

TRABAJO DE FIN DE GRADO

## **EL PANEL DE MADERA CONTRALAMINADA**

Cerramiento ecoeficiente en España

Autor: Amaya Álvarez del Río

Universidad de Valladolid  
Grado en Fundamentos de la Arquitectura  
Tutora: Gemma Ramón Cueto

Septiembre 2016



---

**Universidad de Valladolid**



## RESUMEN

Este estudio se centra en el panel contralaminado de madera, en relación a su uso como cerramiento en España, y su nivel de sostenibilidad y eficiencia. Se abordarán estos dos aspectos, a través de un análisis del impacto ambiental durante todo el ciclo de vida de los cerramientos.

Por ello, nos centraremos en el panel como cerramiento, y como elemento eficiente, y sostenible, desde su fabricación hasta su papel en el edificio terminado. Esta visión global del impacto que produce, resultará de gran utilidad para conocer mejor este sistema constructivo bastante desconocido en nuestro país.

Para su análisis, se ha propuesto un edificio de madera contralaminada y calculado su impacto, para compararlo después con el mismo módulo, construido con los cerramientos convencionales que predominan en nuestro país.

## PALABRAS CLAVE

Eficiencia energética, sostenibilidad, madera contralaminada, ciclo de vida, impacto ambiental

# ÍNDICE

<b>0. Resumen</b>	
<b>1. Introducción</b>	
1.1. Objetivos	5
1.2. Justificación	5
1.3. Metodología	6
<b>2. Estado del arte</b>	
2.1. La madera contralaminada en el tiempo	7
2.2. ¿Qué es el CLT?	8
2.3. Proceso de fabricación	10
2.3.1. Selección de tablas	12
2.3.2. Agrupación de tablas	12
2.3.3. Aplicación del adhesivo	12
2.3.4. Fijación y prensado de los paneles	12
2.3.5. Acabado y control de calidad	13
2.3.6. Marcado, empaquetado y transporte del producto	13
2.4. Propiedades	13
2.4.1. Propiedades físicas	14
2.4.2. Propiedades mecánicas	16
2.4.3. Comportamiento al fuego	17
2.5. Normativa y Control de calidad	18
<b>3. Sostenibilidad del CLT</b>	20
3.1. La prefabricación	20
3.2. El Análisis del Ciclo de Vida	20
3.3. La sostenibilidad y la madera	23

3.4.	Recuperación de productos de madera	26
3.4.1.	Re-uso	26
3.4.2.	Reciclado	27
3.4.3.	Obtención de energía	28
<b>4.</b>	<b>Análisis de casos</b>	<b>29</b>
4.1.	Metodología	29
4.1.1.	Descripción	29
4.1.2.	Impacto ambiental en la fase de producción	30
4.1.3.	Evaluación energética en la fase de utilización	33
4.2.	Cerramientos de panel contralaminado	34
4.2.1.	Caso 1. Fachada ventilada	34
4.2.2.	Caso 2. Fachada SATE	38
4.2.3.	Caso 3. Cubierta ajardinada	41
4.2.4.	Caso 4. Forjado sanitaria	44
4.3.	Cerramientos convencionales	47
4.3.1.	Caso 5. Fachada ventilada	48
4.3.2.	Caso 6. Cubierta ajardinada	50
4.3.3.	Caso 7. Forjado sanitaria	53
4.4.	Propuesta y estudio de módulo de vivienda	56
4.4.1.	Definición del módulo	56
4.4.2.	Fase de construcción	57
4.4.3.	Fase de uso	58
<b>5.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>60</b>
5.1.	Cerramientos	60
5.2.	Sistema constructivo	62
<b>6.</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>64</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXO I. Declaración ambiental CLT</b>	<b>67</b>

# 1. Introducción

## 1.1. Objetivos

El objeto del presente trabajo es el estudio de cerramientos compuestos de madera contralaminada como hoja principal y su respuesta a los requerimientos climáticos y a las exigencias de la edificación, la comprobación del cumplimiento o incumplimiento de los requisitos mínimos establecidos en el Código Técnico de la Edificación (CTE) en su Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE), en factores de sostenibilidad, comportamiento higrotérmico, acústico, etc., haciendo un análisis a lo largo de su vida útil.

- > Estudiar las soluciones que se están aplicando actualmente.
- > Realizar un estudio comparativo en relación al ahorro de energía, proponiendo las mejores soluciones aplicadas a cada fachada.

El estudio se centra en posibles configuraciones de cerramientos que tienen además una función estructural, que actúan como muros de carga, por lo que se trata de edificios construidos completamente con madera.

## 1.2. Justificación e interés del tema

La madera es uno de los primeros materiales que ha empleado el hombre para construir sus refugios; con el paso del tiempo y el desarrollo de la técnica, se han descubierto nuevos materiales que poco a poco han desplazado, sobre todo en algunos países, el empleo de la madera en la construcción, ya que esta, causa del poco desarrollo en su técnica, limitaba mucho la libertad, que el hormigón y el acero proporcionaban.

En la actualidad, al ser conscientes del cambio climático global, la sociedad se ha visto obligada a buscar nuevos materiales y técnicas, a la vez que reinterpretar los antiguos, olvidados en las últimas décadas. Así sucede en el caso de la madera, la cual ha tenido una enorme evolución en las últimas décadas, y se ha convertido en uno de los mejores elementos de construcción sostenible.

El empleo de madera proveniente de bosques con explotación controlada, evitando siempre la deforestación, se ha convertido en la alternativa a aquellos sistemas constructivos con un grave índice de contaminación, suponiendo una alta eficiencia a largo plazo, en todas sus fases, desde la tala, hasta su posible reciclado como componente del edificio.

Por otro lado, la madera es un material ligero; los edificios de madera pesan menos, por tanto el volumen de su cimentación es menor, consiguiendo una actuación sobre el suelo menor.

Finalmente, la construcción en madera está completamente industrializada, con todas las ventajas que este hecho supone: abundan los elementos prefabricados; se facilita el control de calidad; rapidez de montaje al tratarse de uniones secas; flexibilidad y capacidad de reutilización de materiales. Todo ello en beneficio de la sostenibilidad de la construcción y mejora del medio ambiente.

### 1.3. Metodología

La investigación se centrará en el análisis de casos de cerramientos, habituales en España, que hayan utilizado el tablero de madera como hoja principal. Se centrará en el estudio del comportamiento térmico, y el impacto ambiental de los cerramientos con panel contralaminado.

Sentado lo anterior, el trabajo se dividirá en tres fases.

Una de los primeros pasos de la investigación es definir mediante un estudio bibliográfico, el marco teórico, otorgando las bases a la investigación. Se iniciará con una introducción del CLT como cerramiento a través de la historia, y a continuación se hará un estudio relacionado al conocimiento de la madera contralaminada y sus propiedades, y como última etapa dentro del marco teórico, estudiaremos las nuevas tecnologías aplicadas a la madera en la actualidad.

A continuación, en la segunda fase se pretender explicar, por qué este sistema ha conseguido hacerse hueco en el panorama constructivo actual, compitiendo en igual de condiciones, o incluso superando al hormigón o el acero, gracias a su sostenibilidad, bajo impacto ambiental, etc.

Por último, la tercera fase consta de un análisis de cerramientos existentes en el mercado. En esta fase se enumerarán y describirán cada una de estas, al igual que sus sistemas constructivos.

En esta fase, mediante un estudio bibliográfico se definirán los parámetros para el análisis de los distintos casos, estos deben asegurar el confort de cada una de los hogares en el edificio, como por ejemplo, técnicas de aislamiento acústica, técnicas de protección al fuego, técnicas de protección a la humedad, técnicas de aislamiento térmica, etc. Inicialmente se realizara una búsqueda exhaustiva de datos en estudios y ensayos ya realizados. Posteriormente, se elaboraran una serie de cálculos, con los que poder evaluar y comparar las prestaciones de cada uno.

## 2. Estado del arte

### 2.1. La madera contralaminada en el tiempo



A principios de la década de 1990, un producto innovador conocido como Cross Laminated Timber (Madera contralaminada), se presentó en Austria y Alemania. El impulso de su desarrollo se dio en Austria, debido a una necesidad de incentivar el consumo de la madera, y de desarrollar un producto acorde con las necesidades del momento.

PROHOLZ (asociación de industrias de madera), junto con centros de investigación, desarrollaron el TCL O PCL (Tablero o Panel Contralaminado), Cross Laminate Timber (CLT), X-lam, Panneaux de Bois Massif o Brettsperholz (TCL) Objetivos llevarlo a escala estructural y grandes formatos – estructuras superficiales.

Así, se consiguió primero un producto a escala estructural, y finalmente un elemento prefabricado con criterios de sostenibilidad.

