas o “polvo de horno” que contiene agentes contaminantes para el medio ambiente y que son altamente perjudiciales para la salud humana. El agua que enfría los hornos y los desechos que se acumulan en la superficie pueden contaminar las aguas superficiales y subterráneas, provocando un gran daño al ecosistema (Cebrián et al, 2011).

Por otro lado, el acero está compuesto principalmente del mineral de hierro y de carbono. En su proceso de fabricación, las materias primas se introducen en hornos rotatorios, que por efecto de la combustión de estos materiales, produce dióxido de carbono que favorece la reducción del mineral de hierro. Seguidamente, el material se funde a 1600°C en un horno eléctrico hasta obtener el acero líquido. El siguiente paso es el tren de laminación, donde se estira mediante rodillos formando barras y perfiles. Finalmente, el producto pasa a la mesa de enfriamiento donde se corta (Martínez, 2012).

Para poder comprobar cuál de las dos tipologías constructivas tiene mayor impacto ambiental y consumo de energía en la producción, es necesario comparar el resultado teniendo en cuenta todos los materiales que forman el edificio.

Debido a las limitaciones de las bases de datos libres que hay en el mercado, para este estudio sólo se tendrá en cuenta el dióxido de carbono (kg) como principal consecuencia del calentamiento global y el consumo de energía total (MJ) sin especificar su origen.

La base de datos utilizada es la del banco BEDEC del Instituto de Tecnología de la Construcción (ITEC) que pone a disposición los impactos medioambientales anteriormente descritos (consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub>). Es una de las metabases más importantes en España dedicada a la construcción, en la que todos los materiales están clasificados por categorías y tienen un código de referencia único.

Los cálculos se han realizado para todos los materiales de construcción integrados dentro de los dos métodos constructivos. Tanto en el método de construcción convencional, como el de paneles de madera contralaminada, la selección de materiales incluye la fase de estructura, albañilería y acabados.

Para poder calcular la cantidad de cada material empleada en los dos sistemas constructivos, se han utilizado los dos edificios modelo como referencia (ver apartado *Planteamiento del edificio modelo*, p. 50). Las mediciones obtenidas coinciden exactamente con los edificios modelo, ya que al haber diseñado los edificios con el programa Revit, la

herramienta de cómputo de materiales calcula las superficies y volúmenes de cada material con total exactitud.

Hay que destacar que en algunas fases, aunque los materiales son distintos para cada método constructivo, las mediciones sí que coinciden (por ejemplo: la superficie de la cubierta será la misma independientemente del tipo de edificación).

Primero se analizará la producción de los materiales del edificio modelo de madera contralaminada. Se caracteriza por utilizar elementos estructurales prefabricados de madera y prestar atención en que los materiales sean lo más ecológicos posible.

El conjunto de todos los materiales que componen el modelo edificatorio de madera contralaminada está disponible en el *Anejo n°1: Materiales del modelo de edificio de madera contralaminada*. En este anexo se definen las propiedades de todos los materiales que se han tenido en cuenta para el diseño del edificio modelo. La descripción de los materiales es la descripción técnica de la base de datos del banco BEDEC del Instituto de Tecnología de la Construcción (ITEC).

El cálculo de las mediciones de cada material, así como las emisiones de dióxido de carbono y el consumo de energía de los materiales por unidad de medida, que se ha obtenido de la Base de datos del banco BEDEC del ITEC, están representados en una tabla conjunta para todo el edificio de paneles contralaminados *Tabla A.1. Cómputo de materiales del edificio modelo de madera contralaminada*.

Hay que destacar que, en las emisiones de CO<sub>2</sub> de los paneles de madera contralaminada, la base de datos no tiene en cuenta la cantidad de dióxido de carbono almacenado, lo que supondría que el impacto medioambiental de los paneles fuese menor al calculado.

En la siguiente tabla se muestra el coste energético y las emisiones de dióxido de carbono de los materiales utilizados y del total del edificio. Cada material tiene un código de referencia que le asigna la Base de datos del banco BEDEC del ITEC, que se utiliza para buscar un material en el *Anejo n°1: Materiales del modelo de edificio de madera contralaminada* en caso de que se quiera consultar sus propiedades.



Tabla 4.3. Repercusión de la producción de materiales para el edificio modelo de paneles contralaminados

| Código       | Material  | Coste energético (MJ) | Emisiones CO <sub>2</sub> (kg) |
|--------------|---|-----------------------|--------------------------------|
| 13512J30     | Cimentación de hormigón armado                        | 303.653,60            | 43.463,19                      |
| E43SL5F0     | Forjado de panel de madera contralaminada de 5 capas  | 161.301,69            | 11.051,37                      |
| E43SL3A0     | Forjado de cubierta de panel de madera contralaminada | 10.243,17             | 597,87                         |
| 15123NCH     | Cubierta invertida                                    | 88.741,77             | 14.813,23                      |
| E43TT390     | Estructura vertical de panel de madera contralaminada | 157.296,75            | 9.213,75                       |
| E4435111     | Perfil de acero HEB                                   | 13.255,10             | 1.277,60                       |
| E43TT330     | Partición de panel de madera contralaminada           | 70.087,81             | 4.961,32                       |
| B7C9T540     | Aislamiento térmico de lana de roca                   | 173.165,42            | 10.978,17                      |
| E7A12702     | Barrera de vapor                                      | 68.200,06             | 10.026,90                      |
| E811B6S2     | Enfoscado proyectado de mortero                       | 50.665,84             | 8.510,01                       |
| E83E5DHA     | Trasdosado de placa de yeso laminado                  | 648.829,16            | 50.872,06                      |
| 1A12G7L6     | Balconera de perfil de madera                         | 46.384,87             | 2.877,63                       |
| 1A126FL6     | Carpintería exterior de perfil de madera              | 28.709,16             | 1.822,18                       |
| E9Q14112     | Pavimento interior de parquet                         | 19.537,28             | 1.481,76                       |
| E9P23A72     | Pavimento de PVC para baños                           | 10.524,48             | 1.553,28                       |
| E8443220     | Falso techo de placa de yeso laminado                 | 81.082,31             | 6.057,84                       |
| E7C2F333     | Aislamiento de poliestireno extruído                  | 87.830,44             | 12.969,78                      |
| <b>TOTAL</b> |   | <b>2.019.508,91</b>   | <b>192.527,94</b>              |

Fuente: elaboración propia (El código sirve para identificar el material en la base de datos)

El sistema de construcción convencional representa las técnicas constructivas más empleadas en la edificación de viviendas los últimos años en España. Se caracteriza por un método de construcción “in situ”, en el que apenas se emplean elementos prefabricados.

La lista de todos los materiales que forman parte del modelo de edificación convencional en la que se definen las propiedades de los materiales está disponible en el *Anejo nº2: Materiales del modelo de edificación convencional*.

La siguiente tabla muestra el consumo de energía y las emisiones de dióxido de carbono producidas durante la fabricación de los materiales del edificio convencional.

Tabla 4.4. Repercusión de la producción de materiales para el modelo de edificio convencional

| Código       | Material                                    | Coste energético (MJ) | Emisiones CO <sub>2</sub> (kg) |
|--------------|---|-----------------------|--------------------------------|
| 13512J30     | Cimentación de hormigón armado              | 303.653,60            | 43.463,19                      |
| 145B6AG8     | Forjado reticular                           | 986.465,55            | 96.027,75                      |
| 14511337     | Pilar de hormigón armado                    | 141.235,28            | 14.080,69                      |
| 1612AJF2     | Cerramiento de obra de fábrica cerámica     | 569.205,78            | 48.202,44                      |
| 15123NCH     | Cubierta plana tipo invertida               | 88.741,77             | 14.813,23                      |
| E612TRAV     | Partición interior cerámica                 | 178.518,00            | 15.186,00                      |
| 1A1EB111     | Carpintería exterior con perfil de aluminio | 93.769,23             | 10.873,79                      |
| 1A1EG1A0     | Balconera con perfil de aluminio            | 99.112,46             | 12.930,79                      |
| E8122112     | Enyesado de paramentos interiores           | 63.808,86             | 5.653,59                       |
| E898J140     | Pintado de paramento vertical               | 160.801,78            | 23.726,14                      |
| E82C1Q2K     | Alicatado interior con gres para baños      | 75.090,71             | 8.002,73                       |
| E8443220     | Falso techo de placas de yeso               | 95.724,09             | 7.151,76                       |
| E9Q14112     | Pavimento interior de parquet               | 17.579,85             | 1.333,30                       |
| E9DBA43B     | Pavimento exterior de gres extruido         | 18.413,02             | 2.066,00                       |
| E7C2F333     | Aislamiento de poliestireno extruido        | 79.795,27             | 11.783,24                      |
| <b>TOTAL</b> |   | <b>2.971.915,25</b>   | <b>315.294,64</b>              |

Fuente: elaboración propia (El código sirve para identificar el material en la base de datos)

Las mediciones de cada material, junto con las emisiones de dióxido de carbono y el consumo de energía de cada material por unidad de medida que se obtenido de la Base de datos del banco BEDEC del ITEC, están representados en una tabla conjunta para el edificio modelo con materiales convencionales, *Tabla A.2. Cómputo de materiales del modelo de edificación convencional.*

Con los resultados obtenidos, se puede llevar a cabo una comparativa de las emisiones de dióxido de carbono y el consumo de energía en la fabricación del conjunto de materiales que componen cada tipología constructiva.

El siguiente gráfico muestra el consumo energético en Megajulios, de fabricar los materiales de construcción para el edificio modelo de paneles contralaminados y el edificio convencional. La energía necesaria para producir los materiales depende directamente del proceso de fabricación. Por lo que los materiales más manufacturados consumirán más energía.

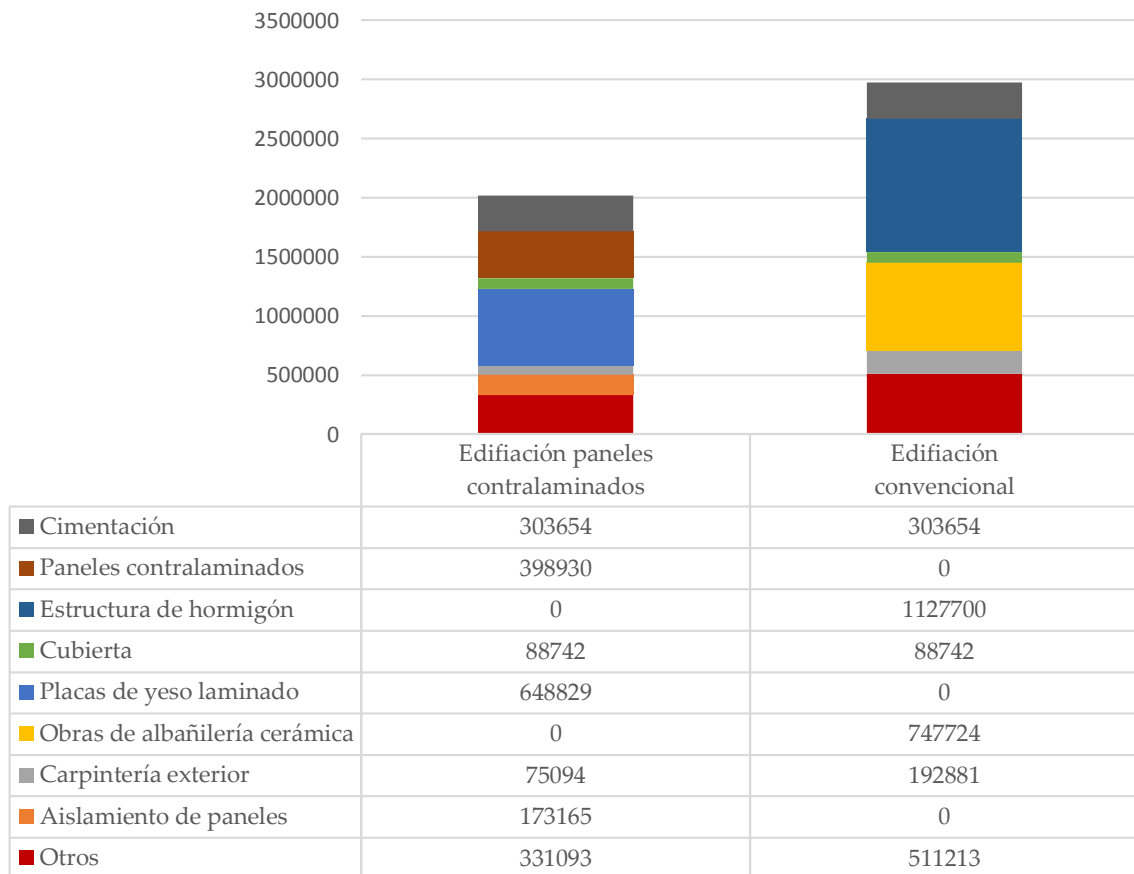


Fig. 4.8. Coste energético (MJ) en la producción de materiales para las dos tipologías constructivas (Fuente: elaboración propia).

El consumo energético de los materiales que forman el edificio convencional es muy superior al consumo de los materiales del modelo de paneles contralaminados. La diferencia del consumo en el conjunto de materiales es de más de 950.000 MJ por parte de la edificación convencional. El consumo de energía de los materiales que forman la estructura y la envolvente del edificio de madera, está producido principalmente por los paneles contralaminados, el aislante térmico de los paneles y las placas de yeso. Estos materiales son sustituidos en el modelo convencional por el hormigón armado y las obras de albañilería cerámica, que tiene un mayor consumo de energía, cuya principal causa es la fabricación del hormigón armado.

El siguiente gráfico muestra una comparativa de las emisiones de dióxido de carbono, cuantificadas en kilogramos, producidas en la fabricación los materiales de construcción para el edificio modelo de paneles contralaminados y el modelo convencional.