Desde la década de 1990, este sistema se ha incorporado cada vez más en construcciones residenciales, por su facilidad de puesta en obra, prefabricación, y comportamiento térmico, acústico y comportamiento al fuego. En Bavaria, se construyó el primer edificio de 3 plantas de la mano de la compañía de madera alemana, Merk, donde el sistema se conocía como 'Dickholz', traducido como 'madera gruesa'.

A principios de la década del 2000, las técnicas de fabricación y construcción habían madurado lo suficiente para que producción a gran escala comenzase. A medida que la popularidad de la "nueva" tecnología crecía, otros países europeos comenzaron a crear sus propias fábricas.

En la década de los 2000, tras esta lenta evolución, la construcción con CLT se popularizó notablemente, las técnicas de fabricación y construcción habían madurado lo suficiente para que producción a gran escala comenzase. A esto contribuyó el movimiento verde de la construcción, al igual que la mejora en la eficiencia del CLT, su homologación como producto, y una mejora del marketing y las cadenas de distribución. Otro de los factores contribuyentes a esta creciente popularidad es la percepción del CLT, al igual que la fábrica y el hormigón, como un sistema de construcción rígida.<sup>1</sup>

1. Visita de obra de CLT. Burgos, altermateria. Fachada calle

Fuente: Elaboración propia

<sup>1</sup> Evolución histórica del CLT en Europa. "Introduction to cross laminated timber", M. Mohammad, Sylvain Gagnon, Eng., Bradford K. Douglas, P.E., Lisa Podesto P.E. Encontrado en [www.forestprod.org/buy\\_publications/resources/untitled/summer2012/Volume%2022,%20Issue%202%20Mohammad.pdf](http://www.forestprod.org/buy_publications/resources/untitled/summer2012/Volume%2022,%20Issue%202%20Mohammad.pdf), Julio 2016





Una cantidad significativa de edificios contralaminados se construyeron durante la pasada década incluyendo colegios, exposiciones, edificios públicos, viviendas unifamiliares.

Actualmente hay cientos de edificios y estructuras alrededor del mundo que usan CLT como material constructivo. Estas construcciones ilustran las numerosas ventajas que puede ofrecer a la industria de la construcción. Su presencia en Europa, ha demostrado que la competitividad en edificios de mediana y gran altura debido a su fácil manejo durante la construcción y el alto grado de prefabricación.

Baja energía de producción, madera de conífera (crecimiento rápido), elaborado a partir de tablas.

Permite todo tipo de madera (condición estructural a posteriori)

Cultivo de madera – silvicultura (ciencia que se ocupa de cuidado de los bosques, montes, y técnicas para una producción continua y sostenible – autogenera – inagotable.

## 2.2. ¿Qué es el CLT?

### · Para AITIM (ES) es:

“Tablero estructural formado por al menos 3 capas de tablas de madera de coníferas encoladas generalmente sólo en sus caras, y en algunas ocasiones también por sus cantos, de forma que las tablas de capas sucesivas sean perpendiculares entre sí, excepto en casos particulares con capas dobladas. Todas las tablas que componen cada capa del tablero deben estar clasificadas estructuralmente.

En español se denominan con las siglas TCL, tableros contralaminados, en inglés “Cross Laminated Timber, CLT o X Lam, en francés Panneaux de Bois Massif y en alemán como Brettsperrholz (BSP).

Los tableros contralaminados se diferencian de los tableros de madera maciza de tipo alistonado o tricapa (SWP, solid wood panels) por sus dimensiones muy superiores, tanto en espesor como en longitud, lo que implica técnicas de fabricación diferentes, y unas prestaciones estructurales diferentes.....”<sup>2</sup>

### · Para Pro-Holz (A) es:

“Producto superficial - Tableros Contralaminados son primos de las vigas laminadas pero desarrollados en formato plano en lugar del lineal. Son en

*2. Visita de obra de CLT. Burgos, altermateria. Detalle fachada*

*Fuente: Elaboración propia*

<sup>2</sup> Información obtenida de la web de AITIM (Asociación De Investigación Técnica De Las Industrias De La Madera), Julio 2016



sí mismos tableros macizos, pero con tales dimensiones que hay que encasillarlos en una escala diferente. Si bien todos los tableros que hemos visto hasta el momento tienen que trabajar en conjunción con elementos lineales para formar estructuras rígidas, estos tableros pueden funcionar a modo de losas debido a su variedad de espesores que pueden ir desde los 7 u 8 centímetros hasta los 50 centímetros. Existen diferentes formatos pero todos ellos pueden ser utilizados como losa para suelos, muros de carga, techos, etc. Su estabilidad geométrica es destacable, pero lo más importante es la rapidez de montaje que permite este producto.

El material de partida para la fabricación de los tableros contralaminados (tcl) lo constituyen tablas de madera (...) aprovechando las zonas próximas a los costeros dando lugar a una madera de baja calidad o "de segunda", según la industria del aserrado. El aprovechamiento de esta madera de segunda para la fabricación de tableros contralaminados, además de mejorar sus cualidades de resistencia y rigidez, permite aumentar el valor añadido que esta misma madera aportaría en otros productos tradicionales.

La estructura típica del TCL se realiza mediante capas de tablas o tableros de una sola capa cuya dirección de la fibra forma un ángulo de 90° con la capa siguiente. En algunos casos también es posible orientar las capas de tablas formando un ángulo de 45°.<sup>3</sup>

· Para KLH Massivholz GmbH (A) es:

"Placa de madera maciza de tamaño grande de planchas encoladas cruzadas. Los tableros contralaminados (KLH) están compuestos por capas de tablas de madera de coníferas cruzadas que se encolan bajo presión para convertirse en elementos de madera maciza de gran formato. Otras descripciones del producto para tableros contralaminados son "paneles de madera maciza de KLH", "madera contrachapeada en tablas", "X – Lam", "CLT" (cross laminated timber) o "Dickholz" (madera gruesa), por ejemplo.

Gracias a la disposición cruzada de las láminas longitudinales y transversales, el alabeo y la contracción de la madera en la superficie del tablero se reducen a un mínimo insignificante y aumentan considerablemente la resistencia estática, así como la rigidez.

Para descartar la presencia de parásitos, hongos e insectos, siguiendo la homologación técnica europea, se emplea madera seca con una humedad de la madera del 12% (+/- 2%) para la producción de paneles de madera

3. Visita de obra de CLT. Burgos, altermateria. Detalle cubierta inclinada.

Fuente: Elaboración propia

<sup>3</sup> Definición de Proholz (Alemania). Encontrado en <http://www.proholz.es/productos-para-la-construccion/productos-superficiales/>, Julio 2016

maciza de KLH. Todas las láminas de madera son sometidas a un control de calidad antes de ser utilizadas.”<sup>4</sup>

· Para Egoin (Es) es:



“Paneles formados por tablas de madera encoladas por capas y cruzadas entre las mismas, siempre en número impar. Se forman planchadas de tablas del espesor que corresponda, juntadas con presión lateral sin cola.

Se extiende una lámina de cola en toda la superficie de la madera, se vuelve a colocar una segunda planchada en sentido transversal (90° respecto a la precedente), se vuelve a extender una nueva lámina de cola y se vuelve a colocar una nueva capa de madera. Una vez colocadas todas las capas de madera se procede al prensado.

El número de planchadas de madera es de tres, cinco o siete, pero pueden ampliarse hasta formar el panel completo del espesor definido en el proyecto.”<sup>5</sup>

### 2.3. Proceso de fabricación

Anterior a todo proceso de fabricación, este producto está fuertemente ligado al sector de la industria forestal, ya que se define como un producto de alto nivel de sostenibilidad, embarcando esta desde el talado de los árboles, hasta el montaje en obra.

Así el proceso comienza con la aplicación de la técnica de silvicultura sostenible, se conoce así al cuidado de los bosques y montes, aunque también puede generalizarse como la ciencia de los cultivos; es decir el conjunto de técnicas que se aplican a las masas forestales para obtener una producción continua y sostenible.

Uno de las especies de madera más usadas por Egoin (empresa Española), es el Pino Radiata, cuya presencia en Castilla y León es abundante. El pino radiata tiene una madera versátil apta para diversos usos industriales.

Esta especie tiene una madera homogénea que sirve para usos exigentes que serán los que más paguen por nuestros productos. La madera de pino presenta un alto grado de homogeneidad y un buen comportamiento mecánico, a pesar de que el tamaño de su anillo de crecimiento sea superior a 6,5 mm de media. En las zonas de buen crecimiento se obtiene un alto porcentaje de madera de albura, de color claro, situada hacia el exterior. Es la que se requiere en los usos de mayor valor.