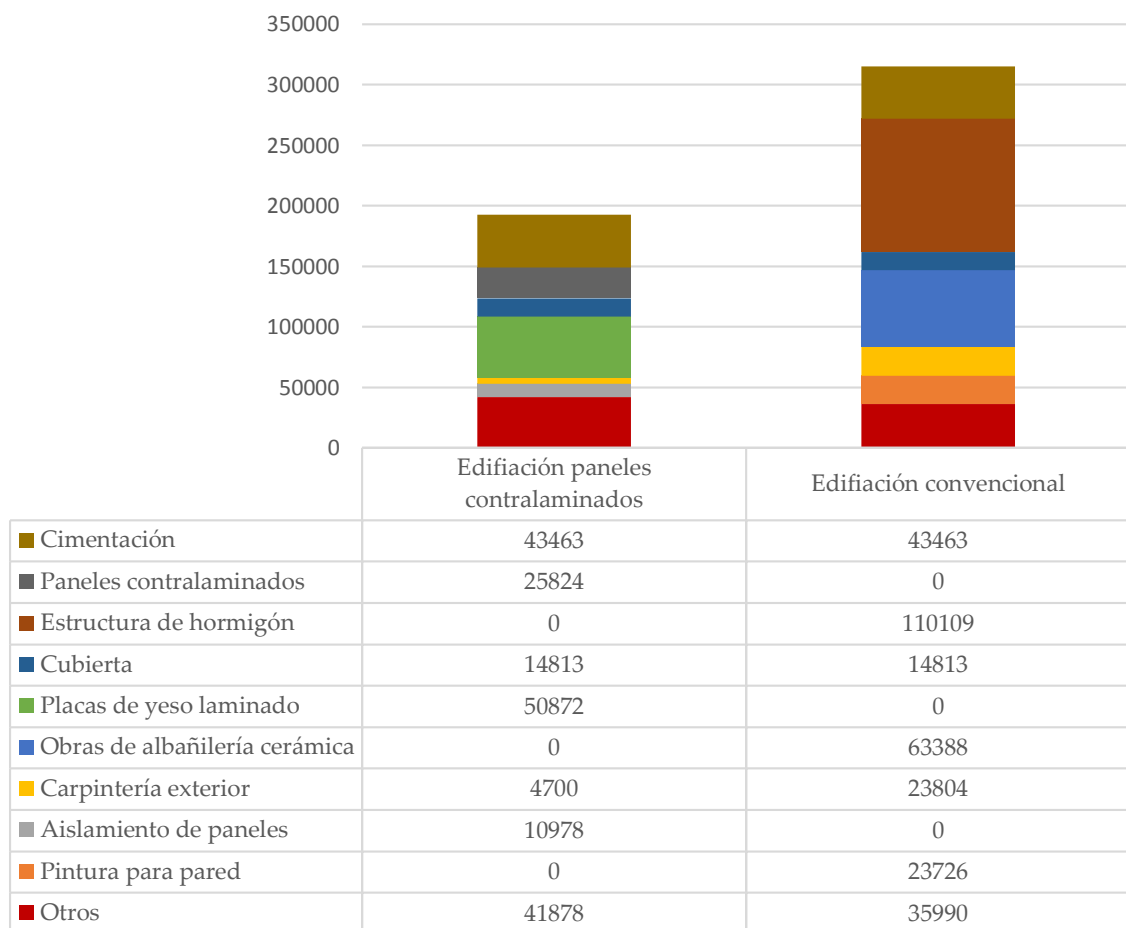


Fig. 4.9. Emisiones de CO<sub>2</sub> (kg) en la producción de materiales para las dos tipologías constructivas (Fuente: elaboración propia).

El gráfico muestra que las emisiones de dióxido de carbono producidas por la fabricación de los materiales del edificio convencional, son muy superiores a las producidas en el edificio de paneles contralaminados. El hormigón utilizado en el edificio convencional sustituye a los paneles contralaminados, y aunque en los paneles contralaminados también se incluyen los paneles utilizados en las particiones del edificio que no tienen función estructural, las emisiones de dióxido de carbono de la estructura de hormigón armado, superan por más del doble a las producidas por los paneles de madera contralaminada.

Hay que destacar que, en el impacto medioambiental de los paneles de madera contralaminada, no se tiene en cuenta la cantidad de dióxido de carbono almacenado. Por lo que, la diferencia entre la eficiencia ecológica de los principales materiales estructurales sería aún mayor si se considerasen la contribución de la madera como almacén de CO<sub>2</sub>.

Los materiales utilizados en las particiones y cerramientos del edificio de madera contralaminada tienen menor impacto medioambiental que los materiales del edificio convencional. Aunque los paneles contralaminados tienen un impacto medioambiental bajo, las placas de yeso laminado utilizadas en los trasdosados de los paneles, si suponen un importante impacto. Sin embargo, este impacto es todavía menor al producido por las obras de albañilería cerámica y el acabado de pintura plástica que produce muchos gases de efecto invernadero en su fabricación.

Hay algunos materiales como la cimentación o la cubierta que son iguales en los dos edificios. Otros, como la carpintería de aluminio utilizada en el edificio convencional, supone un mayor impacto al medioambiente que la carpintería de madera utilizada en el edificio modelo de paneles contralaminados.

Por tanto, se puede considerar que el impacto medioambiental y el consumo de energía producido durante la fabricación de los materiales que componen un edificio convencional con estructura de hormigón armado, es muy superior al producido por un edificio con estructura de paneles contralaminados. La diferencia está en la materia prima de los paneles contralaminados, ya que la madera es un material poco manufacturado, con excelentes propiedades y respetuoso con el medioambiente.

## 4.3. Transporte

---

Tras la fabricación de los materiales de construcción, la siguiente fase en el ciclo de vida de un edificio es el transporte de los materiales hasta la obra. Para poder calcular el impacto medioambiental y el gasto energético consecuencia del transporte de los materiales, es necesario conocer las distancias de los trayectos, el tipo de medio de transporte y el consumo de combustible.

En la distribución de los materiales de una obra convencional, cobran mucha importancia los materiales que tienen un uso constante en la obra. Este es el caso de los materiales cerámicos y los materiales pétreos: el cemento, los áridos y el hormigón (García, 2012).

En las obras convencionales, la mayoría de los materiales se transportan en camión, cuya elección del modelo dependerá del peso y del volumen específico a transportar. Otros materiales como el hormigón, se tienen que transportar en hormigonera para que se mantenga fluido y así se retrase su fraguado. Para el hormigón, las distancias de transporte están limitadas al tiempo que aguanta en la consistencia deseada dentro de la hormigonera.

El resto de materiales, no suelen tener largos transportes desde la fábrica hasta la obra, ya que al tratarse de construcciones convencionales, la disponibilidad de materiales en fábricas cercanas a la obra facilita su abastecimiento.

Las distancias de transporte de los materiales a la obra resulta difícil de calcular ya que depende de la proximidad al proveedor de los materiales. Y resulta muy difícil de identificar el origen de cada uno de los materiales para los dos edificios.

La comparativa del impacto medioambiental y consumo de energía en el transporte de los materiales del edificio modelo de madera contralaminada y el edificio convencional, se ha hecho teniendo en cuenta, únicamente los materiales estructurales. Los paneles de madera contralaminada y el hormigón armado son los materiales representativos de las tipologías constructivas que se están comparando. El resto de materiales no se han tenido en cuenta debido a la complejidad de determinar el peso y el volumen de cada material,

para poder calcular las repercusiones de su transporte. En todo caso, los materiales que no se han considerado en la comparativa, representan un porcentaje similar en el edificio de madera contralaminada y en el convencional, por lo que su exclusión apenas influye a la hora de determinar que método es más eficiente.

En el modelo del edificio convencional, el volumen total de hormigón a transportar es de 244 m<sup>3</sup>, que está compuesto por la cimentación, los forjados y los pilares. La medición de cada partida está disponible en la *Tabla A.2. Cómputo de materiales de modelo de edificación convencional* (para el cálculo del volumen de hormigón en el forjado hay que multiplicar la superficie por 0,15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, Fuente: Código "145B6AG8" de la base de datos del banco BEDEC del ITEC).

Para calcular el peso de las armaduras de acero de las estructuras del edificio convencional, hay que considerar los siguientes valores utilizados por la Base de datos del banco BEDEC del ITEC, en cuanto a las cantidades de acero en los elementos constructivos: 30 kg/m<sup>3</sup> en la cimentación, 20kg/m<sup>2</sup> en el forjado reticular y 120 kg/m<sup>3</sup> en los pilares. Teniendo en cuenta las mediciones de estos elementos estructurales disponibles en la *Tabla A.2. Cómputo de materiales de modelo de edificación convencional*, se calcula que el peso total del acero asciende a 21 toneladas.

El transporte del hormigón del edificio convencional se realiza en un camión hormigonera diésel y las armaduras de acero corrugado se transportan en camión rígido diésel. En función de las anteriores cuantías de materiales, se han considerado de la Base de datos del banco BEDEC del ITEC, los siguientes medios de transporte con sus valores de impacto medioambiental y consumo energético:

- Camión hormigonera 6m<sup>3</sup> (consumo energético: 949,45 MJ/hora, impacto medioambiental: 248 kg CO<sub>2</sub>/hora).
- Camión trailer transporte especial 24t (consumo energético: 1.369,40 MJ/hora, impacto medioambiental: 357,69 kg CO<sub>2</sub>/hora).

Como la capacidad del camión hormigonera es de 6 m<sup>3</sup>, será necesario realizar 41 suministros para transportar todo el hormigón necesario en obra. Para el caso de las armaduras, pueden ser transportadas en un solo camión con capacidad de 24 toneladas.

Según los suministradores, las distancias medias en el transporte de los materiales de una obra convencional son entre 30 y 50 kilómetros, ida y vuelta. Con estos datos se supone una distancia media de transporte de materiales de 40 kilómetros (Medina 2010, p.67). Como se considera que el recorrido de los camiones se realiza por zona urbana a una velocidad de 50 km/hora, y en algún caso puede que circula más lento por el tráfico, se estima que la duración del trayecto es de alrededor de 1 hora.

En función de estos resultados, en la siguiente tabla se ha calculado el total del coste energético y de las emisiones de dióxido de carbono producidas en el transporte del hormigón armado utilizado en las estructuras del edificio convencional.

Tabla 4.5. Repercusión del transporte de los materiales de la edificación convencional

| Código       | Medio de transporte | Coste energético (MJ) | Emisiones CO <sub>2</sub> (kg) |
|--------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|
| C170MM00     | Camión hormigonera  | 38.927,45             | 10.168,00                      |
| C150JA00     | Camión trailer      | 1.369,40              | 357,69                         |
| <b>TOTAL</b> |                     | <b>40.296,85</b>      | <b>10.525,69</b>               |

Fuente: elaboración propia (El código sirve para identificar la maquinaria en la base de datos)

Para el caso del edificio de madera contralaminada, la importancia del transporte de los materiales estructurales recae totalmente sobre los paneles debido a la repercusión de su transporte.

Para calcular el peso de los paneles contralaminados para su transporte, la empresa encargada de su fabricación recomienda tomar como referencia un valor de 500 kg/m<sup>3</sup> (Fuente: KLH Massivholz GmbH. *Madera Contralaminada* 2013, p. 6). Teniendo en cuenta el espesor de cada panel y la superficie ocupada por los paneles (ver *Tabla A.1. Cómputo de materiales del modelo de edificio de madera contralaminada*, p. 109) se obtiene un volumen total



de paneles contralaminados de 217 m<sup>3</sup>. Gracias a este dato y al valor de referencia del peso de los paneles, se ha calcula que el peso total de los paneles contralaminados es de 108,5 toneladas.

Los paneles de madera contralaminada son piezas prefabricadas de grandes dimensiones y elevado peso, que tienen que ser transportados en posición horizontal y agrupados (ver Figura 4.8). Como hay pocas empresas especializas en la fabricación de este producto, la distancia a recorrer desde la fábrica hasta la obra suelen ser grande. Para este caso, el medio de transporte utilizado es el camión.



Fig. 4.8. Transporte de los paneles contralaminados mediante camión (Fuente: [http://4.bp.blogspot.com/-ByhZBNNBIog/UUhF\\_z6PoII/AAAAAAAAAME/OaWR4a-TP9M/s1600/20130320\\_rehb+riahuelas+BG\\_19.jpg](http://4.bp.blogspot.com/-ByhZBNNBIog/UUhF_z6PoII/AAAAAAAAAME/OaWR4a-TP9M/s1600/20130320_rehb+riahuelas+BG_19.jpg))

Los paneles utilizados en el edificio modelo de madera contralaminada han sido fabricados por la empresa KLH Massivholz GmbH. Esto significa que el transporte tiene realizarse desde la fábrica, situada en Katsch an der Mur (Austria), hasta la obra que tiene lugar en Alicante (España). Para estimar la distancia del trayecto y el tiempo que tardan los camiones por carretera, se ha utilizado la herramienta de *Google Maps*. El resultado es un recorrido, principalmente por vías interurbanas, de 2.100 km que dura aproximadamente 20 horas.

Como el transporte de los camiones se suele realizar en camión tráiler, en función de las características de los camiones considerados en la Base de datos del banco BEDEC del ITEC, el tipo de camión que más se adapta a este transporte es el siguiente:

- Camión trailer transporte especial 24t (consumo energético: 1.369,40 MJ/hora, impacto medioambiental: 357,69 kg CO<sub>2</sub>/hora).

Como el medio de transporte utilizado para llevar los paneles tiene una capacidad de 24 toneladas, para que el montaje se puede realizar en el menor tiempo posible, todos los paneles tienen que llegar a la obra a la vez, luego serán necesarios 5 camiones tráiler para transportar todos los paneles.

Para la cimentación del edificio de paneles contralaminados, que se realiza de hormigón armado, los medios de transporte utilizados ser los mismos que para el edificio convencional.

Como el camión hormigonera tiene una capacidad de 6 m<sup>3</sup>, según el volumen de hormigón a transportar (ver *Tabla A.1. Cómputo de materiales del modelo de edificio de madera contralaminada*, p. 109), será necesario realizar 19 suministros con camión hormigonera. Para calcular el peso de las armaduras de la cimentación, se tiene en cuenta que el valor utilizado por la Base de datos del banco BEDEC del ITEC, para cuantificar las armaduras en función del volumen de cimentación: 30 kg/m<sup>3</sup>. De lo que se obtiene un total de 3,4 toneladas de armaduras de acero. Por lo que será suficiente con un camión tráiler de capacidad de 12 toneladas. El trayecto de los medios de transporte, al igual que para el edificio convencional, se considera de 1 hora.

Para el transporte del hormigón y de las armaduras utilizadas en la cimentación del edificio de madera contralaminada, se han tenido en cuenta las mismas consideraciones que para el edificio convencional. Se han considerado de la Base de datos del banco BEDEC del ITEC, los siguientes medios de transporte con sus valores de impacto medioambiental y consumo energético:

- Camión hormigonera 6 m<sup>3</sup> (consumo energético: 949,45 MJ/hora, impacto medioambiental: 248 kg CO<sub>2</sub>/hora).
- Camión trailer transporte especial 12 t (consumo energético: 724,26 MJ/hora, impacto medioambiental: 189,18 kg CO<sub>2</sub>/hora).

En función de estos resultados, en la siguiente tabla se ha calculado el consumo energético total y las emisiones de dióxido de carbono producidas por el transporte de los

paneles contralaminados y de la cimentación de hormigón armado, para el edificio de paneles contralaminados.

Tabla 4.6. Repercusión del transporte de los materiales de la edificación de paneles contralaminados

| Código       | Medio de transporte         | Coste energético (MJ) | Emisiones CO <sub>2</sub> (kg) |
|--------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| C150JA00     | Camión trailer 24 toneladas | 136.940,00            | 24.800,00                      |
| C170MM00     | Camión hormigonera          | 18.039,55             | 4.712,00                       |
| C150JA00     | Camión tráiler 12 toneladas | 724,26                | 189,18                         |
| <b>TOTAL</b> |                             | <b>155.703,81</b>     | <b>29.701,18</b>               |

Fuente: elaboración propia (El código sirve para identificar la maquinaria en la base de datos)

El siguiente grafico muestra una comparativa del consumo energético y el impacto medioambiental producido por el transporte de los principales materiales que componen el edificio modelo de madera contralaminada y el modelo de edificación convencional.

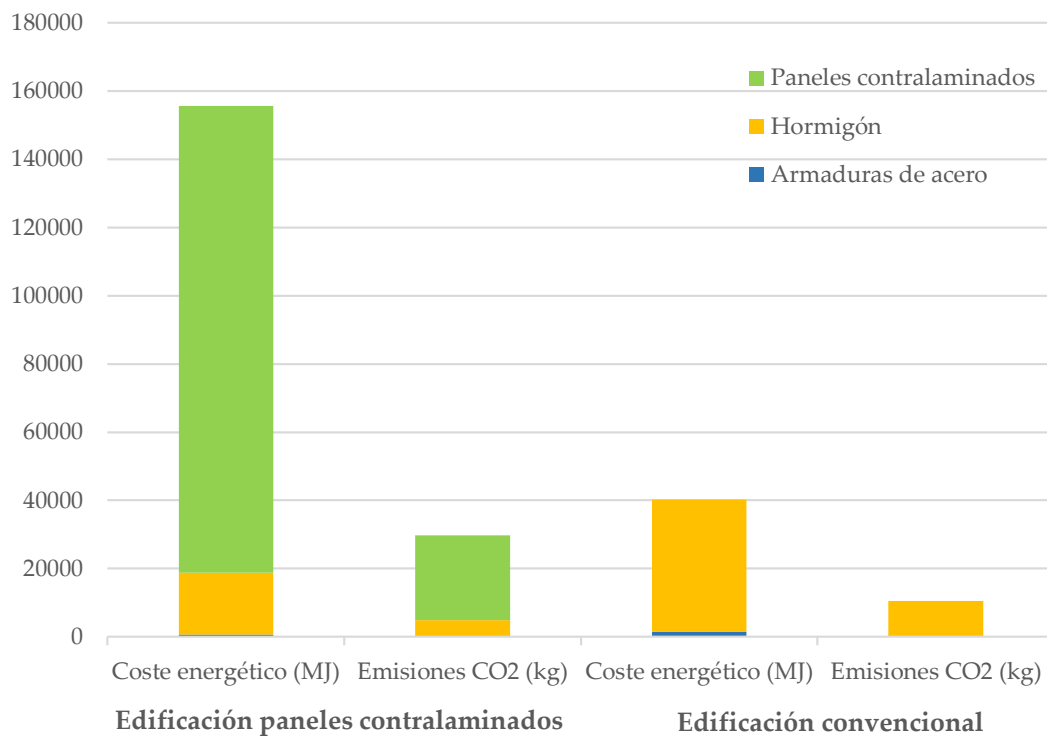


Fig. 4.9. Coste energético (MJ) e impacto medioambiental (kg CO<sub>2</sub>) en el transporte de los materiales para las dos tipologías constructivas (Fuente: elaboración propia).

Como muestra el gráfico, hay mucha diferencia en el impacto producido al transportar los materiales de construcción de los dos edificios. Mientras que en la edificación convencional la mayor parte es producida por el hormigón, para el edificio de madera contralaminada, la repercusión de transportar los paneles desde Austria es tan grande que el resto de materiales llegan a ser irrelevantes. En España hay empresas como alterMateria, que comercializan con paneles contralaminados pero no se encarga de fabricarlos, son importados desde Austria por la empresa KLH Massivholz GmbH.

La única empresa que fabrica y distribuye los paneles en España es Egoín S.A., que tiene su sede en Vizcaya (País Vasco). Aunque es la más cercana a la situación del edificio que se está analizando, se ha considerado que por la importancia y envergadura del edificio, la empresa KLH Massivholz GmbH cumple mejor con los requisitos de solvencia y responsabilidad.

Un mayor uso de los paneles de madera contralaminada en España, ayudaría a que se creasen empresas españolas y a que las existentes se afianzasen como referentes en la fabricación de los paneles. Fomentar el uso de este producto como material estructural en España, facilitaría la disponibilidad y distribución de los paneles por todo el territorio, lo que reduciría el impacto ambiental en el traslado de los paneles desde países extranjeros.

Aunque las repercusiones del transporte de los paneles contralaminados sean mucho más grande que el modelo convencional, se trata de un porcentaje muy pequeño del cómputo global de impacto medioambiental y energía consumida durante la vida del edificio de madera contralaminada, por lo que no será determinante desde la perspectiva de ACV del edificio.

## 4.4. Instalación en el edificio

---

Tras el transporte de los materiales de construcción, el siguiente paso en la producción del edificio es la instalación o el montaje de los materiales. Es la última fase del ACV antes de que el edificio esté listo para ser utilizado.

Existen grandes diferencias en la forma de construir edificios mediante paneles de madera contralaminada y utilizando los materiales y técnicas convencionales. Mientras que el primer método se basa en el ensamblaje de materiales prefabricados, dejando poco a los trabajos en obra, el segundo se caracteriza por la construcción “in situ” con muy pocos elementos prefabricados.

En la instalación de los paneles de madera contralaminada, los elementos llegan ya cortados a obra y se suelen montar directamente desde el camión grúa que los transporta. Esto supone un ahorro en tiempo, al construir en cadena sin tener que descargar los paneles para almacenarlos en obra, y menor impacto medioambiental al utilizar menos maquinaria que en la construcción convencional. Si por alguna limitación del camión grúa no se pudiera realizar el montaje directamente desde éste, se procedería a la descarga de los paneles y su posterior montaje por medio de una grúa autopropulsada (KLH. *Montaje e Instalación* 2012, p. 4)



Fig. 4.10. Instalación mediante grúa y trabajadores de un panel vertical de madera contralaminada (Fuente:[http://www.internationaltradenews.com/klh\\_massivholz\\_gmbh/portrait/](http://www.internationaltradenews.com/klh_massivholz_gmbh/portrait/))

El tiempo de montaje de los paneles de madera contralaminada es considerablemente más corto que materiales como el ladrillo y hormigón, ya que al tratarse de construcción en seco, no hace falta esperar al fraguado y se puede montar un elemento constructivo inmediatamente después del otro.

En la comparativa de las repercusiones que tiene el proceso de instalación de los materiales para los dos edificios, se tendrán en cuenta las tareas relacionadas a los elementos estructurales (paneles contralaminados y hormigón armado). Ya que estos materiales son los representativos de cada tipología constructiva y calcular el resto de materiales es una tarea muy compleja.

En base a estimaciones realizadas por la empresa KLH, se pueden elevar de 4 a 6 paneles por hora (*Montaje e Instalación* KLH 2012, p. 14). Y tomando como referencia los planos de estructura del edificio de 6 plantas del arquitecto Ramón Llobera Serentill (Llobera 2013), el suministro comprende 13 paneles horizontales por planta (13x6), más 17 paneles verticales por planta (17x6), más los 4 paneles que forman la caja del ascensor. Suponiendo un suministro total de 200 elementos y 5 elevaciones por hora, el montaje se realizaría en aproximadamente en 40 horas.

Para calcular el consumo de energía y el impacto medioambiental de la instalación de los materiales en el edificio, se utiliza la base de datos el banco BEDEC para obtener la información relativa a la maquinaria pesada. En las dos tipologías constructivas no se tiene en cuenta la cimentación, ya que para los dos edificios tiene el mismo valor. En la instalación de los paneles de madera contralaminada se considerará el método más desfavorable, en el que se emplea un camión grúa y una grúa autopropulsada de las siguientes características:

- Camión grúa para trabajos generales, limpieza y transporte de herramientas de 5 t de carga, 12 m de alcance vertical, 9 de alcance horizontal y 25 kNm de momento de elevación (consumo energético: 1.217,24 MJ/hora, impacto medioambiental: 317,94 kg CO<sub>2</sub>/hora).
- Grúa autopropulsada de 12 t (consumo energético: 754,69 MJ/hora, impacto medioambiental: 197,13 kg CO<sub>2</sub>/hora).

En función de estos datos, se puede calcular el consumo energético total y el impacto ambiental generado por la maquinaria utilizada en los trabajos de instalación de los paneles contralaminados del edificio modelo de madera.

Tabla 4.7. Repercusión de la instalación de los materiales de la edificación de paneles contralaminados

| Código       | Maquinaria          | Coste energético (MJ) | Emisiones CO <sub>2</sub> (kg) |
|--------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|
| C1502221     | Camión grúa         | 48.689,60             | 12.717,60                      |
| C150G800     | Grúa autopropulsada | 30.187,60             | 7.885,20                       |
| <b>TOTAL</b> |                     | <b>78.877,20</b>      | <b>20.602,80</b>               |

Fuente: elaboración propia (El código sirve para identificar la maquinaria en la base de datos)

En el caso de la construcción convencional, el impacto medioambiental durante la instalación es producido principalmente por la grúa torre que se encuentra en funcionamiento durante todo el proceso constructivo. Al tratarse de un método de construcción “in situ” que dura más tiempo que el de módulos prefabricados, la grúa permanecerá más tiempo en la obra, consumiendo más energía. En base a la información del proyecto del edificio residencial de 5 plantas de altura más ático (Saura, 2008) con estructura convencional, se estima que el tiempo de uso de la grúa torre es de 12 meses.

Para calcular el consumo de energía y el impacto medioambiental de la grúa torre utilizada en la instalación de las estructuras de hormigón armado del edificio convencional, se ha utilizado la base de datos el banco BEDEC del Instituto de Tecnología de la Construcción (ITEC):

- Grúa de 30 m de pluma, 40 m de altura y 2 t de peso en punta (consumo energético: 39.780,00 MJ/mes, impacto medioambiental: 5.799,92 kg CO<sub>2</sub>/mes).

Como para el cálculo de las repercusiones en el modelo del edificio convencional, se considera a la grúa torre el único medio auxiliar necesario para la construcción de la estructura de hormigón armado, el total quedará definido por la grúa.

Tabla 4.8. Repercusión de la instalación de los materiales de la edificación convencional

| Código   | Maquinaria | Coste energético (MJ) | Emisiones CO <sub>2</sub> (kg) |
|----------|------------|-----------------------|--------------------------------|
| C150G112 | Grúa torre | 477.360,00            | 69.599,04                      |

Fuente: elaboración propia (El código sirve para identificar la maquinaria en la base de datos)

El siguiente grafico muestra una comparativa del consumo energético y el impacto medioambiental producido durante la instalación de la estructura del edificio de madera contralaminada y el modelo de edificación convencional.

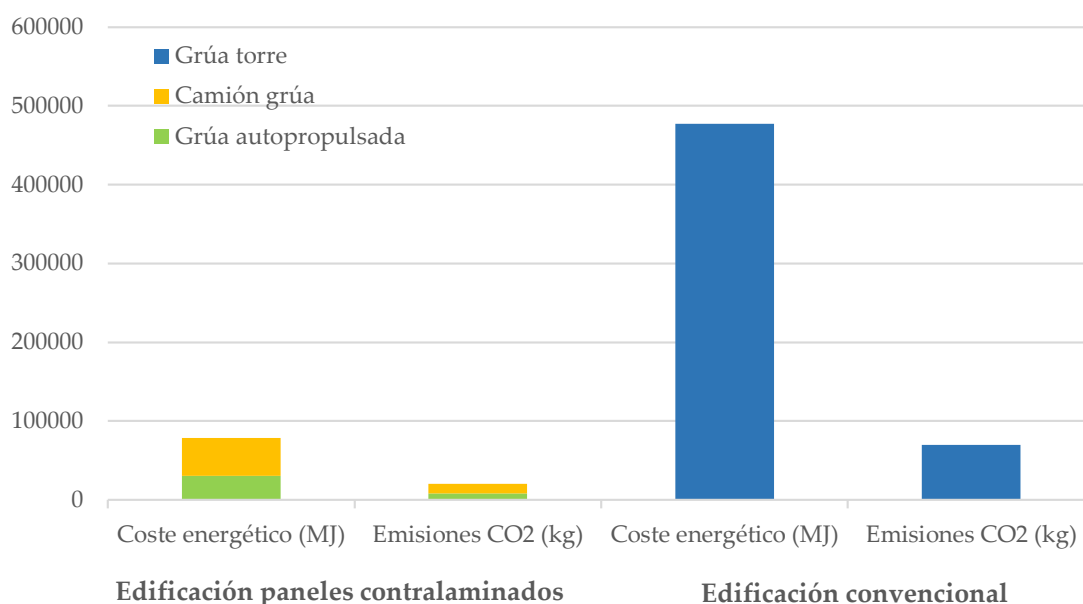


Fig. 4.11. Coste energético (MJ) e impacto medioambiental (kg CO<sub>2</sub>) en la instalación de los materiales de las dos tipologías constructivas (Fuente: elaboración propia).

El gasto energético es superior en la construcción convencional que en los módulos de madera contralaminada, principalmente por la diferencia que hay entre los dos sistemas en el tiempo necesario para construir el edificio. Los paneles de madera contralaminada ahorran tiempo al llegar a obra con medidas exactas pudiendo prescindir de una toma de medidas reales ya que se han cortado los huecos de puertas y ventanas. La empresa KLH tras sus años de experiencia, asegura que se los trabajos de instalaciones en paneles de madera se pueden realizar de un 20 a un 40% más rápido que en construcciones macizas convencionales. Además de un ahorro de entre un 10 y un 30% de tiempo al colocar el aislamiento, la fachada, las puertas y las ventanas (KLH. *Montaje e Instalación* 2012, p. 2).



## 4.5. Operación del edificio

---

Una vez el edificio se encuentra totalmente terminado y cumple con las condiciones de habitabilidad, ya se puede proceder a su uso. En esta etapa el estudio se centra en el consumo de energía durante la operación del edificio.