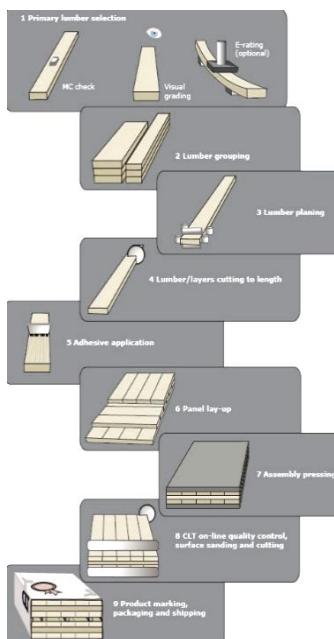
4. Visita de obra de CLT. Burgos, altermatría. Detalle porche terraza

Fuente: Elaboración propia

<sup>4</sup> Definición por KLH Massivholz GmbH (Alemania)

<sup>5</sup> Definición de Egoin, Bizkaia, (España). Información obtenida de [www.ego.in.es](http://www.ego.in.es), Julio 2016

Tiene un bajo porcentaje de corteza referido al volumen total (14,5 % de media). La madera de pino insigne es muy fácil de trabajar y ofrece valores idóneos para la penetración de útiles cortantes, clavos y tornillos. Tiene una estabilidad aceptable ante la hinchazón y merma producida por la humedad. La duración natural de la madera es baja pero se puede tratar con facilidad.



En la tabla siguiente se puede observar un ejemplo de producción de madera de calidad. En el destacan dos labores de mantenimiento fundamentales: la regulación del número de árboles en el tiempo mediante la realización de cortas de mejora (llamadas claras) y la poda.

AÑOS	TRATAMIENTO SELVÍCOLA
0	Repoblación (1.100 pies/ha.)
1-5	Desbroces (anual, a 300 euros/ha.)
8	Poda baja y clareo de pies dominados (10% densidad inicial)
15	Clara (30% densidad inicial)
15	Poda alta hasta 5,5 metros de 350 pies/ha.
25	Clara
5	Corta final

Tabla 1. Ciclo propuesto para Castilla y León.

Fuente: Junta de Castilla y León<sup>6</sup>

Ya en fábrica, el proceso de fabricación de los paneles contralaminados, se estructura en las siguientes fases<sup>7</sup>:

1. Primera selección de tablas
2. Agrupamiento de esas tablas elegidas
3. Aplicación del adhesivo
4. Fijación entre ellas por presión
5. Tratamiento de la superficie y posterior control de calidad.
6. Marcado, empaquetado y transporte del producto

5 Proceso de fabricación

Fuente:  
<https://fpinnovations.ca/Pages/CLTForm.aspx>

<sup>6</sup> El pino radiata (Pinus radiata), manual de gestión forestal sostenible. Alfonso Fernández y Alfonso Sarmiento. Encontrado en: [http://www.medioambiente.jcyl.es/web/jcyl/MedioAmbiente/es/Plantilla100/1171897516129/\\_/\\_/\\_](http://www.medioambiente.jcyl.es/web/jcyl/MedioAmbiente/es/Plantilla100/1171897516129/_/_/_), Julio 2016

<sup>7</sup> Proceso de fabricación del CLT. CLT handbook: cross-laminated timber, Gagnon, S. ; Pirvu, C., Enero de 2011. Encontrado en <https://fpinnovations.ca/Pages/CLTForm.aspx>

### 2.3.1. Selección de tablas

Una vez que llega a fábrica la materia prima, se corta en tablas, y se recurre al secado artificial de estas para conseguir contenido de humedad inferiores al 16% (valor que se alcanza por secado natural). Estos valores de contenido de humedad son necesarios para que el encolado posterior funcione bien.



Otros factores importantes a la hora de seleccionar las tablas, es la temperatura de la madera, y la presencia de deformaciones e imperfecciones, todos ellos afectan de una u otra manera al encolado.

### 2.3.2. Agrupación de tablas

Como ya se ha visto, los paneles de madera contralaminada, están formados por varias capas con la direcciones de sus fibras alternadas. Así, las tablas se ordenan con este criterio, siguiendo la dirección principal por un lado, y la secundaria por otro.

Antes de la aplicación de la cola, y para una mayor adherencia de esta, se procede al cepillado de las capas, con una rectificación suficiente de la cara y el dorso, quedando sin lijar los cantos que normalmente no van encolados.

Antes de la aplicación de la cola, y para una mayor adherencia de esta, se procede al cepillado de las capas, con una rectificación suficiente de la cara y el dorso, quedando sin lijar los cantos que normalmente no van encolados.

### 2.3.3. Aplicación del adhesivo

Aunque se dan casos en los que la ligazón entre capas se realiza por medio de pasadores o clavos, las colas mejoran su comportamiento en todas las direcciones y sobre todo en productividad.

El adhesivo más común utilizado con este producto, es el PUR (Poliuretano de un componente), que además valida a las maderas encoladas con este tipo de cola al reciclaje, o para combustión.

### 2.3.4. Fijación y prensado de los paneles

Es donde se crea el panel con las dimensiones indicadas. El panel estará compuesto por un número impar de capas de tablas, dispuestas de forma que queden cruzadas, formando 90° con la capa anterior.

Se pueden usar dos métodos para su unión: por vaciado y por prensa hidráulica, donde esta última es la más recomendable ya que permite

6. Visita de obra de CLT. Burgos, altermateria. Interior

Fuente: Elaboración propia

corregir pequeñas deformaciones de las tablas o irregularidades, permitiendo la continuidad del encolado.

### 2.3.5. Acabado y control de calidad

Un primer control de calidad del tablero, se da en fábrica, donde se controla su nivel de humedad, y se comprueba de forma visual. Luego pasa a la fase de tratamiento de su superficie, donde se lija y se le da un acabado. Finalmente se procede a hacer los cortes según el proyecto.



### 2.3.6. Marcado, empaquetado y transporte del producto

El marcado del producto asegura una correcta descripción, entrega, e instalación. Así, la información que deberían estar indicada en los productos CLT, sería un logo de fabricante, una referencia para comprobar que el producto está normalizado, un grado de laminado, especie de la madera, grosor para informar sobre la capacidad del panel, la clase de adhesivo.



Además, pueden informar sobre la principal dirección que el panel está pensado que trabaje estructuralmente, y las zonas más aptas para colocar los anclajes.

Ya que el CLT está pensado para usarse en la clase de servicio 1 y 2, (en condiciones secas), deberían protegerse de las condiciones meteorológicas durante el transporte, almacenamiento y montaje en obra.

## 2.4. Propiedades y características

El CLT, como cerramiento ofrece numerosas características positivas, para arquitectos, empresarios, y constructores:

- Tiempos de puesta en obra reducida.
- Manipulación y prefabricación de los elementos en fábrica
- Estructuras ligeras
- Versatilidad de usos
- Gasto minimizado
- Ambientes de trabajo más seguros
- Menos necesidad de mano de obra especializada

*7. Visita de obra de CLT. Burgos, altermateria. Porche de entrada y faleria*

*Fuente: Elaboración propia*



Los paneles trabajan de forma bidireccional, similar a como lo haría una losa prefabricada de hormigón, con la diferencia de su ligereza y la facilidad de trabajar y realizar ajustes en los mismos.

La tecnología de optimización y pegado de los tableros contralaminados consigue que el material se comporte con mayor homogeneidad, estabilidad dimensional y sin restricciones en medidas.



#### 2.4.1. Propiedades físicas

Según AITIM<sup>8</sup>, las propiedades fundamentales de este tipo de paneles son:

- Contenido de humedad

Se fabrican con un contenido de humedad de  $12 \pm 2 \%$ .

- Densidad

Depende de las especies de madera utilizadas, la habitual es una densidad media de 450 –500 kg/m<sup>3</sup>, que es la correspondiente a la mayoría de las coníferas.

- Estabilidad dimensional

Debido a su constitución de láminas cruzadas su estabilidad dimensional mejora respecto a la madera maciza si bien se puede manifestar una vez instalada, aperturas de juntas laterales entre las tablas.

- Acabados

Se pueden suministrar con diversas calidades estéticas de acabado, en general se fabrican como madera cruda para revestir en obra, cepillados en calidad vista industrial y calidad vista residencial; pudiendo recubrirse con otros tableros y revestimientos (normalmente tablero de cartón-yeso).

- Resistencia a la difusión del vapor y barrera de vapor

Al ser un sistema masivo a base de madera, permite el intercambio de vapor de agua con el interior, independientemente de que se limite éste por razones de durabilidad o de aislamiento térmico.

*“Capacidad de almacenamiento de humedad: Entre otras muchas propiedades positivas para la calidad del ambiente interior, posee también la de equilibrar la humedad ambiental, absorbiéndola o liberándola, aproximando su valor a niveles idóneos para el bienestar humano.”*

8. Visita de obra de CLT. Burgos, altermateria. Apoyo de pilar de madera.

Fuente: Elaboración propia

<sup>8</sup> Información obtenida de la web de AITIM (Asociación De Investigación Técnica De Las Industrias De La Madera)

- Estanquidad al agua

Esta propiedad no se considera relevante para este tipo de tableros ya que esta función la desempeñan otros materiales específicos que forman el muro de fachada o la cubierta del edificio.