El aumento del coste de la energía y el calentamiento global han hecho que cada vez se piense más en construir edificios con una demanda energética mínima y con el máximo confort térmico. El profesor Robert H. Crawford (2011, p. 128) afirma que la mayor parte de la energía consumida por un edificio se produce durante su uso (calefacción, refrigeración, iluminación, etc) llegando a alcanzar el 75% de las emisiones de gases de efecto invernadero totales.

Para reducir ese consumo de energía se tienen que llevar a cabo las siguientes tareas: reducir la demanda energética, mejorar el rendimiento de los equipos térmicos y garantizar los medios para un adecuado control (Sabaté et al 2011, p. 81). De todas ellas, la única que depende los materiales utilizados en el edificio es la reducción de la demanda energética.

La mejor forma de reducir la demanda energética es mejorar la envolvente del edificio. Y las mejoras en el comportamiento de la envolvente se consiguen con algunas de estas tareas: incrementar el aislamiento térmico, utilizar de manera eficiente la inercia térmica, gestionar correctamente ganancias por radiación (exposición y protección solar) y limitar las infiltraciones no deseadas (Sabaté et al 2011, p. 81).

La reducción de la transmitancia térmica de los distintos cerramientos y la eliminación de los puentes térmicos es la estrategia más rentable para reducir la demanda energética de un edificio (Sabaté et al 2011, p. 81).

En el siguiente gráfico se puede apreciar como la conductividad térmica de la madera, que es el elemento principal en el cerramiento del edificio de paneles contralaminados, es mucho menor que el ladrillo cerámico utilizado en un edificio convencional.

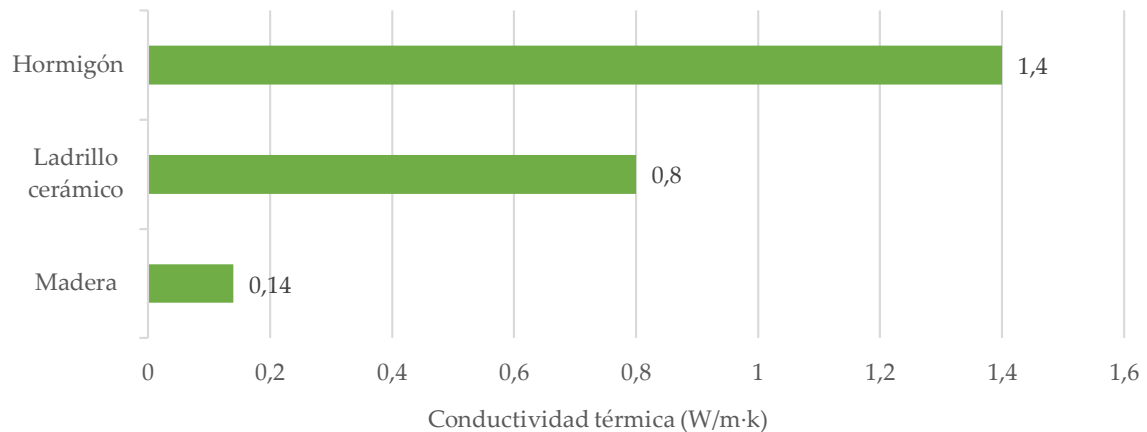


Fig. 4.12. Conductividad térmica (W/m·k) de los materiales de construcción (Fuente: <http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>)

En la estructura interna de la madera hay espacios inter celulares que están llenos de aire, lo que lo convierte en un mal conductor de la temperatura. La conductividad térmica de la madera en el sentido de sus fibras es el doble que en sentido transversal a ellas, además de que las maderas de mayor densidad son más termoconductoras que las de baja densidad (Zanni 2008, p. 46).

Dentro de la metodología de análisis del ciclo de vida del edificio, en esta fase se tiene en cuenta la operación del edificio (calefacción, refrigeración, iluminación, ACS, cocina y electrodomésticos) durante su vida útil (50 años). Por eso, durante esta fase se produce el mayor impacto ambiental y el mayor consumo de energía a lo largo de la vida del edificio. Pero debido a la complejidad de realizar un estudio de eficiencia energética del edificio de paneles contralaminados y del edificio convencional, los datos referidos en este apartado se han estimado de acuerdo a la bibliografía de referencia.

Los parámetros clave del rendimiento térmico de los paneles de madera contralaminada son el coeficiente de transmitancias térmica (U) y la resistencia térmica (R). Ambos están relacionados con el grosor del panel, los paneles con mayor espesor tienen bajos valores transmitancias térmica, por lo que asilan mejor y por lo tanto requieren menos aislamiento. En comparación con otros materiales, la madera en general tiene una capacidad de aislamiento térmico alrededor de 10 veces la de hormigón y mampostería, y 400 veces mayor que la de acero (Continuing Education, 2013).

Además, dado que los paneles se fabrican utilizando equipos de corte con tolerancias muy precisas, las juntas de los paneles encajan a la perfección y el resultado es una mejor eficiencia energética para la estructura. Debido a que los paneles son sólidos, hay pocas posibilidades de flujo de aire a través del sistema. Como resultado, se logra una envolvente para el edificio uniforme y sin puentes térmicos.

La empresa KLH, en base al resultado de investigaciones, afirma que se detecta una temperatura ambiente en edificios de madera 2°C más elevada que en construcciones macizas de ladrillo y hormigón. Usar madera en el cerramiento y estructura de los edificios los dota de un gran confort térmico, manteniendo un ambiente cálido en invierno y fresco en verano (KLH. *Wooden feelings* 2013, p. 11).

Cuando la madera está correctamente tratada es capaz de regular la humedad relativa y la temperatura del entorno gracias a sus propiedades higroscópicas. Esto ayuda a purificar el ambiente y mantener un grado de humedad óptimo

Otra ventaja de los paneles de madera contralaminada es que combinan muy bien con un nuevo concepto de construcción como son las casas pasivas. Se trata de una forma de construcción en el que se prioriza la eficiencia energética del edificio y el confort térmico, sustituyendo el sistema de calefacción adicional por un calentamiento continuo de aire fresco.

Cada vez será más frecuente la construcción de casas pasivas ya que el Parlamento Europeo aprobó una directiva para que los edificios construidos a partir de 2020, se ajusten a unas nuevas exigencias de demanda energéticas y que los ya construidos se adapten en la forma de lo posible. Por ello, de cara al futuro, los paneles de madera contralaminada pueden cobrar un papel importante con el aumento de las construcciones sostenibles.

## 4.6. Mantenimiento y reparación

---

Para la metodología de Análisis del Ciclo de Vida (ACV), se considera que el mantenimiento que se tiene que realizar durante la vida útil de un edificio (50 años), tiene un impacto medioambiental y un consumo de energía tan bajo, que se considera despreciable en el cómputo global del edificio.

Esto no quiere decir que el edificio se mantenga en su estado original sin realizar ningún tipo de trabajo, se deben realizar las tareas necesarias para conservar el edificio en un estado óptimo para su uso. A continuación, se describirán cuáles son las más importantes.

En el caso de que los paneles de madera contralaminada tengan alguna cara vista, que suele ser la cara interior de la vivienda, el principal daño que reciben al cabo del tiempo es la pérdida de brillo y de color por la constante incidencia de los rayos del Sol. La solución es repintar la superficie de los paneles con un barniz resistente que asegure el buen aspecto de la madera (Wadel 2009, p. 215).

En edificios construidos de forma convencional, el mantenimiento de acabados suele ser muy parecido. Se trata de pintar con pinturas plásticas los acabados de las particiones y las superficies interiores de los cerramientos de forma periódica para asegurar un buen aspecto (Wadel 2009, p. 195).

Además del repintado de acabados, las obras de reparación más usuales son la sustitución de materiales sintéticos y piezas cerámicas en revestimientos interiores y reemplazo de piezas de fontanería en baños y cocina. Y en caso de daño importante sobre la estructura, se realizarán trabajos inmediatos para asegurar la resistencia mecánica y la estabilidad de la edificación.

Como las tareas de mantenimiento y reparación en los dos edificios son similares, se considera que tiene la misma influencia en el ciclo de la vida del edificio y por lo tanto, en este apartado no hay un método de construcción más eficiente que el otro.

## 4.7. Demolición

---

Para finalizar el ciclo de vida de un edificio, el solar sobre el que se construyó tiene que quedar en las mismas condiciones en las que estaba antes de ser edificado, para volver a su estado original y poder ser utilizado nuevamente.

Se puede proceder de distintas formas a dejar el solar en su estado inicial. Antes de todo, hay que estudiar cada caso y elegir el proceso que más se adecue a las características de la construcción. Respecto a los dos casos de este proyecto, para el edificio construido de forma convencional, se procede a derribar todo el volumen de la edificación sobre rasante, sin diferencias los tipos de materiales que se está derribando. Mientras que el edificio construido con paneles contralaminados, se irá desmontando toda la estructura progresivamente, desde los niveles superiores hasta la cimentación.

Es fundamental hacer una buena planificación de las operaciones de demolición en obra, para reducir todo tipo de impactos al medio ambiente y evitar problemas a las edificaciones colindantes como: vibraciones, ruido y polvo.

Las operaciones de demolición o desmontaje suponen la utilización de mano de obra y medios auxiliares para poder llevarlas a cabo. Como la mano de obra es muy difícil de calcular, sólo se ha calculado el consumo de energía y el impacto medioambiental que está directamente asociados a la maquinaria.

En la comparativa de las repercusiones que tiene el proceso de instalación de los materiales del edificio modelo de madera contralaminada y del edificio modelo convencional, se tendrán en cuenta las tareas relacionadas a los elementos estructurales del edificio (paneles contralaminados y hormigón armado). Ya que estos materiales son los representativos de cada tipología constructiva y calcular el resto de materiales es una tarea muy compleja. Tampoco se tendrá en cuenta los trabajos relacionados con la cimentación, ya que tiene el mismo valor para los dos edificios.

Para calcular el impacto medioambiental y el consumo de energía de las operaciones de demolición del edificio convencional se utilizará la base de datos del banco BEDEC. Esta tarea incluye el uso maquinaria pesada como: pala excavadora giratoria sobre cadenas, pala cargadora sobre neumáticos y compresor con dos martillos neumáticos:

- Derribo de edificación aislada, de más de 250 m<sup>3</sup> de volumen aparente, de 8 a 10 m de altura, con estructura de hormigón armado, sin derribo de cimientos, solera ni medianeras, sin separación, transporte ni gestión de residuos ni residuos especiales, con medios manuales y mecánicos y carga mecánica de escombros sobre camión o contenedor (consumo energético: 58,43 MJ/m<sup>3</sup>, impacto medioambiental: 14,78 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>).

Para poder calcular la repercusión del derribo del edificio convencional, es necesario conocer su volumen aparente. Utilizando la maqueta virtual de edificio convencional, mediante el programa Revit, se ha obtenido un resultado del volumen aparente de 2.790 m<sup>3</sup>. Con este dato y el impacto de la maquinaria defino anteriormente, se ha calculado en la siguiente tabla, la repercusión total de la demolición del edificio convencional.

Tabla 4.9. Repercusión de la demolición del edificio convencional

| Código   | Maquinaria                | Coste energético (MJ) | Emisiones CO <sub>2</sub> (kg) |
|----------|---------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| E211159D | Derribo de la edificación | 163.019,70            | 41.236,20                      |

Fuente: elaboración propia (El código sirve para identificar la maquinaria en la base de datos)

Para el caso de un edificio construido con paneles contralaminados, el procedimiento a seguir es muy diferente al de un edificio convencional, ya que en vez de demoler el edificio para posteriormente separar de los residuos, los paneles de madera contralaminados se desmontan para ser reutilizados.

En este caso, se procede a desmontar los módulos de las viviendas y zonas comunes del edificio con ayuda de una grúa autopropulsada. Casi todos los paneles se pueden reutilizar, por ejemplo, los paneles que componen la estructura de la caja del ascensor, no se suelen volver a usar ya que son distintos para cada edificio. A penas se producen residuos durante el desmontaje, y los que hay son de fácil reciclaje (KLH. *Declaración ambiental de productos de acuerdo a ISO 14025, 2012, p. 6*).

La maquinaria utilizada para el desmontaje de los paneles es la misma que en su instalación, por lo que su uso tendrá unas repercusiones similares. Para tener en cuenta la demolición de los paneles que forman la estructura de la caja del ascensor, hay que considerar el volumen de esa estructura. De la maqueta virtual del edificio, se ha obtenido que estructura de la caja del ascensor ocupa un volumen de 71 m<sup>3</sup>.

Teniendo en cuenta las necesidades para desmontar los paneles de madera contralaminada y en algún caso demoler parte de la estructura, se ha considera utilizar la siguiente maquinaria de la base de datos del banco BEDEC:

- Camión grúa para trabajos generales, limpieza y transporte de herramientas de 5 t de carga, 12 m de alcance vertical, 9 de alcance horizontal y 25 kNm de momento de elevación (consumo energético: 1.217,24 MJ/hora, impacto medioambiental: 317,94 kg CO<sub>2</sub>/hora).
- Grúa autopropulsada de 12 t (consumo energético: 754,69 MJ/hora, impacto medioambiental: 197,13 kg CO<sub>2</sub>/hora).
- Derribo de edificación aislada, de 30 a 250 m<sup>3</sup> de volumen aparente, de 4 a 8 m de altura, con estructura de obra de fábrica, sin derribo de cimientos, solera ni medianeras, sin separación, transporte ni gestión de residuos ni residuos especiales, con medios manuales y mecánicos y carga mecánica de escombros sobre camión o contenedor (consumo energético: 60,41/m<sup>3</sup>, impacto medioambiental: 15,14 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>).

En función de la maquinaria a utilizar, se ha calculado en la siguiente tabla el impacto medioambiental y el coste energético total de desmontar los paneles contralaminados y demoler la estructura del ascensor es el siguiente:

Tabla 4.10. Repercusión de la demolición de la estructura del edificio de paneles contralaminados

| Código       | Maquinaria                            | Coste energético (MJ) | Emisiones CO <sub>2</sub> (kg) |
|--------------|---------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| C1502221     | Camión grúa                           | 48.689,60             | 12.717,60                      |
| C150G800     | Grúa autopropulsada                   | 30.187,60             | 7.885,20                       |
| E2111699     | Derribo de la estructura del ascensor | 4.289,11              | 1.074,94                       |
| <b>TOTAL</b> |                                       | <b>83.166,31</b>      | <b>21.677,14</b>               |

Fuente: elaboración propia (El código sirve para identificar la maquinaria en la base de datos)

El siguiente gráfico muestra una comparativa del consumo energético y el impacto medioambiental producido por la demolición de los principales materiales que componen el edificio modelo de madera contralaminada y el modelo de edificación convencional.

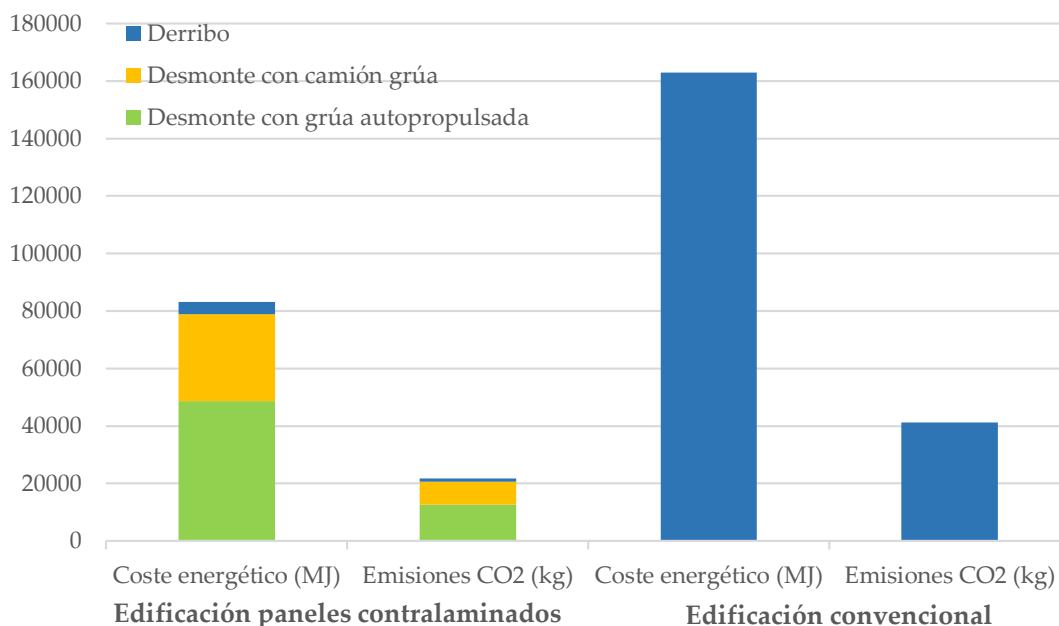


Fig. 4.13. Coste energético (MJ) e impacto medioambiental (kg CO<sub>2</sub>) en la demolición y desmontaje de las dos tipologías constructivas (Fuente: elaboración propia).



Al analizar el gráfico, se observa una gran diferencia entre el consumo de energía y el impacto medioambiental de la demolición y desmontaje de los dos edificios. En esta fase, las repercusiones de la demolición del edificio convencional son cerca del doble que para el edificio de paneles contralaminados. Esto se debe principalmente al tipo de maquinaria utilizada en cada sistema. Para llevar a cabo la demolición integral de un edificio de 6 plantas de altura con estructura de hormigón armado, es necesario el uso de maquinaria pesada con un alto impacto ambiental. Sin embargo, siguiendo las recomendaciones de los fabricantes y con un equipo experimentado en este tipo de tareas, se pueden optimizar los trabajos de desmontaje y demolición, reduciendo el tiempo y uso de maquinaria.

## 4.8. Valorización y eliminación de los residuos

---

En la última etapa del ACV de un edificio, se trata de llevar a cabo el cierre de ciclo de los materiales utilizados, de la forma más sostenible posible. Esto se consigue reutilizando la mayor cantidad de materiales, lo que supone una reducción del impacto medioambiental y el consumo de energía en las primeras fases del nuevo ciclo del material (extracción de materias primas y fabricación).

Para el edificio de estructura convencional que se está estudiando, en este apartado es necesario llevar a cabo una gestión los residuos generados en su demolición. Mientras que para el caso de la construcción de madera contralaminada, se tratará de analizar cómo se pueden reutilizar los paneles contralaminados. Esta fase cobra más importancia desde que en 2008, las tareas de reutilización, reciclaje y eliminación de los residuos de construcción y demolición quedan reguladas por el Real Decreto 105/2008 (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. *Real decreto 105/2008 por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición*, 2008).

Para cuantificar la cantidad de residuos de demolición que se generan por el edificio convencional, se ha tomado como referencia un estudio realizado por el Instituto Tecnológico de la Construcción de Cataluña (ITeC) para la Comisión Europea de la Dirección General de Medioambiente (*Situación actual y perspectivas de futuro de los residuos de la construcción*, 2000).

En ese informe, para poder contrastar distintos resultados, se ha llevado a cabo el seguimiento de una serie de obras de demolición y de vertederos de materiales de construcción. Se ha considerado que la mayoría de los edificios que se derriban es por quedarse obsoletos, y que es posible determinar una edad para los edificios construidos en una misma época, ya que era casi todos construidos de la misma forma.

Mediante este estudio, es posible determinar las cantidades de los materiales utilizados en una edificación convencional, por medio de una medición (ITeC. *Situación actual y perspectivas de futuro de los residuos de la construcción* 2000, p. 28), obtenido los volúmenes resultantes que dependen de un coeficiente de esponjamiento.

La siguiente tabla muestra los residuos generados en la demolición del edificio convencional, según el estudio analítico realizado por el ITeC acerca de la composición de los edificios de entre 75 y 100 años de antigüedad. La evaluación del volumen de residuos se tiene en cuenta para un edificio de viviendas de estructura de hormigón. Los resultados dependen de la superficie construida del modelo virtual del edificio, que se ha estimado en 842 m<sup>2</sup>.

Tabla 4.11. Evaluación del volumen de residuos de derribo en la edificación convencional

| Materiales            | Residuo generado (m <sup>3</sup> ) |
|-----------------------|------------------------------------|
| Obra de fábrica       | 329,72                             |
| Hormigones y morteros | 452,81                             |
| Pétreos               | 29,91                              |
| Metales               | 3,10                               |
| Vidrio                | 4,05                               |
| Plásticos             | 0,86                               |
| Betunes               | 1,03                               |
| Otros                 | 13,19                              |
| <b>TOTAL</b>          | <b>835,28</b>                      |

(Fuente: elaboración propia. La proporción de residuo m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> construido se ha obtenido del ITeC. *Situación actual y perspectivas de futuro de los residuos de la construcción 2000*, p. 28)

De los residuos generados, el hormigón y los morteros suponen el mayor porcentaje ya que son utilizados para formar las estructuras y como parte de los cerramientos y particiones cerámicas (ver figura 4.14).

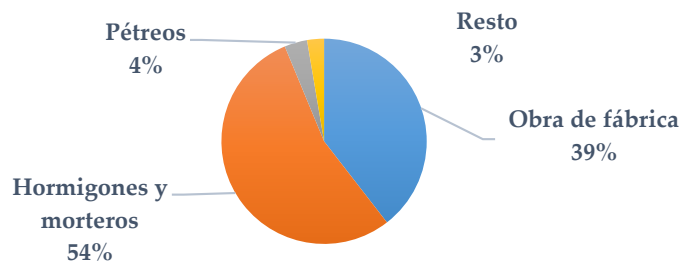


Fig. 4.14. Distribución de residuos en el derribo de la edificación convencional (Fuente: elaboración propia)

Al mismo tiempo que se realiza la medición de los residuos, hay que planificar la valorización de los sobrantes (reutilización, reciclaje o disposición).

Según el Instituto Tecnológico de la Construcción de Cataluña, la gestión interna de los residuos de un edificio residencial en España, actualmente solo comprende tareas de separación en función de su origen (materiales pétreos, no especiales y especiales). Y la gestión externa de los residuos de una obra convencional, se suelen valorizar de un único modo, depositando los residuos en el vertedero (ITeC. *Plan de gestión de residuos* 2000, p. 30).

Aunque en la mayoría de las obras convencionales de España, la desconstrucción consiste en únicamente separar los residuos una vez el edificio ha sido derribado, existen otras alternativas para el reciclaje de los materiales.

Los residuos del hormigón que se han utilizado para formar las estructuras del edificio, se puede reciclar y utilizar como árido para fabricar nuevos hormigones, aunque hay que prestar atención a que esté limpio de otros residuos como armaduras, materiales cerámicos, y plásticos. También se puede utilizar como sub-base para las carreteras o para el relleno de terraplenes. En caso de que no se pueda reciclar, se deposita en los contenedores junto a otros escombros inertes para llevarlos al vertedero (Yifan, 2012).

Las armaduras de acero que se han utilizado en las estructuras se pueden separar del hormigón mediante métodos electromagnéticos, para que posteriormente se pueda valorizar el acero como chatarra (Mora, 2013).

Para el caso del edificio de paneles contralaminados, es totalmente diferente a una construcción convencional, ya que casi todos los paneles se pueden reutilizar y apenas se producen residuos durante el desmontaje. Los pocos residuos de madera que se producen son fácilmente reciclables. Los únicos paneles que no se pueden volver a utilizar con la función para la que fueron fabricados, son los paneles que componen la estructura de la caja del ascensor porque que son distintos para cada edificio

La madera es uno de los materiales empleados en la construcción con mejores propiedades en la fase final de su ACV, independientemente de si se reutiliza, se recicla o se aprovecha técnicamente. Tiene diferentes posibilidades de valorización, desde la

reutilización, hasta el aprovechamiento energético por combustión controlada (Mora, 2013). Por ello, como los paneles de madera contralaminada no suponen un residuo que acabe en el vertedero, no se calcula la cantidad de residuos generados por la demolición del edificio de paneles contralaminados.

La madera puede quemarse en una planta de combustión al final de su vida útil. La empresa KLH, fabricante de los paneles contralaminados, estima que la energía calorífica útil obtenida de la combustión de los paneles es de 500 kWh/m<sup>2</sup> (KLH. *Medio ambiente y sostenibilidad* 2013, p. 24). Para el edificio de paneles contralaminados que se está analizando, supondría la obtención de una energía de 430.000 KWh. La madera utilizada técnicamente se considera como sustitución de combustibles fósiles, como fuente de energía renovable, que sólo libera a la atmósfera CO<sub>2</sub> que antes ha absorbido y fijado.

Por todo esto, los paneles de madera contralaminada, tiene una clara ventaja frente a las estructuras de hormigón armado a la hora de gestionar los residuos. Mientras que las estructuras de hormigón armado no se pueden reutilizar por ser construidas “in situ”, los paneles contralaminados son módulos prefabricados que sí se puede volver a utilizar. Y la valorización de los residuos de los paneles, no solo evita el impacto medioambiental producido por los vertederos de residuos de construcción, sino que su combustión aporta energía calorífica.

## 4.9. Repercusión económica

---

Este apartado está fuera del ciclo de vida del edificio, pero es necesario comparar el precio de las dos tipologías constructivas, porque la repercusión económica que pueda tener un proyecto es un factor determinante a la hora de elegir el método constructivo.

El sistema constructivo de paneles de madera contralaminada, cuenta con las características edificatorias de construir con módulos prefabricados. El hecho de ser un producto industrializado, tiene las siguientes ventajas: facilidad de montaje, tiempo de construcción breve, menor riesgo de que se produzcan accidentes y evitar las desviaciones de costes y plazos (KLH. *Madera Contralaminada* 2013, p. 4).

Uno de los parámetros que más influye en el coste de una obra es el tiempo de ejecución. Los gastos indirectos de una obra, o partidas que afectan al conjunto de la obra, dependen directamente del tiempo que dure la obra. Son gastos destinados al alquiler de la maquinaria y contratación del personal que dependen del ritmo de construcción de la obra. Por eso, utilizar paneles contralaminados supone un ahorro en tiempo de construcción, y por tanto un ahorro económico, frente a los sistemas de construcción convencional.

En cuanto a los gastos directos de la obra, el tiempo no interviene en el coste porque depende exclusivamente de los materiales de construcción utilizados, de la mano de obra necesaria y de los medios auxiliares.

En un estudio llevado a cabo por FPInnovations, los investigadores compararon el coste de ejecución de distintas obras con sistemas constructivos convencionales y obras similares con paneles de madera contralaminada (FPInnovations. *Cross Laminated Timber Handbook* 2013, p. 25).

En el siguiente gráfico se muestran los resultados obtenidos por el estudio, en el que se ha calculado el coste por metro cuadrado de la estructura de tres edificios residenciales de 3, 5 y 8 plantas, contruidos con paneles contralaminados y de forma convencional.

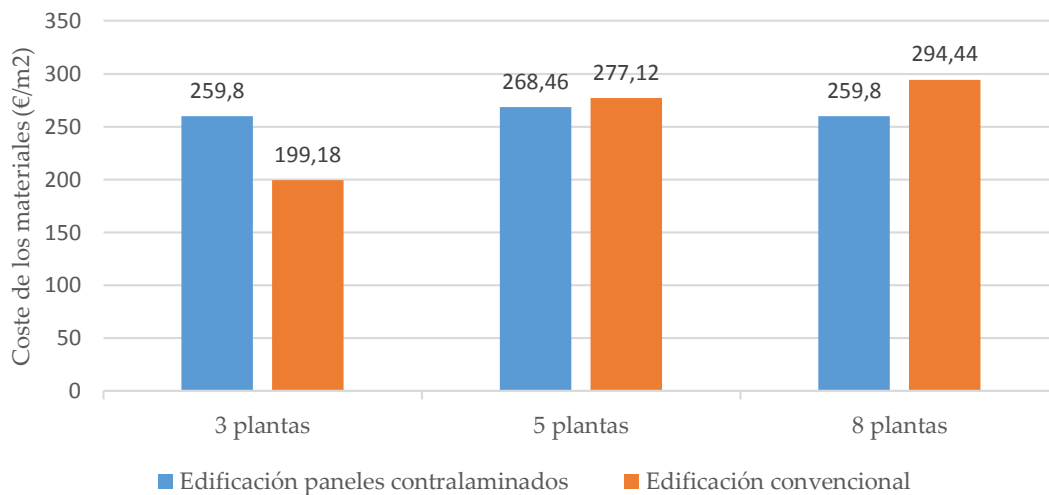


Fig. 4.15. Coste de la estructura de 3 edificios de madera contralaminada y de 3 edificios convencionales (Fuente: FPInnovations. *Cross Laminated Timber Handbook* 2013, p. 25)

Al analizar el gráfico y comparar el coste de los dos edificios, se llega a la idea de que a medida que se van ampliando el número de plantas, el sistema de paneles contralaminados es más competitivo económicamente y a partir de cierta altura, llega a ser más barato que el método de construcción convencional.