- Aislamiento o protección frente a las radiaciones

Cuando estos tableros se usan como único elemento constructivo, el edificio funcionaría teóricamente como una caja de Faraday por lo que algunos fabricantes resaltan su aislamiento o protección frente a las radiaciones electromagnéticas de cualquier origen.

- Aislamiento acústico

El CLT tiene una densidad mucho más elevada que cualquier otro sistema constructivo actual en madera, hecho este que mejora su aislamiento acústico. En comparación a la masividad del hormigón, poco se puede competir, es decir peca en aéreo pero es mucho mejor para impacto.

*“La madera es un material que presenta un bajo aislamiento al ruido aéreo pero que, en cambio, su porosidad asegura una buena absorción de las ondas acústicas, disminuyendo el tiempo de reverberación”*

A pesar de que su comportamiento frente al ruido de impacto puede asimilarse a la madera maciza, la cual transmite bien las ondas acústicas, este sistema debido a su configuración minimiza la propagación de vibraciones entre sus elementos:

*“Los sistemas CLT proporcionan un adecuado control del ruido tanto para aéreo como de impacto. Esto se consigue gracias al sellado de todas sus juntas (entre paneles) con membranas que además ofrecen otras beneficios como la estanqueidad al aire, y al vapor ”<sup>9</sup>*

- Permeabilidad al aire

Debido a la estructura cruzada de sus caras los tableros de más de 5 capas y los de 3 capas con espesores de capa iguales o superiores a 30 mm son en sí mismos estancos al aire, si bien su punto débil, en este aspecto, lo constituyen las juntas, como hemos visto anteriormente, que salvo que lleven sistemas de sellado especial no se suelen considerar estancas al aire. La permeabilidad al aire de las juntas entre tableros se determinará de acuerdo con la norma UNE-EN 12114.

9. Visita de obra de CLT. Burgos, altermateria. Recorte carpintería y detalle de fachada

Fuente: Elaboración propia

<sup>9</sup> Información proporcionada por Wood Works





- Aislamiento térmico

La alta resistencia que ofrece la madera al paso de calor, la convierte en un buen aislante térmico (alrededor de  $\lambda = 0.13 \text{ W/(mK)}$ ). Es decir, son valores realmente bajos, comparado con otros materiales de construcción como el ladrillo, que ronda una conductividad de entre 0,85 y 0,32 u hormigón, con un valor de 2,5.

El sellado de sus juntas también evita la aparición de puentes térmicos.

- Durabilidad

El uso de estos paneles está permitido en las clases de servicio 1 y 2. Si los elementos se emplean como elementos de construcción exteriores deberán contar con una protección adicional y permanente contra agentes degradantes.

En la producción de paneles de madera maciza de KLH sólo se usa madera seca con una humedad de madera del 12% (+/- 2%). Con esto y un adecuado detalle constructivo se descarta la presencia de hongos y la actividad de insectos y otros parásitos.

## 2.4.2. Propiedades mecánicas

- Mecanizados

Los tableros suelen estar mecanizados en distintas partes, en sus cantos, para mejorar las juntas estructurales, en su cara (huecos de ventanas y puertas o inclinaciones para formar pendientes), o en su interior (canalizaciones para pasos de electricidad, tuberías, etc.).

- Resistencia mecánica y estabilidad

La madera es capaz de resistir tensiones más elevadas si su duración es corta; la construcción resulta más eficaz cuanto menor es su peso propio en comparación con las acciones variables.

El panel contralaminado como ya se ha mencionado anteriormente, cumple varias funciones en el conjunto del edificio como son la estructural, y de cerramiento, por ello a continuación se explicara brevemente sus propiedades principales:

Para Clase resistente 16:

- Módulo de elasticidad  $E_{0,mean}=8000 \text{ N/mm}^2$   $E_{0,mean}=270 \text{ N/mm}^2$

- Módulo cortante  $G_{mean}=500 \text{ N/mm}^2$

10. Visita de obra de CLT. Burgos, altermateria. Detalle de solera.

Fuente: Elaboración propia

Tipo de sollicitación		Clase resistente de la madera utilizada	
		C 16	C24
Valores característicos de resistencia (N/mm <sup>2</sup> )			
Flexión	$f_{m,k}$	16	24
	$f_{m,90,k}$	10	14
Tracción	$f_{t,k}$	0,4	0,4
	$f_{t,90,k}$	17	21
Compresión	$f_{c,k}$	2,2	2,5
	$f_{c,90,k}$	1,8	2,5
Cortante	$f_{v,k}$	1,8	2,5
Cortante por rodadura	$f_{r,k}$	0,70	
Valores característicos de rigidez (N/mm <sup>2</sup> )			
Módulo de elasticidad flexión	$E_{0,mean}$	8000	11000
	$E_{0,min}$	270	370
Módulo de cortante	$G_{mean}$	500	690
Módulo de cortante por rodadura	$G_{r,mean}$	50	

- Módulo cortante por rodadura  $G_{r,mean}=8000 \text{ N/mm}^2$
- Resistencia a flexión  $f_{m,k}=16 \text{ N/mm}^2$
- Resistencia a tracción  $f_{t,0,k}=10 \text{ N/mm}^2 \quad f_{t,90,k}=0,4 \text{ N/mm}^2$
- Resistencia a compresión  $f_{c,0,k}=17 \text{ N/mm}^2 \quad f_{c,90,k}=2,2 \text{ N/mm}^2$
- Resistencia a cortante  $f_{v,k}=1,8 \text{ N/mm}^2$
- Resistencia a cortante por rodadura  $f_{r,k}=0,70 \text{ N/mm}^2$

· Comportamiento frente al sismo

El sismo provoca esfuerzos máximos con duraciones muy breves ante los cuales la madera presenta la ventaja de una mayor resistencia. Las uniones permiten grandes deformaciones plásticas disipando la energía del efecto del movimiento sísmico.

2.4.3. Comportamiento frente al fuego

· Reacción al fuego

De acuerdo con la Decisión de la Comisión 2003/43/EC y con lo especificado en el último borrador de su norma armonizada se clasifican como, D-s2, d0, para muros y techos, y DFL-s1, para suelos.

Esta reacción al fuego se puede mejorar con la aplicación de tratamientos retardadores del fuego en la madera.

· Resistencia al fuego

El comportamiento de muros y forjados ante el fuego es sensiblemente mejor que la solución convencional de prefabricados de entramado de madera dónde la estructura está expuesta en todas sus caras, mientras que los paneles de KLH sólo exponen una.

Al tratarse de tableros de madera maciza se puede calcular de acuerdo con las indicaciones del Eurocódigo 5 (UNE EN 1995-1-2) o el DB SI siguiendo un modelo de cálculo para secciones compuestas teniendo en cuenta como se carboniza.

11. Valores característicos

Fuente: CONFEMADERA  
(Confederación española de empresarios de la madera)

## 2.5. Normativa y Control de calidad

En relación con los productos de madera en general, podemos resaltar la siguiente normativa:

- Directiva de Productos de la Construcción; marca el inicio de la normativa en materia de construcción con madera y su principal innovación es el establecimiento de los procedimientos necesarios para el marcado CE de productos de construcción, incluidos aquellos productos innovadores.

- Eurocódigos; surgen con el objetivo de la eliminación de las barreras técnicas al comercio en la Comunidad Europea. Sirvieron para la armonización de las especificaciones técnicas en el sector de la construcción, aquí se encuentra el Eurocódigo 5, que se aplica al proyecto de edificios y obras de ingeniería civil con madera en sus distintos productos. Sólo afecta a los requisitos de resistencia mecánica, adecuación al servicio, durabilidad y resistencia al fuego, actualmente está en revisión.

- Código Técnico de la Edificación (CTE); una de las principales novedades que introduce respecto a la legislación anterior de la edificación en España fue el enfoque por objetivos o prestaciones, que supone en la práctica, la eliminación de una serie de barreras técnicas que obstaculizaban la aplicación de innovaciones tecnológicas al proceso de edificación. El uso de las nuevas tecnologías en el sector de la construcción, lo que en el caso de la madera ha permitido grandes aportaciones al proceso constructivo.<sup>10</sup>

- Documento básico SE-M; versa sobre la seguridad de las estructuras de madera, y es una transcripción casi literal del "EUROCÓDIGO 5". Su campo de aplicación es el de la verificación de la seguridad de los elementos estructurales lineales de madera en edificación.

- Reglamento de Productos de la Construcción (RPC); establece las condiciones relativas a la introducción en el mercado de productos de construcción, y define criterios para evaluar las prestaciones de dichos productos así como las condiciones del mercado CE.

*"La incursión de la madera en la construcción actual en igualdad de condiciones que el resto de materiales para uso estructural se debe a la aprobación de la normativa Código Técnico de la Edificación CTE (2006) que incluye el Documento Básico de Seguridad Estructural (SE-M), basado en el Eurocódigo5 (EC5).*

---

<sup>10</sup> Madera contralaminada (CLT), situación actual. Alternativa para una construcción sostenible en España. Universidad Politécnica de Madrid. ETSAM. Madrid, 11-13 Junio de 2014

*Anteriormente la Ley de Ordenación de la Edificación (Ley38/1999) dificultó el empleo de la madera desde el punto de vista estructural, con las reservas presentadas por los Organismos de Control de Calidad (OCT) y las Compañías Aseguradoras.*

*Asimismo, la publicación en 2010 de la Directiva 2010/31/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios, tiene por objeto promover la eficiencia energética de los edificios.*

*A partir del 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos deben tener un consumo de energía casi nulo. Los nuevos edificios públicos deben cumplirlos mismos criterios después del 31 de diciembre de 2018”<sup>11</sup>*

En España, los certificados y homologaciones principales para los paneles de madera contralaminada son:

- Marcado CE y DITE

Aplicado a Panel de tabla de madera maciza como elemento estructural de edificación. Garantizan la calidad del sistema constructivo para la realización de proyectos, concedido por ITeC (Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña).

- Sello de conformidad AITIM

Son sellos de conformidad con diferentes normas que han homologado la fabricación de paneles estructurales contralaminados (CLT), la fabricación de estructuras de madera laminada encolada, el certificado de ingeniería y montaje de estructuras de madera, la fabricación de madera empalmada estructural y la fabricación de dúos y tríos de madera laminada encolada.

- Sistemas de Certificación Forestal (PEFC)

Certifica la calidad de los procesos y la gestión sostenible de los bosques, utilizando productos con eco etiquetas.

- certificado de conformidad CE AENOR

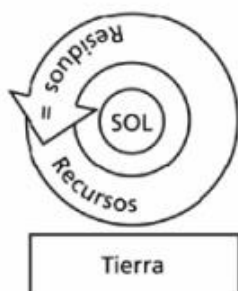
El certificado se aplica a la madera laminada encolada, de acuerdo a la norma UNE-EN 14080:2006, concedido por el organismo de certificación AENOR

---

<sup>11</sup> EGOIN. Características y oportunidades que ofrece el tablero contralaminado en la construcción. Impresiones de un arquitecto

### 3. Sostenibilidad

El sector de la construcción, es uno de los que más contribuye en la contaminación de nuestro país. Poco a poco, se ha ido tomando conciencia del problema, y han ido apareciendo medidas para controlarlo. En la última década, estas medidas se han ido incrementado en número y desarrollando, por ejemplo, a nivel europeo, existe la Directiva europea de eficiencia energética, la cual establece que sus objetivos sean alcanzados por los miembros de la UE en 2020. A parte, en ese año, las nuevas viviendas tendrán que alcanzar la denominación de edificios de energía cero. Así, gracias al mayor control que existe en el proceso de prefabricación, esta podría suponer la solución, y establecer el camino hacia el cumplimiento de esos objetivos.



#### 3.1. Prefabricación

En relación con la sostenibilidad, la prefabricación conlleva un menor consumo de energía, así como menor emisión de gases contaminantes. También, es importante, el menor impacto en el entorno, gracias a la gran ventaja que supone su fase de producción llevada a cabo en su mayor parte en fábrica. Sin embargo, el factor negativo más destacable, es el transporte de la fábrica al lugar de construcción. Otro punto importante a tener en cuenta, es el reciclaje<sup>12</sup>, creando un ciclo cerrado, que permite que un material pueda renovarse cíclicamente y de forma indefinida, sin pérdida de calidad ni cantidad.

Dos claros ejemplos de prefabricación, están en el acero y la madera, cuyos sistemas constructivos son de montaje en seco y el uso de juntas y uniones reversibles entre materiales, que se reciclan por separado. Las características técnicas de estos no cambian, mientras que la energía de fabricación se reduce considerablemente.

#### 3.2. Análisis del ciclo de vida

Para respaldar todo esto, apareció una metodología, llamada Análisis del ciclo de vida (ACV), que se basa en el cálculo de todos los recursos utilizados, así como de todo la generación de residuos durante cada fase del ciclo de vida. Este análisis se puede aplicar a numerosos campos, como

*12. Esquema de ciclo abierto(superior), esquema de ciclo cerrado(inferior).*

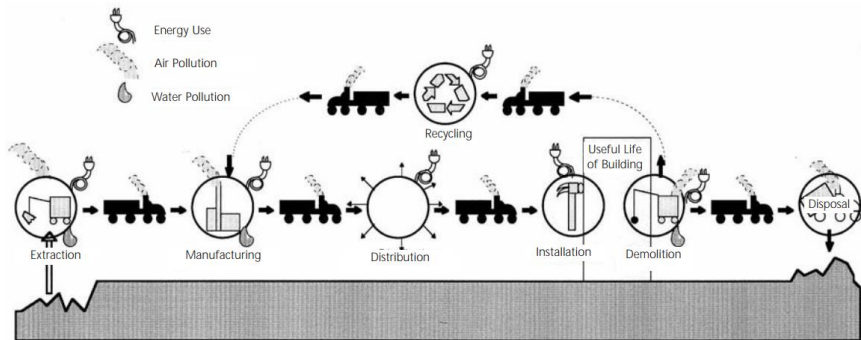
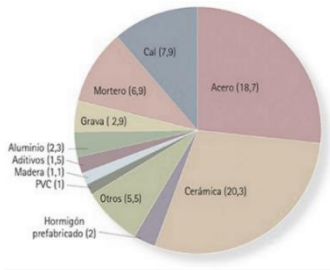
*Fuente: La construcción modular aplicada a la vivienda. G. Wadel*

<sup>12</sup> No se debe confundir el reciclaje con el infraciclaje, el cual, a diferencia del primero, involucra una serie de pérdidas en la calidad o cantidad del material, o bien solo admite una cantidad limitada de ciclos. Por tanto, prolonga la vida útil de un material concreto, que tras varios ciclos llega a la inutilización definitiva.

la producción de alimentos, ropa, etc., pero nos centraremos en cómo se desarrolla para la arquitectura.

Está formalizado por la normativa internacional UNE-EN ISO 14040: 2006<sup>13</sup>, "Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia", y la UNE-EN ISO 14044: 2006 "Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices."

Este análisis evalúa el ciclo de vida del producto, tiene en cuenta los impactos ambientales asociados con todas las etapas de desarrollo, uso y eliminación del producto, así como la energía incorporada (utilizada para la producción y transporte).



13. Evaluación del ciclo de vida de un producto

Ilustración de Carol Larman

El impacto de un material de construcción debe ser analizado a largo plazo, desde su extracción de la naturaleza, pasando por las distintas etapas hasta su desecho. Cada etapa consume y añade contaminantes para el aire y agua. Cada una también conlleva transporte que contribuye en la contaminación y consumo de combustible. Cuando se extraen materiales, la naturaleza se agota, y cuando son desechados en vertederos también afecta negativamente a la tierra. El reciclado evita estos aspectos, aprovechando el material y convirtiéndolo en elementos nuevos, que se incorporaran de nuevo al ciclo.

En el caso de edificios, la metodología a seguir la está desarrollando el CEN (CEN/TC 350, 2008)<sup>14</sup>, y establece un método de cálculo basado en el ACV, adaptado a la edificación de forma normalizada. El sistema a analizar debe

14. Contribución de los materiales para la construcción de 1m<sup>2</sup> sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a su fabricación

Fuente: Cuchi A., Wadel G., Lopez F., Sagraera A., 2007

<sup>13</sup> UNE-EN ISO 14040: Diciembre 2006. Norma de estandarización internacional desarrollada por ISO(International Organization for Standardization)

<sup>14</sup> Norma desarrollada por CEN, Comité Europeo de Normalización

incluir las siguientes 4 etapas o subsistemas del edificio: producción, construcción del edificio, uso y disposición final.<sup>15</sup>

1. *Producción del edificio*, en esta etapa se estudia la extracción y preparación de la materia prima, que produce un gran impacto directo en el entorno, con actividades como la tala de madera o la explotación de canteras, por lo que es necesario un control sobre ello. La etapa de producción, donde la materia prima se transforma en el material final. Por último, el transporte hasta el lugar de construcción, cuyo impacto depende de la procedencia de la materia de origen.

2. *Construcción del edificio*, que analiza toda la puesta en obra de los productos de la construcción.

3. *Uso y mantenimiento*, la etapa que engloba todo el conjunto de acciones que se realizan durante la vida útil del edificio. La forma en que se utiliza un espacio puede generar más o menos impactos ambientales por los residuos generados, el consumo de agua, etc. En esta etapa también es importante considerar las reparaciones, remodelaciones o cualquier intervención que no implique la demolición.

4. *Demolición, reutilización o reciclado*, que estudia los recursos utilizados al final de su vida útil, con opción de ser reciclados, reutilizados o desechados.