Para entender por qué los paneles se vuelven más económicos a partir de cierta altura, habría que analizar el coste de los materiales estructurales. En el caso del hormigón armado, conforme se aumenta el número de plantas del edificio, aumenta el coste de construcción por la sobrecarga del material.

Sin embargo, el estudio llevado a cabo por FPInnovations, ha considerado que los edificios estudiados fueron construidos en Canadá. Y la construcción con paneles de madera contralaminada en España, es diferente a Canadá en cuanto al transporte de materiales, ya que son suministrados desde el extranjero, lo que supone un encarecimiento del producto.

Gracias a este análisis, se puede llegar a la conclusión de que para una altura media residencial (a partir de 5 plantas) el coste de ejecución de un edificio de paneles contralaminados será similar o más barato que un edificio convencional, siempre y cuando el transporte de los paneles no suponga un encarecimiento desproporcionado para el presupuesto de ejecución.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

Que los paneles de madera contralaminada suponen una alternativa a los edificios contruidos con estructura de hormigón armado es una realidad. En países del centro-norte de Europa o Australia y Canadá, cada vez son más el número de edificios que se construyen con este material.

Sin embargo, no es un producto del todo conocido en España, por lo que los profesionales del sector de la construcción no tienen la oportunidad de plantearse construir un edificio con estos paneles. Los paneles de madera contralaminada, permiten construir edificios en altura y no están limitados a viviendas unifamiliares de poca altura, que es lo que hasta ahora se venía construyendo en España con estructuras de madera. Al ser un producto novedoso, poco conocido en el sector de la construcción, se puede llegar al pensamiento erróneo de considerar la estructura de un edificio de madera como un sistema poco rígido y no muy resistente.

Por ello, es fundamental elaborar estudios y trabajos como este, que muestren las propiedades de la madera contralaminada y fomenten su uso como material estructural en alternativa a las construcciones de hormigón armado.

En España, el uso de la madera como material estructural está regulado por el Código Técnico de la Edificación en el DB SE-M (Ministerio de Fomento. *Documento Básico sobre Seguridad Estructural: Madera*, 2009), basado en el Eurocódigo 5. Para los paneles contralaminados en concreto, se dispone de la norma UNE-EN 386 (Aenor. *Madera laminada encolada.*, 2012), que desarrolla las especificaciones y requisitos de fabricación de la madera contralaminada.

Luego, los paneles de madera contralaminada, no tienen ninguna limitación a nivel técnico en comparación con el hormigón armado, ni responden mal ante situaciones adversas como el fuego, los movimientos sísmicos, los insectos o la humedad (ver apartado 2.2.4. *Accidentes*, p. 28).



Económicamente, en el análisis del apartado 4.9. *Repercusión económica*, se ha demostrado que no hay mucha diferencia entre el coste de la estructura de un edificio de paneles contralaminados y un edificio convencional. La tendencia es que a medida que aumentan el número de plantas de un edificio de media altura, el coste total de la estructura de madera contralaminada se reduce en comparación con la de hormigón armado.

En cuanto a la sostenibilidad de construir con paneles de madera contralaminada, en el Capítulo 4, el análisis comparativo del impacto medioambiental y el consumo de energía de un edificio modelado con un sistema estructural de paneles contralaminados y otro edificio con el mismo diseño aparente, pero con la estructura de hormigón armado característica de las construcciones convencionales en España, ha permitido determinar qué método es más eficiente en cada una de las fases de la vida del edificio.

La comparativa del impacto medioambiental producido durante toda la vida del edificio de paneles contralaminados y del edificio convencional, se muestra en la Figura 5.1. Se han considerado los resultados obtenidos en las distintas fases del ciclo de la vida de los edificios. Por lo que el gráfico no muestra el suministro de materias primas, mantenimiento y reparación, operación, valorización y reutilización de recursos, por no haber sido calculado su impacto medioambiental.

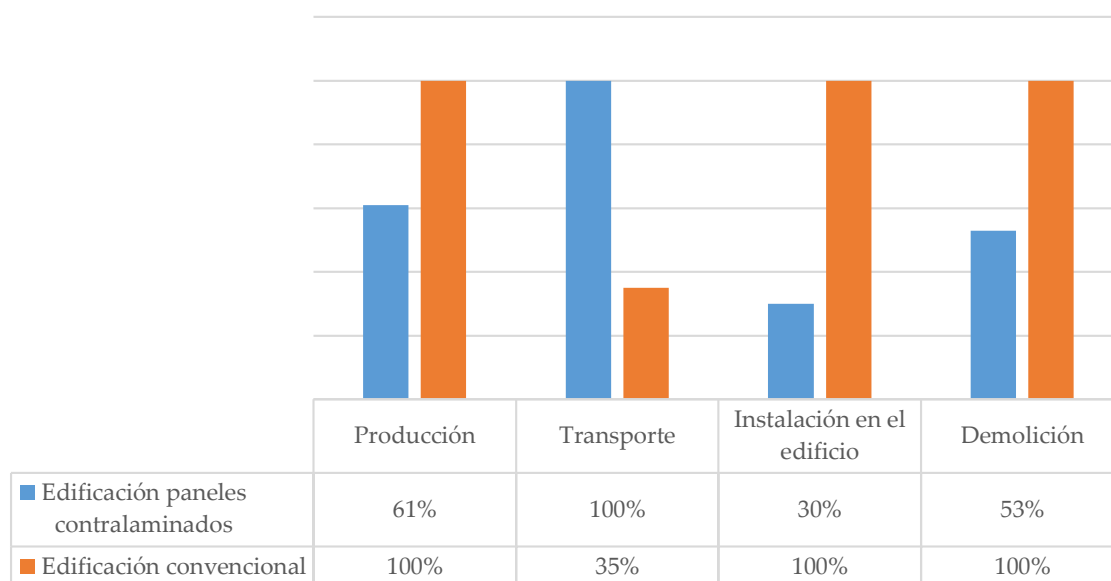


Fig. 5.1. Impacto medioambiental (kg CO<sub>2</sub>) de todas las fases de la vida del edificio de paneles contralaminados y del edificio convencional (Fuente: elaboración propia)

Como muestra el gráfico, salvo en el transporte de los materiales, en el resto de fases del ciclo de la vida del edificio, utilizar paneles de madera contralaminada en vez de materiales convencionales como el hormigón, supone una reducción de las emisiones de dióxido de carbono. Lo que contribuye a la reducción del efecto invernadero, y por lo tanto, a la reducción del calentamiento global.

La comparativa del consumo energético producido durante toda la vida del edificio de paneles contralaminados y del edificio convencional, se muestra en la Figura 5.2. Al igual que en el anterior gráfico, se han considerado los resultados obtenidos en las distintas fases del ciclo de la vida de los edificios, por lo que no se incluyen las fases en las que no se ha calculado el consumo energético.

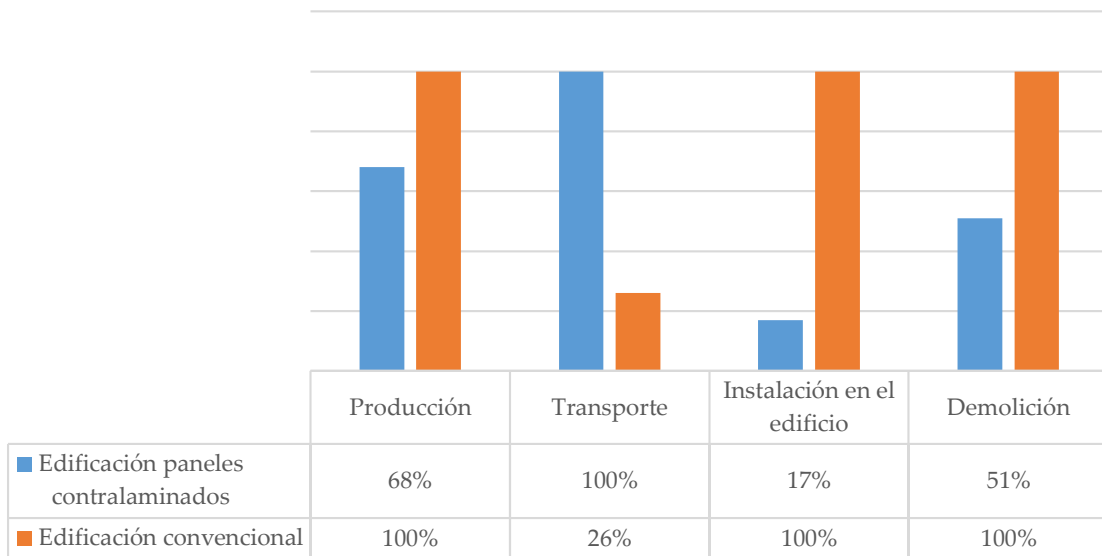


Fig. 5.2. Consumo energético (MJ) de todas las fases de la vida del edificio de paneles contralaminados y del edificio convencional (Fuente: elaboración propia)

El consumo energético durante la producción, instalación y demolición del edificio de paneles contralaminados es menor que para el convencional. Se trata de un producto novedoso que se fabrica utilizando menos energía que el resto de materiales convencionales, que utiliza técnicas constructivas más eficientes que ahorran tiempo y por lo tanto el uso de maquinaria. Sin embargo, el consumo de energía en el transporte de los materiales sí que es mayor que para los materiales convencionales, ya que tiene que ser transportados desde las fábricas especializadas en este material, que normalmente se encuentran en el extranjero.

Hay que destacar, que aunque no se ha calculado el impacto durante la operación del edificio, el confort térmico de los edificios de madera contralaminada es superior a los edificios convencionales. Y por tanto, un edificio de madera contralaminada ahorra energía, ya que como se ha visto en el *Apartado 4.5. Operación del edificio, p. 83*, la temperatura ambiente en edificio de madera es 2°C más elevada que en uno convencional.

La valoración de los paneles de madera contralaminada como material estructural ecológico, depende del origen de la materia prima. Para que el suministro de la madera con la que se fabrican los paneles contralaminados, no lleve a la deforestación y al daño del ecosistema, hay que asegurarse de que proceda de bosques administrados de forma sostenible. Esto se consigue con iniciativas como el “Programa de reconocimiento de Sistemas de Certificación Forestal”(PEFC), que certifica si la madera utilizada en los paneles contralaminados que produce una empresa, proviene de una silvicultura sostenible.

Las empresas encargadas de la fabricación de los paneles de madera contralaminada, utilizan un método de producción en base a los requerimientos actuales de sostenibilidad, que permiten ahorrar energía y proteger el medioambiente.

La madera es la única materia prima para construcción cuya fuente es renovable. La creciente preocupación por la salud y el impacto ambiental, así como la necesidad de una construcción durable y sostenible, están llevando a que cada vez se estén construyendo más edificios con paneles de madera contralaminada.

## CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

### 6.1. Disposiciones legales y normativa aplicada

---

- AENOR. *Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales tipo III. Principios y procedimientos*. UNE-EN ISO 14025. AENOR, 2006.
- AENOR. *Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego*. UNE-EN 1995-1-2. AENOR, 2011.
- AENOR. *Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia*. UNE-EN ISO 14040. AENOR, 2006.
- AENOR. *Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices*. UNE-EN ISO 14044. AENOR, 2006.
- AENOR. *Madera laminada encolada. Especificaciones y requisitos de fabricación*. UNE-EN 386:2002. AENOR, 2002.
- AENOR. *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 1, 2, 3 y 4*. UNE-EN ISO 15643-1, UNE-EN ISO 15643-2, UNE-EN ISO 15643-3 y UNE-EN ISO 15643-4. AENOR, 2012.
- INSTITUT DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓ DE CATALUNYA (ITeC). *Plan de Gestión de Residuos en las obras de construcción y demolición*. Barcelona: Servicio Editorial del ITeC, 2000, 87 p. ISBN: 84-7853-393-1.
- INSTITUT DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓ DE CATALUNYA (ITeC). *Situación actual y perspectivas de futuro de los residuos de la construcción*. Barcelona: Servicio Editorial del ITeC, 2000, 39 p. ISBN: 84-7853-383-4.
- MINISTERIO DE FOMENTO. *Documento Básico sobre Seguridad Estructural: Madera*. DB SE-M. Boletín Oficial del Estado. Madrid, 2009.
- MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO. *REAL DECRETO 105/2008 por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición*. Boletín Oficial del Estado. Madrid, 2008.

## 6.2. Bibliografía

---

- CASES ROCA, Josep; PALLÀS SATUÉ, Pilar. *Materiales tradicionales con nuevas prestaciones*. CERCHA. Febrero 2014, núm. 119, p. 56-62. Disponible en Internet: <<http://www.premaat.es/cercha/RevistasCercha/Cercha119/Cercha119.html>>.
- CEBRIÁN PICÓ, Rafael; FÉRRIZ PAPÍ, Juan Antonio; MARTINEZ PASTOR, Vicente. *Apuntes de Materiales de Construcción I*. Universidad de Alicante. 2011.
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS Y CONSUMOS ENERGÉTICOS (CIRCE). *Análisis de Ciclo de Vida y medioambiente de productos, actividades y servicios*. p. 34-35. (Consulta 11 de Febrero de 2015). Disponible en web: <<http://www.fcirce.es/ofertatecnologica/eficiencia-energetica.aspx>>.
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS Y CONSUMOS ENERGÉTICOS (CIRCE). *Manual explicativo del Análisis de Ciclo de Vida aplicado al sector de la edificación*. Proyecto EnerBuiLCA. 2012. Disponible en Internet: <<http://www.interreg-sudoe.eu/contenido-dinamico/libreria-ficheros/B111DBEF-C019-2BB8-348B-86B2596FD140.pdf>>.
- CRAWFORD, Robert. *Life Cycle Assessment in the Built Environment*. 2a ed. Nueva York: Spon Press, 2012. 244 p. ISBN 978-04-1555-795-5
- CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CSIC). *Modelo de cuantificación del consumo energético en edificación*. España. 2012. vol 62, Nº 308. p. 567-582 ISSN: 0465-2746. Disponible en Internet: <<http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/1203/1336>>.
- EGOIN. *Características y oportunidades que ofrece el tablero contralaminado en la construcción. Impresiones de un arquitecto*. Disponibilidad en Internet: <<http://aspiazu.com/content/02-investigacion/02-construccion-clt/01-construccion-egoin/clt.pdf>>.
- EGOIN. *Materiales & Productos*. Bizkaia. 27 p. Disponibilidad en Internet: <<http://www.panelesclt.com/documentos/catalogo-clt-egoin.pdf>>.
- ELÍAS CASTELLS, Xavier. *Energía, Agua, Medioambiente, Territorialidad y Sostenibilidad*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos. 2012. 1010 p. ISBN 978-84-9969-125-1
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005*. Roma, 2006. ISBN 92-5-305481-6. Disponible en Internet: <<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0400s/a0400s.pdf>>.
- FPINNOVATIONS. *Cross Laminated Timber: a Primer*. Pablo Crespell & Sylvain Gagnon. núm. 52. Canadá: FPInnovations, 2010. ISBN: 978-0-86488-545-6. Disponibilidad en