15. Ciclo de vida de un edificio convencional.

Fuente: La construcción modular ligera aplicada a la vivienda. G. Wadel

<sup>15</sup> Análisis del ciclo de vida, Natalia Rieznik Lamana y Agustín Hernández Aja, Madrid (España), julio de 2005. Encontrado en <http://habitat.aq.upm.es/temas/a-analisis-ciclo-vida.html>, Julio 2016.

### 3.3. La sostenibilidad y la madera

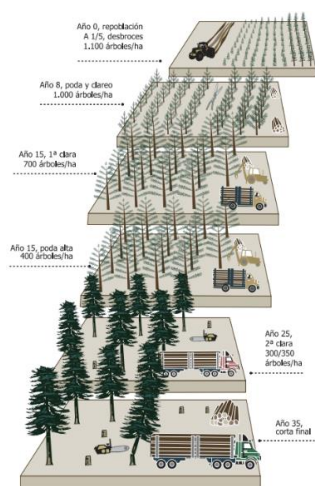
La construcción en madera supone un nivel de sostenibilidad superior a otros materiales, así como importantes ventajas medioambientales por ser un material biodegradable, renovable y ecológico, con una consecuente disminución de emisiones de Co2 y menor consumo de energía, a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la fase de explotación y transformación de la madera, su fase de construcción y puesta en obra en el edificio, etc.

La madera tiene un alto valor ecológico por ser un recurso renovable procedente de bosques con cadena de custodia, por el bajo consumo energético del proceso de fabricación y por generar un almacenamiento de carbono en lugar de emitirlo a la atmósfera. El ciclo continuo de este material lo gestionan sistemas de certificación con sellos como FSC y PEFC<sup>16</sup>, que aseguran este ciclo de los materiales involucrados, con su regreso a fábrica.

Anterior a todo proceso de fabricación, este producto está fuertemente ligado al sector de la industria forestal, ya que se define como un producto de alto nivel de sostenibilidad, embarcando esta desde el talado de los árboles, hasta el montaje en obra.

Así el proceso comienza con la aplicación de la técnica de silvicultura sostenible, se conoce así al cuidado de los bosques y montes, aunque también puede generalizarse como la ciencia de los cultivos; es decir el conjunto de técnicas que se aplican a las masas forestales para obtener una producción continua y sostenible.

En la imagen de la izquierda se puede observar un ejemplo de producción de madera de calidad. En el destacan dos labores de mantenimiento fundamentales: la regulación del número de árboles en el tiempo mediante la realización de cortas de mejora (llamadas claras) y la poda.



AÑOS	TRATAMIENTO SELVÍCOLA
0	Replantación (1.100 pies/ha.)
1-5	Desbroces (anual, a 300 euros/ha.)
8	Poda baja y clareo de pies dominados (10% densidad inicial)
15	Clara (30% densidad inicial)
15	Poda alta hasta 5,5 metros de 350 pies/ha.
25	Clara
5	Corta final

16. Ciclo propuesto para Castilla y León

Fuente: El pino radiata. Manual de gestión forestal sostenible.

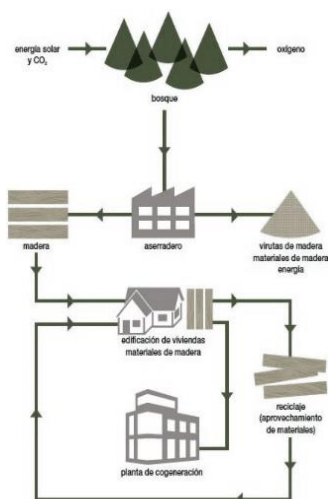
Tabla 2. Ciclo propuesto para Castilla y León

Fuente: El pino radiata. Manual de gestión forestal sostenible.

<sup>16</sup> Sistema de explotación forestal sostenible Forest Stewardship Council(FSC), Y Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes (PEFC),



En general presentan unos impactos reducidos, más cuanto menos procesado industrial requiera cada producto concreto. El balance en emisiones equivalentes de dióxido de carbono es casi neutro, debido al bajo procesado industrial y sería negativo (absorción neta de emisiones) en caso de que el fin de vida del producto fuese su reciclado o reutilización en vez de la incineración.



En edificación, la madera tiene numerosas aplicaciones, casi abarcando la totalidad de los elementos constructivos necesarios para construir un edificio. Sirve de estructura (entramado, maciza), carpintería de ventanas y puertas, aislamiento (térmico y acústico), revestimiento (lamas, listones), impermeabilización (fibra en papel Kraft) y por último de cerramiento (tableros aglomerados, paneles contralaminados). Esto muestra las numerosas posibilidades de un edificio de construirse en su mayor parte por elementos de madera, y con ello beneficiarse de todas las ventajas de esta, pudiendo concebirse el edificio como una construcción totalmente reciclable, y cerrando su ciclo de vida.<sup>17</sup>

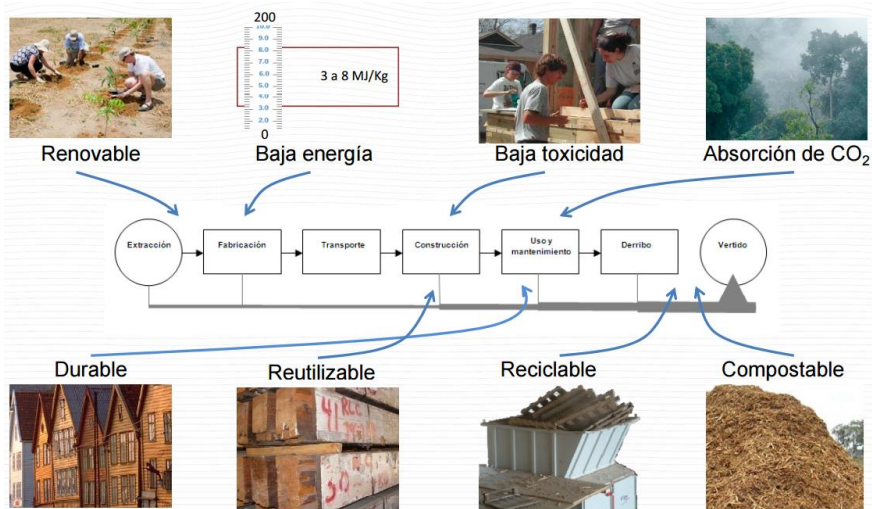


Ilustración 17. Ventajas principales de la madera  
Fuente: www.proholz.es, Julio 2016

Un estudio llevado a cabo por la UBC (Canadá), en el que comparan el impacto ambiental de dos sistemas constructivos diferentes, uno con estructura de hormigón y otro con sistema de paneles de madera contralaminada, prueba como el CLT tiene menor impacto sobre el

18. Ciclo de vida del panel contralaminado de madera.

Fuente: Stora Enso, Julio 2016

<sup>17</sup> Huella ecológica comparada (madera / convencional) Potencial en España, Gerardo Wadel, [http://www.proholz.es/fileadmin/proholz.es/media/download/120512\\_huella-ecologica\\_gwadel.pdf](http://www.proholz.es/fileadmin/proholz.es/media/download/120512_huella-ecologica_gwadel.pdf), Julio 2016

calentamiento global ya que su etapa de fabricación produce muchos menos gases contaminantes que el hormigón.

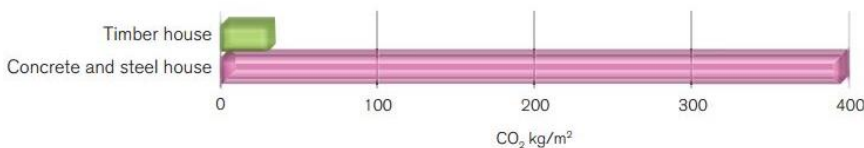
Los resultados obtenidos se obtuvieron a través del análisis del ciclo de vida de cada edificio, donde el sistema de madera consume menos combustible fósil, y usa menos recursos naturales por unidad de área, por lo que conlleva menor impacto ambiental.<sup>18</sup>



También realizo un estudio similar, un estudio sueco en 2001, que analizo la energía consumida y el CO2 emitido durante la fase de fabricación y construcción de una casa construida con madera, y otra con acero/hormigón, el resultado mostro una diferencia de hasta 2300 MJ/m<sup>2</sup>, cantidad que podría calentar una casa durante 6 años.

El siguiente grafico muestra el resultado del estudio, con las emisiones de CO2 de cada construcción, expresados en kg/m<sup>2</sup>.<sup>19</sup>

En la actualidad, se está investigando como reducir las emisiones de Co2, y una de las alternativas a esto, es su fijación y almacenamiento por parte de la madera. Por eso, se considera que el uso de madera estructural en



los edificios conlleva, una captura previa de CO2 en los bosques que se fijaran en el material una vez sean talados los árboles, este almacenamiento se mantiene durante toda la vida útil del edificio estimada en 50 años. Además si el material es reutilizado para el mismo fin o con otro distinto que no sea su quema para producción de energía, que conllevaría la liberación del gas, el almacenamiento se prolongaría.

Todo ello funcionaria siempre y cuando los procesos de tala sean

Ilustración 19. Comparativa de emisión de CO2 entre distintos sistemas constructivos.

Fuente: [www.cei-bois.org](http://www.cei-bois.org), Julio 2016

20. Comparación entre CLT y hormigón en cuanto al calentamiento global y efectos respiratorios en la salud de las personas.

Fuente: [naturallywood.com](http://naturallywood.com), Julio 2016

sostenibles, es decir, que se planten la misma cantidad de árboles en los bosques que los que se talan.

<sup>18</sup> Life Cycle Assessment of the University of British Columbia Bioenergy Research and Demonstration Project (UBC BRDP). Hewage K.N., Sadiq R., Hossaini N. (2012), encontrado en [http://www.naturallywood.com/sites/default/files/Life-Cycle-Assessment\\_0.pdf](http://www.naturallywood.com/sites/default/files/Life-Cycle-Assessment_0.pdf), julio 2016.

<sup>19</sup> Estudio realizado por Traket/SCA, encontrado en [http://www.cei-bois.org/files/FINAL\\_-\\_BoA\\_-\\_EN\\_-\\_2011\\_text\\_and\\_cover.pdf](http://www.cei-bois.org/files/FINAL_-_BoA_-_EN_-_2011_text_and_cover.pdf), Julio 2016

### 3.4. Recuperación de productos de madera

A parte de todas las ventajas descritas anteriormente que caracterizan a la madera en general, la madera contralaminada o CLT, supone también un ciclo cerrado, desde la manipulación de la materia prima, donde los recortes, serrín etc., se vuelven a utilizar, y el uso de un adhesivo libre de compuestos orgánicos volátiles o formaldehído, de forma que no se produce ningún tipo de emisión tóxica. Esta estrategia de durabilidad, permite que al final de su vida útil el material pueda reciclarse sin miedo a la presencia de productos dañinos en la madera, pudiendo incluso volver directamente a la naturaleza sin ningún tipo de impacto de biocidas.



La mayor parte de los productos de construcción se consideran 'inertes', es decir, que depositados en vertederos no se degradan y el único impacto ambiental que puede asociarse a ellos en esta etapa es lo relativo al transporte. Sin embargo, los productos derivados de la madera, como lo es el panel contralaminado, pueden degradarse si se depositan en estos lugares, con un consecuente emisión de gases nocivos (metano, dióxido de carbono).



Las opciones más conocidas que recuperan y aprovechan la madera usada, y los residuos generados a lo largo de todo el proceso de fabricación y construcción, incluyen el re uso (con su forma original y función) el reciclado directo en otros productos de madera (por ejemplo la descomposición de la madera en tableros de virutas), el reciclado indirecto en productos no relacionados con la industria maderera (como relleno del terreno), y la generación de energía (producción de calor y/o electricidad).

#### 3.4.1. Re-uso

Es la opción que más ventajas tiene en cuanto a la sostenibilidad en todo el proceso, ya que se produce un aprovechamiento total del producto, que se reutilizara en otras construcciones. Una de las características de este método, es la de evitar la emisión de residuos que se producirían en la etapa de fabricación, reconvirtiendo la tarea de demolición en una descomposición de los elementos constructivos que componen el edificio.

La reutilización de productos de madera, necesitara un estudio previo del elemento, analizando sus características, y una vez seleccionado como apto, se procederá a su limpieza.

El material que será objeto de ser reutilizado, no tendrá que haber sido manipulado, ni sufrir ninguna variación en sus propiedades, también será necesario que su futura función, sea similar a la que tenía anteriormente. Su reutilización variara de acuerdo a la especie de madera usada, y como la madera se ha mantenido. Su viabilidad como método que persigue la

21. Villa Welpeloo, Holanda. Los revestimientos de la casa usan piezas recicladas a partir de bobinas de madera que se usan para enrollar los cables.

Fuente: [www.architravel.com](http://www.architravel.com), Julio 2016

sostenibilidad, también depende de los recursos utilizados en el proceso de desmontaje y su reintroducción en la etapa de construcción del edificio.

### 3.4.2. Reciclado



Aparte de la madera laminada encolada, productos como los tableros de partículas, de fibras, madera contrachapada también pueden ser reciclados. Además todos los desechos que llegan a través de las industrias, como pallets, bobinas de madera, mobiliario, madera aglomerada, cajas y box, recortes, virutas, serrín, poda, etc., pueden servir para fabricar otros productos de madera.

Así, esta etapa consiste en someter al residuo a procesos de clasificación, limpieza, trituración y almacenamiento. La ventaja más importante respecto al reciclaje de otros materiales, es que no necesita ningún tratamiento de productos químicos.

El proceso comienza una vez que el camión llega a la planta de reciclaje, con la carga de madera, entonces se realiza un control de los desechos para determinar su peso y procedencia. Luego, se inspecciona su calidad y el tipo de madera visualmente, y se procede a su separación del resto de residuos plásticos, metálicos, etc.

La segunda etapa corresponde a su trituración, separando primero las partes metálicas, como tornillos o placas, y a continuación, se trituran hasta conseguir partículas pequeñas, denominadas virutas o serrín. El producto obtenido es una astilla de madera, de aproximadamente 5 cm.<sup>20</sup>

El aprovechamiento de las virutas recicladas, puede abarcar desde la fabricación de tableros hasta la producción de energía.

El tablero aglomerado es el principal destino de estas virutas, ya que suponen cerca de un 80% de la madera recuperada. Estos son muy versátiles y pueden usarse para múltiples usos como carpintería, aplicaciones estructurales, encofrados, embalajes, envases, cerramientos provisionales, stands, arquitecturas efímeras, etc. Están formados por virutas o partículas encoladas con resinas sintéticas.<sup>21</sup>

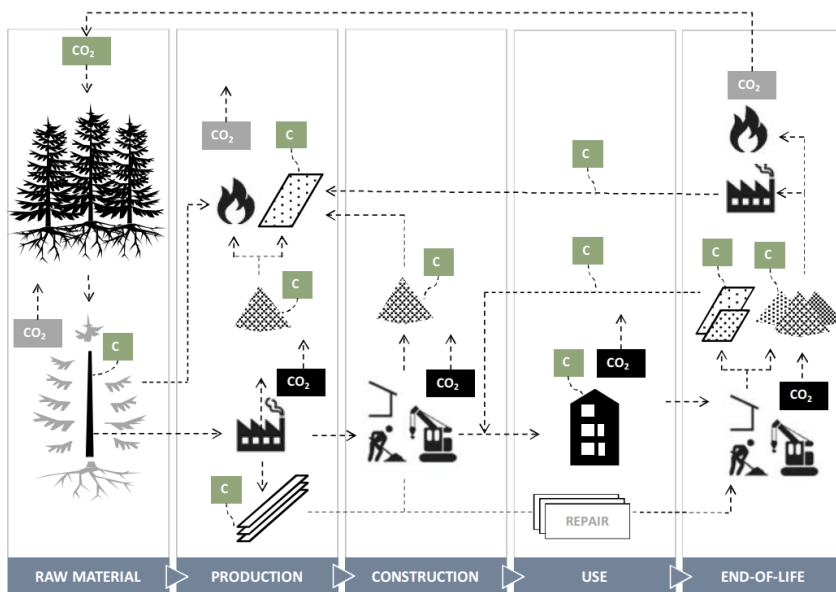
La producción de abonos a partir de residuos de madera y la viruta para hacer camas de ganado son otras opciones para el uso de este material recuperado

*22. Restos reciclados de madera que pueden ser usados para fabricación de tableros, en la industria de la biomasa.*

*Fuente: [www.emag.suez-environnement.com](http://www.emag.suez-environnement.com), Julio 2016*

<sup>20</sup> Artículo "Virutas de reciclaje", 27/03/2014, encontrado en <https://www.mecalux.es/articulos-de-logistica/virutas-reciclaje>

<sup>21</sup> Productos de madera para la construcción, Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la madera AITIM, 2008. Encontrado en [www.cscae.com/area\\_tecnica/aitim/actividades/act\\_paginas/libro/productos\\_de\\_madera\\_para\\_la\\_arquitectura.pdf](http://www.cscae.com/area_tecnica/aitim/actividades/act_paginas/libro/productos_de_madera_para_la_arquitectura.pdf), Julio 2016



23. Fases del ciclo de vida de productos de madera para la construcción

Fuente: <http://www.cei-bois.org/>

En el gráfico de arriba, muestra los residuos generados a lo largo del ciclo de vida de la madera destinada para construcción. Vemos como, ya en la poda de los árboles, todas las ramas que son inservibles constituyen un residuo que puede ser aprovechado para generación de energía, formación de tableros de partículas, etc. También pueden ser aprovechados todos los recortes residuales, y los trozos con defectos geométricos que no superan la inspección visual, de la fase de fabricación, o los generados en la fase de construcción. Por último, los más importantes lo constituyen el edificio entero al final de su ciclo de vida.