- Internet: <<https://fpinnovations.ca/media/factsheets/Documents/cross-laminated-timber-the-boook.pdf>>.
- FPINNOVATIONS. *Cross Laminated Timber Handbook*. FPIInnovations y Binational Softwood Lumber Council. Pointe-Claire (Canadá), 2013. ISBN 978-0-86488-53-1. Disponible en Internet: <[http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web\\_informational/dpds021903.pdf](http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web_informational/dpds021903.pdf)>.
  - GARCÍA GONZÁLEZ, Encarnación. *Apuntes de Equipos de Obra, Instalaciones y Medios Auxiliares*. Universidad de Alicante. 2012.
  - HERRERO, Jorge; MAYOR, Ana; PASCUAL, Adrián; RODRÍGUEZ, Francisco. *La Situación de los Bosques y el Sector Forestal en España 2013*. Pontevedra: Sociedad Española de Ciencias Forestales, 2013. 253p.
  - INSTITUT BAUEN UND UMWELT (IBU). *Declaración ambiental de productos de acuerdo a ISO 14025*. Alemania: 2012, p. 5-11. Disponibilidad en Internet: <[http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2013/Neu/Spanish/umweltproduktdekl\\_span/Umweltproduktdeklaration\\_span.pdf](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2013/Neu/Spanish/umweltproduktdekl_span/Umweltproduktdeklaration_span.pdf)>.
  - KLH MASSIVHOLZ GMBH. *Catálogo de elementos de construcción de pisos y apartamentos*. Australia: 2012, versión 01, p. 15-16. Disponibilidad en Internet: <[http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2013/Neu/Spanish/wohnbau\\_span/Wohnbau\\_span.pdf](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2013/Neu/Spanish/wohnbau_span/Wohnbau_span.pdf)>.
  - KLH MASSIVHOLZ GMBH. *Catálogo de elementos para la industria de la construcción*. Australia: 2012, versión 01, p. 6-20. Disponibilidad en Internet: <[http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2013/Neu/Spanish/konstruktion\\_span/Konstruktion\\_span.pdf](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2013/Neu/Spanish/konstruktion_span/Konstruktion_span.pdf)>.
  - KLH MASSIVHOLZ GMBH. *Datos Técnicos característicos*. Australia. Disponibilidad en Internet: <[http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Technische%20Anwendungen/Statik/ES/KLH\\_Datos\\_tecnicos\\_caracteristicos.pdf](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Technische%20Anwendungen/Statik/ES/KLH_Datos_tecnicos_caracteristicos.pdf)>.
  - KLH MASSIVHOLZ GMBH. *Wooden feelings*. Australia: 2013, p. 11. Disponibilidad en Internet: <[http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2013/Kreuzlagenholz/Wooden\\_feelings\\_span\\_DS.PDF](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2013/Kreuzlagenholz/Wooden_feelings_span_DS.PDF)>.
  - KLH MASSIVHOLZ GMBH. *Madera Contralaminada*. Australia: 2013, versión 02, p. 2-9. Disponibilidad en Internet: <[http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Download/Kreuzlagenholz\\_span.pdf](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2011/Download/Kreuzlagenholz_span.pdf)>.

- KLH MASSIVHOLZ GMBH. *Medio ambiente y sostenibilidad*. Australia: 2013, versión 01, p. 2-26. Disponibilidad en Internet: <[http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2013/Neu/Spanish/umwelt\\_nachhaltigkeit\\_span/Umwelt\\_Nachhaltigkeit\\_span.pdf](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2013/Neu/Spanish/umwelt_nachhaltigkeit_span/Umwelt_Nachhaltigkeit_span.pdf)>.
- KLH MASSIVHOLZ GMBH. *Montaje e Instalación*. Australia: 2012, versión 01, p. 11-19. Disponibilidad en Internet: <[http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2015/downloads/kreuzlagenholz/Montage\\_Install\\_span.pdf](http://www.klh.at/fileadmin/klh/kunde/2015/downloads/kreuzlagenholz/Montage_Install_span.pdf)>.
- MARTÍNEZ PASTOR, Vicente. *Apuntes de Materiales de Construcción II*. Universidad de Alicante. 2012.
- MEDINA ROMERO, Lara. *Análisis de la viabilidad económica y ambiental del uso de armaduras corrugadas de acero inoxidable en elementos de hormigón armado sometidos a clases de exposición agresivas. Aplicación a elementos en contacto con aguas residuales agresivas*. Director: Esther Real Saladrigas, Climent Molins i Borrell. 2010. Disponible en Internet: <<https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3319/9/55868-9.pdf>>.
- MORA GARCÍA, Raúl. *Apuntes de Proyectos Técnicos. Gestión de Residuos*. Universidad de Alicante. 2013.
- OFICINA CATALANA DEL CAMBIO CLIMÁTICO. *Guía Práctica para el Cálculo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero*. Generalitat de Catalunya. Cataluña: 2012, p. 27. Disponible en Internet: <[http://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/home/politiques/politiques\\_catalanes/la\\_mitigacio\\_del\\_canvi\\_climatic/guia\\_de\\_calcul\\_demissions\\_de\\_co2/120301\\_guia\\_practica\\_calcul\\_emissions\\_rev\\_es.pdf](http://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/home/politiques/politiques_catalanes/la_mitigacio_del_canvi_climatic/guia_de_calcul_demissions_de_co2/120301_guia_practica_calcul_emissions_rev_es.pdf)>.
- SABATÉ, C.; PETERS, C. *Una visión holística de la reducción del impacto ambiental en edificios del área del Mediterráneo*. Informes de la Construcción. Volumen 63. Universidad Ramon Llull. Barcelona: octubre 2011. ISSN 0020-0883. Disponible en Internet: <<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/1276/1360>>.
- SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CIENCIAS FORESTALES. *La situación de los bosques y el sector forestal en España*. Pontevedra. 2013. Disponible en Internet: <<http://www.congresoforesal.es/fichero.php?t=12225&i=529&m=2185>>.
- WADEL RAINA, Gerardo. *La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: la construcción modular ligera aplicada a la vivienda*. Director: Jaime Avellaneda Diaz-Grande. Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Construcciones Arquitectónicas, 2009. Disponible en Internet: <<http://www.tdx.cat/handle/10803/6136>>.
- ZABALZA BRIBIÁN, Ignacio; VALERO CAPILLA, Antonio; ARANDA USÓN, Alfonso. *Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental*

*impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza, 2011. Disponible en Internet:  
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132310003549>>.

- ZANNI, Enrique. *Patología de la madera: degradación y rehabilitación de estructuras de madera*. 1ª Edición. Córdoba (Argentina): Editorial Brujas, 2008. 242p. ISBN 987-1142-58-7.

### 6.3. Programas de cálculo y dibujo

---

- AUTODESK. 2016. *Revit 2016* (programa de ordenador). Autodesk S.O. Windows 8.
- INSTITUTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN (ITeC). *Banco BEDEC PR/PTC* (Base de datos). Barcelona: (ITeC), 2006 (Consulta 28 de Junio de 2015). Disponible en:  
<<http://itec.es/nouBedec.e/>>.

### 6.4. Otras referencias

---

- ASOCIACIÓN DE CIENCIAS AMBIENTALES. *7 millones de ciudadanos tienen dificultades para pagar las facturas de energía* (sitio web). (Consulta 15 de Diciembre de 2014). Disponible en: <<http://www.cienciasambientales.org.es/index.php/noticias/331-7-millones-de-ciudadanos-tienen-dificultades-para-pagar-las-facturas-de-energia-.html>>.
- BOSQUES NATURALES. *Superficie forestal en España* (sitio web). (Consulta 12 de Noviembre de 2014). Disponible en:  
<[http://www.bosquesnaturales.com/actividad\\_que\\_madera\\_superf.asp](http://www.bosquesnaturales.com/actividad_que_madera_superf.asp)>.
- CONTINUING EDUCATION. *Cross Laminated Timber* (sitio web). McGrall-Hill Construction. Layne Evans, Octubre 2013. (Consulta 23 de Febrero de 2015). Disponible en:  
<[http://continuingeducation.construction.com/article\\_print.php?L=312&C=1138](http://continuingeducation.construction.com/article_print.php?L=312&C=1138)>.
- ECOHABITAR. *Impacto de los materiales de construcción, análisis de ciclo de vida* (sitio web). Enero 2014. (Consulta 9 de Febrero de 2015). Disponible en:  
<<http://www.ecohabitar.org/impacto-de-los-materiales-de-construccion-analisis-de-ciclo-de-vida/>>.
- EGOIN. *Certificaciones y homologaciones* (sitio web). 2012. (Consulta 9 de Marzo de 2015). Disponible en: <<http://www.panelesclt.com/certificaciones-clt.html>>.
- FORTÉ. *Explore the world's tallest timber apartments* (sitio web). (Consulta 1 de Junio de 2015). Disponible en: <<http://www.forteliving.com.au/index.html>>.
- GREENPEACE. *Mining impacts* (sitio web). Abril 2010. (Consulta 2 de Febrero de 2015). Disponible en: <<http://www.greenpeace.org/international/en/campaigns/climate-change/coal/Mining-impacts/>>



- KLIMARK. *Rehabilitación de ruina del siglo XVIII para su conversión en un hotel rural* (Blog). Marzo 2013. (Consulta 1 de Junio de 2015). Disponible en: <<http://klimark.blogspot.com.es/2013/03/rehabilitacion-siglo-xviii.html>>.
- K LH. *El teatro flexible* (Blog). Abril 2013. (Consulta 1 de Junio de 2015). Disponible en: <<http://www.klh.at/es/blog/beitrag/el-teatro-flexible.html>>.
- LEND LEASE. *Explore the world's tallest timber apartments* (sitio web). (Consulta 11 de Mayo de 2015). Disponible en: <<http://www.forteliving.com.au/index.html>>.
- LLOBERA SERENTILL, Ramón. *Proyecto de ejecución de edificio plurifamiliar entre medianeras*. Lérida, Junio de 2013. (Consulta 29 de Mayo de 2015). Disponible en: <<https://plus.google.com/107702791952523750705/posts/hxFw74z4qR5?pid=6055529388886435090&oid=107702791952523750705>>.
- MERZ KLEY PARTNER. *BMW Alpenhotel Ammerwald* (sitio web). (Consulta 12 de Mayo de 2015). Disponible en: <<http://www.mkp-ing.com/projekte/wohnen-buro-hotel/bmw-alpenhotel-ammerwald-reutte-a>>.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL CANADA. *Full-scale fire resistance tests on cross-laminated timber* (sitio web). Febrero 2013. (Consulta 16 de Febrero de 2015). Disponible en: <<http://www.nrc-cnrc.gc.ca/ci-ic/article/v17n4-4>>.
- SAURA GÓMEZ, Pascual. *Proyecto de ejecución de edificio para 18 viviendas de protección pública con garaje y 8 trasteros en planta sótano, baja y cuatro alturas, planta ático con 10 trasteros y urbanización de parcela con piscina*. Alicante, 2008.
- WWF. *El origen del cambio climático* (sitio web). (Consulta 11 de Mayo de 2015). Disponible en: <[http://www.wwf.es/que\\_hacemos/cambio\\_climatico/causas/](http://www.wwf.es/que_hacemos/cambio_climatico/causas/)>.
- YIFAN. *Recycling concrete* (sitio web). 2012. (Consulta 18 de Marzo de 2015). Disponible en: <<http://www.recycling-concrete.com/>>.

## CAPÍTULO VII: ANEJOS

### Anejo nº1: Propiedades y mediciones de los materiales del edificio de madera contralaminada

---

- **Cimiento de hormigón armado HA-25/F/20/IIa** vertido con bomba, armado con 30 kg/m<sup>3</sup> de armadura AP500 S de acero en barras corrugadas (13512J30).
- **Forjado de panel de madera contralaminada de 125 mm** espesor formada por 5 de capas de madera encoladas con la disposición longitudinal de la madera en las dos caras del panel y acabado para revestir, incluye herrajes colocado con fijaciones mecánicas (E43SL5F0) (ver Fig. 4.6 / elemento 4).
- **Forjado de panel de madera contralaminada de 95 mm** espesor formada por 3 de capas de madera encoladas con la disposición longitudinal de la madera en las dos caras del panel y acabado para revestir, incluye herrajes colocados con fijaciones mecánicas (E43SL3A0).
- **Cubierta invertida** no transitable con pendientes de hormigón celular, capa separadora, impermeabilización con una membrana de una lámina de densidad superficial 3,8 kg/m<sup>2</sup> con lámina de betún modificado LBM (SBS)-40-FP de 160 g/m<sup>2</sup>, aislamiento con placas de poliestireno extruido de 40 mm, capa separadora con geotextil y acabado de azotea con capa de protección de canto rodado (15123NCH).
- **Pared de panel de madera contralaminada de 94 mm** espesor formada por 3 de capas de madera encoladas con la disposición transversal de la madera en las dos caras del panel y acabado para revestir, incluye herrajes, colocado con fijaciones mecánicas (E43TT390).
- Acero S275JR según UNE-EN 10025-2, formado por pieza simple, en **perfiles laminados** en caliente serie IPN, IPE, HEB, HEA, HEM y UPN, cortado a medida y con una capa de imprimación antioxidante (E4435111).
- **Pared de panel de madera contralaminada de 57 mm** espesor formada por 3 de capas de madera encoladas con la disposición transversal de la madera en las dos caras del panel y acabado para revestir, incluye herrajes, colocado con fijaciones mecánicas (E43TT330).

- **Placa rígida de lana de roca** UNE-EN 13162, de densidad 66 a 85 kg/m<sup>3</sup> de 120 mm de espesor (B7C9TN00).
- **Barrera de vapor/estanqueidad** con lámina autoadhesiva de betún modificado LBA (SBS) 15-PE con armadura de film de poliolefina, colocada sobre paramento vertical (E7A12702).
- **Enfoscado proyectado** maestreado sobre paramento vertical exterior, a más de 3,00 m de altura, con mortero uso corriente (GP), de designación CSIII-W1, según la norma UNE-EN 998-1, fratasado (E811B6S2).
- **Trasdosado de placas de yeso laminado** formado por estructura autoportante arriostrada normal con perfilera de plancha de acero galvanizado, con un espesor total del trasdosado de 85 mm, montantes cada 600 mm de 70 mm de ancho y canales de 70 mm de ancho, con 1 placa tipo resistente al fuego (F) de 15 mm de espesor, fijada mecánicamente (E83E5DHA).
- Cerramiento exterior practicable para un hueco de obra aproximado de 150x220 cm, con **balconera de madera** de iroko barnizada de dos hojas batientes y clasificación mínima 3 8A C4 según normas, premarco de madera, vidrio aislante de dos lunas incoloras y cámara de aire 6/8/4, y persiana enrollable de aluminio lacado con mando con cinta y guías (1A12G7L6).
- Cerramiento exterior practicable para un hueco de obra aproximado de 120x120 cm, con **ventana de madera** de iroko barnizada de dos hojas batientes y clasificación mínima 3 8A C4 según normas, premarco de madera, vidrio aislante de dos lunas incoloras y cámara de aire 6/8/4, y persiana enrollable de aluminio lacado con mando con cinta y guías (1A126FL6).
- **Parquet adherido de tablas de madera** de roble nacional nature de 250x50x10 mm, colocado a rompejuntas, adherido con caucho sintético (E9Q14112).
- **Pavimento de PVC** homogéneo en loseta de 300x300 mm, clase 33-42, según UNE-EN 649 y espesor de 2 mm, colocado con adhesivo acrílico de dispersión acuosa y soldado en caliente con cordón celular de diámetro 4 mm (E9P23A72).
- **Aislamiento de plancha de poliestireno extruido** (XPS) UNE-EN 13164 de 30 mm de espesor y resistencia a compresión  $\geq 250$  kPa, resistencia térmica entre 0,96774 y 0,88235 m<sup>2</sup>.K/W, con la superficie lisa y con canto machihembrado, colocada con mortero adhesivo (E7C2F333).

- **Falso techo continuo de placas de yeso laminado** tipo estándar (A), para revestir, de 12,5 mm de espesor y borde afinado (BA), con entramado estructura simple de acero galvanizado formado por perfiles colocados cada 600 mm fijados al techo mediante varilla de suspensión cada 1,2 m , para una altura de falso techo de 4 m como máximo (E8443220).

Tabla A.1. Cómputo de materiales del modelo de edificio de madera contralaminada

| Código   | U.M.           | Material  | Medición | Coste energético |              | Emisiones CO <sub>2</sub> |            |
|----------|----------------|---|----------|------------------|--------------|---------------------------|------------|
|          |                |   |          | (MJ/u.m.)        | (MJ) Total   | (Kg/u.m.)                 | (Kg) Total |
| 13512J30 | m <sup>3</sup> | Cimentación de hormigón armado                        | 113,00   | 2.687,20         | 303.653,60   | 384,63                    | 43.463,19  |
| E43SL5F0 | m <sup>2</sup> | Forjado de panel de madera contralaminada de 5 capas  | 671,00   | 240,39           | 161.301,69   | 16,47                     | 11.051,37  |
| E43SL3A0 | m <sup>2</sup> | Forjado de cubierta de panel de madera contralaminada | 63,00    | 162,59           | 10.243,17    | 9,49                      | 597,87     |
| 15123NCH | m <sup>2</sup> | Cubierta invertida                                    | 139,00   | 638,43           | 88.741,77    | 106,57                    | 14.813,23  |
| E43TT390 | m <sup>2</sup> | Estructura vertical de panel de madera contralaminada | 975,00   | 161,33           | 157.296,75   | 9,45                      | 9.213,75   |
| E4435111 | kg             | Perfil de acero HEB                                   | 319,40   | 41,50            | 13.255,10    | 4,00                      | 1.277,60   |
| E43TT330 | m <sup>2</sup> | Partición de panel de madera contralaminada           | 611,00   | 114,71           | 70.087,81    | 8,12                      | 4.961,32   |
| B7C9T540 | m <sup>2</sup> | Aislamiento térmico de lana de roca                   | 857,00   | 202,06           | 173.165,42   | 12,81                     | 10.978,17  |
| E7A12702 | m <sup>2</sup> | Barrera de vapor                                      | 857,00   | 79,58            | 68.200,06    | 11,70                     | 10.026,90  |
| E811B6S2 | m <sup>2</sup> | Enfoscado proyectado de mortero                       | 857,00   | 59,12            | 50.665,84    | 9,93                      | 8.510,01   |
| E83E5DHA | m <sup>2</sup> | Trasdosado de placa de yeso laminado                  | 2.902,00 | 223,58           | 648.829,16   | 17,53                     | 50.872,06  |
| 1A12G7L6 | m <sup>2</sup> | Balconera de perfil de madera                         | 29,70    | 1.561,78         | 46.384,87    | 96,89                     | 2.877,63   |
| 1A126FL6 | m <sup>2</sup> | Carpintería exterior de perfil de madera              | 17,28    | 1.661,41         | 28.709,16    | 105,45                    | 1.822,18   |
| E9Q14112 | m <sup>2</sup> | Pavimento interior de parquet                         | 686,00   | 28,48            | 19.537,28    | 2,16                      | 1.481,76   |
| E9P23A72 | m <sup>2</sup> | Pavimento de PVC para baños                           | 48,00    | 219,26           | 10.524,48    | 32,36                     | 1.553,28   |
| E7C2F333 | m <sup>2</sup> | Aislamiento de poliestireno extruído                  | 734,00   | 119,66           | 87.830,44    | 17,67                     | 12.969,78  |
| E8443220 | m <sup>2</sup> | Falso techo de placa de yeso laminado                 | 587,00   | 138,13           | 81.082,31    | 10,32                     | 6.057,84   |
| TOTAL    |                |   |          |                  | 2.019.508,91 |                           | 192.527,94 |

(Las mediciones se han obtenido del modelo del edificio diseñado con Revit. El coste energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de medida se han obtenido de la base de datos Banco Bedec del ITeC)

## Anejo nº2: Propiedades y mediciones de los materiales del edificio convencional

---

- **Cimiento de hormigón armado** HA-25/F/20/IIa vertido con bomba, armado con 30 kg/m<sup>3</sup> de armadura AP500 S de acero en barras corrugadas (13512J30).
- **Forjado nervado reticular** de 25+5 cm, de casetones mortero de cemento con una cuantía de 0,61 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> de forjado, interejes 0,8 m, con una cuantía de 20 kg/m<sup>2</sup> de armadura AP500 S de acero en barras corrugadas, armadura AP500 T en mallas electrosoldadas de 20x20 cm, 5 y 5 mm de diámetro y 0,148 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de hormigón HA-25/B/20/I vertido con cubilote (145B6AG8).
- **Pilar de hormigón armado**, con encofrado para revestir, con una cuantía de 13,3 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, hormigón HA-25/B/10/I, vertido con cubilote y armadura AP500 S de acero en barras corrugadas con una cuantía de 120 kg/m<sup>3</sup> (14511337).
- **Cerramiento de obra de fábrica cerámica** para revestir de dos hojas, hoja principal exterior de pared apoyada de 14 cm de espesor de ladrillo perforado de 290x140x100 mm, colocado con mortero elaborado en obra, cámara de aire, aislamiento con placas de lana de roca de 50 mm de espesor y 66 a 85 kg/m<sup>3</sup> y hoja interior formada por tabique tomado con mortero elaborado en obra o yeso de 4 cm de espesor de ladrillo hueco sencillo de 290x140x40 mm, en tramo central. C1+J1+B2/B3 según CTE/DB-HS (1612AJF2).
- **Pared divisoria** apoyada de espesor 14 cm, de **ladrillo hueco doble**, LD, de 290x140x100 mm, para revestir, categoría I, según la norma UNE-EN 771-1, tomado con mortero para albañilería industrializado M 5 (5 N/mm<sup>2</sup>) de designación (G) según norma UNE-EN 998-2 (E612TRAV).
- **Cubierta invertida** no transitable con pendientes de hormigón celular, capa separadora, impermeabilización con una membrana de una lámina de densidad superficial 3,8 kg/m<sup>2</sup> con lámina de betún modificado LBM (SBS)-40-FP de 160 g/m<sup>2</sup>, aislamiento con placas de poliestireno extruido de 40 mm, capa separadora con geotextil y acabado de azotea con capa de protección de canto rodado (15123NCH).
- Cerramiento exterior practicable para un hueco de obra aproximado de 150x120 cm, con **ventana de aluminio** anodizado de dos hojas correderas con perfiles de precio alto y

- clasificación mínima 3 7A C3 según normas, premarco de tubo de acero galvanizado, vidrio aislante de dos lunas incoloras y cámara de aire 6 mm/8 mm/4 mm, y persiana enrollable de aluminio lacado con mando con cinta y guías (1A1EB111).
- Cerramiento exterior practicable para un hueco de obra aproximado de 120x220 cm, con **balconera de aluminio** anodizado de dos hojas batientes con perfiles de precio alto y clasificación mínima 4 9A C4 según normas, premarco de tubo de acero galvanizado, y vidrio aislante de seguridad y cámara de aire 4+4/8 mm/5 mm (1A1EG1A0).
  - **Enyesado maestreado sobre paramento vertical** interior, a 3,00 m de altura, como máximo, con yeso B1, acabado enlucido con yeso C6 según la norma UNE-EN 13279-1 (E8122112).
  - **Pintado de paramento vertical** de yeso, con pintura a la cola con acabado liso, con una capa de fondo diluida, y dos de acabado (E898J140).
  - **Alicatado de paramento vertical** interior a una altura  $\leq 3$  m con baldosa de gres porcelánico prensado esmaltado, grupo BIa (UNE-EN 14411), precio alto, de 6 a 15 piezas/m<sup>2</sup>, colocadas con adhesivo para baldosa cerámica C2 (UNE-EN 12004) y rejuntado con lechada CG2 (UNE-EN 13888) (E82C1Q2K).
  - **Falso techo** continuo de **placas de yeso laminado** tipo estándar (A), para revestir, de 12,5 mm de espesor y borde afinado (BA), con entramado estructura simple de acero galvanizado formado por perfiles colocados cada 600 mm fijados al techo mediante varilla de suspensión cada 1,2 m, para una altura de falso techo de 4 m como máximo (E8443220).
  - **Parquet adherido de tablas de madera** de roble nacional nature de 250x50x10 mm, colocado a rompejuntas, adherido con caucho sintético (E9Q14112).
  - **Pavimento interior**, de **baldosa de gres porcelánico** prensado sin esmaltar ni pulir, grupo BIa (UNE-EN 14411), de forma rectangular o cuadrada, precio medio, de 1 a 5 piezas/m<sup>2</sup>, colocadas con adhesivo para baldosa cerámica C2-TE (UNE-EN 12004) y rejuntado con lechada CG2 (UNE-EN 13888) (E9DC171D).
  - **Aislamiento de plancha de poliestireno extruido** (XPS) UNE-EN 13164 de 30 mm de espesor y resistencia a compresión  $\geq 250$  kPa, resistencia térmica entre 0,96774 y 0,88235 m<sup>2</sup>.K/W, con la superficie lisa y con canto machihembrado, colocada con mortero adhesivo (E7C2F333).

Tabla B.1. Cómputo de materiales del modelo de edificación convencional

| Código       | U.M.           | Material                                    | Medición | Coste energético |                     | Emisiones CO <sub>2</sub> |                   |
|--------------|----------------|---|----------|------------------|---------------------|---------------------------|-------------------|
|              |                |   |          | (MJ/u.m.)        | (MJ) Total          | (Kg/u.m.)                 | (Kg) Total        |
| 13512J30     | m <sup>3</sup> | Cimentación de hormigón armado              | 113,00   | 2.687,20         | 303.653,60          | 384,63                    | 43.463,19         |
| 145B6AG8     | m <sup>2</sup> | Forjado reticular                           | 735,00   | 1.342,13         | 986.465,55          | 130,65                    | 96.027,75         |
| 14511337     | m <sup>3</sup> | Pilar de hormigón armado                    | 19,66    | 7.183,89         | 141.235,28          | 716,21                    | 14.080,69         |
| 1612AJF2     | m <sup>2</sup> | Cerramiento de obra de fábrica cerámica     | 858,00   | 663,41           | 569.205,78          | 56,18                     | 48.202,44         |
| 15123NCH     | m <sup>2</sup> | Cubierta plana tipo invertida               | 139,00   | 638,43           | 88.741,77           | 106,57                    | 14.813,23         |
| E612TRAV     | m <sup>2</sup> | Partición interior cerámica                 | 600,00   | 297,53           | 178.518,00          | 25,31                     | 15.186,00         |
| 1A1EB111     | m <sup>2</sup> | Carpintería exterior con perfil de aluminio | 17,28    | 5.426,46         | 93.769,23           | 629,27                    | 10.873,79         |
| 1A1EG1A0     | m <sup>2</sup> | Balconera con perfil de aluminio            | 29,70    | 3.337,12         | 99.112,46           | 435,38                    | 12.930,79         |
| E8122112     | m <sup>2</sup> | Enyesado de paramentos interiores           | 2.841,00 | 22,46            | 63.808,86           | 1,99                      | 5.653,59          |
| E898J140     | m <sup>2</sup> | Pintado de paramento vertical               | 2.627,48 | 61,20            | 160.801,78          | 9,03                      | 23.726,14         |
| E82C1Q2K     | m <sup>2</sup> | Alicatado interior con gres para baños      | 213,52   | 351,68           | 75.090,71           | 37,48                     | 8.002,73          |
| E8443220     | m <sup>2</sup> | Falso techo de placas de yeso               | 693,00   | 138,13           | 95.724,09           | 10,32                     | 7.151,76          |
| 19C11332     | m <sup>2</sup> | Pavimento interior de parquet               | 617,27   | 28,48            | 17.579,85           | 2,16                      | 1.333,30          |
| E9DC171D     | m <sup>2</sup> | Pavimento interior de gres para baños       | 49,58    | 371,38           | 18.413,02           | 41,67                     | 2.066,00          |
| E7C2F333     | m <sup>2</sup> | Aislamiento de poliestireno extruído        | 666,85   | 119,66           | 79.795,27           | 17,67                     | 11.783,24         |
| <b>TOTAL</b> |                |   |          |                  | <b>2.971.915,25</b> |                           | <b>315.294,64</b> |

(Las mediciones se han obtenido del modelo del edificio diseñado con Revit. El coste energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de medida se han obtenido de la base de datos Banco Bedec del ITeC)