### 3.4.3. Obtención de energía



24. Biomasa reciclada en forma de pellets.

Fuente: [www.ecoindus.com](http://www.ecoindus.com)

Otra posibilidad es su empleo como biomasa con el fin de obtener energía eléctrica y térmica, a través de su incineración, pirólisis o gasificación por plasma.

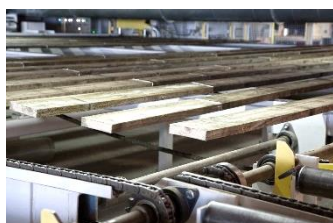
En el gráfico anterior se muestran las distintas fases del CLT, donde se muestra el ciclo de almacenamiento del CO2, desde el que se produce en los bosques, al que queda al final de la vida útil del edificio, que finalmente a través del reciclaje, generación de energía, o reuso, se incorpora nuevamente a la cadena del ciclo de vida.

La forma más usual de obtener energía con biomasa son los pellets, que tiene un alto poder calorífico equiparable al gasóleo. Esto se debe a que previamente las virutas o serrín, se someten a procesos de densificación.



## 4. ANALISIS DE CASOS

### 4.1. METODOLOGIA



En este apartado se persigue demostrar mediante datos la viabilidad del CLT como elemento constructivo sostenible frente a los convencionales como pueden ser la fábrica de ladrillo. Así, la metodología, a seguir se ha propuesto de la siguiente manera:

#### 4.1.1. Desarrollo



Primero se proponen diferentes alternativas de cerramiento con CLT como hoja principal, describiendo cada una de las capas que lo componen.

Se proponen varias configuraciones distintas con CLT como componente, las cuales son las más habituales para la construcción de edificios en España. Así mismo, se analizarán otros casos de cerramientos convencionales con ladrillo y yeso como hoja principal, para finalmente hacer una valoración objetiva del CLT como alternativa eficiente y sostenible. Así, se elegirán configuraciones con similar espesor, misma tipología, e igual material aislante, para establecer una comparación creíble.



Una vez configurado con todas sus capas, se procede a seguir la metodología de ACV resumido, que estudia las fases del ciclo de vida. En este caso, se hará en relación a los cerramientos, y se analizarán aquellas fases que tengan relación directa con los cerramientos, es decir la fase de producción, la de construcción, y la de uso del edificio. La fase de transporte quedará excluida para simplificar el método, así como la de demolición.<sup>22</sup>

A continuación se explica la estructura a seguir, que será la siguiente:

- Análisis de cerramientos

Se trata de estudiar las 3 tipologías de cerramientos (fachada, cubierta, y forjado) que pueden conformar un edificio, de los que se analizarán los casos más utilizados en España,

Primero se procederá a describir brevemente cada una de las capas que conforman el cerramiento objeto de estudio, detallando espesor, densidad,

*25. Fase de producción.*

*Fuente: Egoín*

*26. Fase de montaje. Casa en Burgos, Altermateria*

*Fuente: Elaboración propia*

*27. Fase de montaje. Egoín*

*Fuente: Egoín*

<sup>22</sup> La metodología a seguir en arquitectura, está siendo desarrollado por el Comité Técnico 350 del Comité Europeo de Normalización (CEN/TC 350) y proporcionará un método de cálculo basado en el ACV que permita evaluar el impacto ambiental de un edificio de una forma normalizada, en torno a cuatro fases.

masa por unidad de superficie, conductividad térmica, etc. La unidad de medición a estudiar, serán de 1m<sup>2</sup> de superficie del paramento, y el conjunto de capas tendrá un espesor similar en todos los casos, para realizar una comparativa creíble.



A partir de ahí, se analizará el impacto ambiental del cerramiento por capas, que tiene durante su fase de producción, y finalmente se calculará la transmitancia total, dato que se utilizará para calcular el impacto ambiental que se origina durante la fase de uso del módulo de vivienda unifamiliar, que se explicará en el apartado posterior. Todos los datos serán recogidos en una tabla resumen, a modo de fichas.

#### · Análisis del módulo de vivienda

Se propondrá un módulo de vivienda mínima, construido con los cerramientos estudiados, para luego estudiar el impacto ambiental originado durante su fase de construcción y de uso, que se estima en 50 años de vida útil de la edificación. En este apartado también se estudiará la fase de construcción, que incluye toda la energía consumida junto con la emisión de CO<sub>2</sub>, omitiendo la cantidad correspondiente al transporte de la fábrica al lugar de construcción con objeto de hacer un análisis resumido y simplificado.



#### 4.1.2. Impacto ambiental

Se realizará un análisis de impacto ambiental de cada una de las capas que compondrá el cerramiento, desde la etapa de manipulación como materia prima hasta la de producción y puesta en obra en el edificio. Se omitirá la fase de demolición, ya que no es relevante para el objetivo propuesto en este estudio, que es el análisis del elemento como cerramiento, por lo que el alcance del estudio llega al elemento como parte del edificio.

Para el panel contralaminado los datos que se toman, se han obtenido de la empresa de madera contralaminada EGOIN, situada en Vizcaya (España), a través de un documento de declaración ambiental (EPD) para sus productos (EPD EGOIN, 2013)<sup>23</sup>. Este documento, se adapta a la ISO 14025:2006 y a pr-EN 15804, y trata de una información ambiental de un producto o servicio basada en un Análisis del Ciclo de Vida (ACV), y en otro conjunto de informaciones ambientales relevantes, en conformidad con la norma. Además, las EPDs deben ser desarrolladas de acuerdo con las normas específicas para la categoría de producto que corresponda (PCR), en este caso, PCR 2012:01 "Product category rules (PCR) for preparing an

28. Fase de uso. Escuela en Tolosa, Egoín.

Fuente: Egoín

29. Reciclaje de madera

Fuente: [www.bodensgroup.com](http://www.bodensgroup.com)

<sup>23</sup> Declaración ambiental de productos de acuerdo a las normas ISO 14025 y pr-EN 15804, EGOIN, Diciembre 2013. Encontrado en [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), Julio 2016

environmental product declaration (EPD) for Construction Products and construction services”.

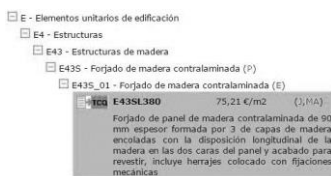
Dado que los datos de la EPD (Anexo I), están tomados de un muestra de CLT de 1m3, se procederá a su conversión en m2, porque el resto de elementos estudiados se han tomado de muestras de 1 m2 de superficie.

Por otra parte, el resto de datos asociados al impacto ambiental, se tomarán del banco BEDEC (Banco Estructurado de Datos de Elementos Constructivos) (ITEC, 2016) del Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña. Los datos sobre energía primaria consumida y emisiones de CO2, se dan por m2 cuadrados para aquellos materiales superficiales, y por m3 para aquellos lineales, por lo que para estos últimos será necesario calcular su equivalencia en unidades de superficie.

La base de datos se estructura en tipología del elemento constructivo, capítulos, subcapítulos, familias. Para una identificación rápida, cada elemento posee un código propio, cuyos cuatro primeros dígitos identifican las cuatro categorías antes mencionadas, el resto de dígitos se corresponden a las características genéricas que posee cada uno.<sup>24</sup>

En cuanto a las fases del ciclo de vida en relación con el cerramiento, se tuvo en cuenta toda la fase de producción, que consta de:

- Suministro de materias primas, que trata del impacto ambiental originado por todos los procesos que consumen energía y emiten CO2, que tienen lugar desde la obtención de materia prima de los bosques hasta la salida del producto de la fábrica hacia el lugar de construcción. Se incluyen todos los procesos de extracción, procesamiento de materias primas y reciclaje de materiales provenientes de corrientes de residuos de otro sistema constructivo, además del impacto por generación de electricidad, vapor y calor a partir de fuentes de energía primarias, incluyendo la extracción, refinado y transporte.
- Transporte, que incluye el impacto de los combustibles empleados en toda actividad de transporte para traslado de los materiales auxiliares, y materia prima, que intervienen en la fabricación de paneles de madera contralaminada.
- Fabricación del producto, incluye los consumos de energía y materiales que tienen lugar durante la fabricación del elemento constructivo estudiado, y el impacto relacionado con el tratamiento de residuos generados durante el proceso de fabricación.



Consumo Energético	Coste energético		Emisión CO2
	(M3)	(kWh)	
B43ZF150 Placa p/estr. madera pino flandés C24 cepillado, tam. max. 10-2x4x18cm, f.e=em, trab. taller tratam.insect.-fung. NP2	1.250,00	350,00	36,64



30. Ejemplo de estructura del banco de datos BEDEC

31. Ejemplo de tabla de datos medioambientales de un elemento constructivo

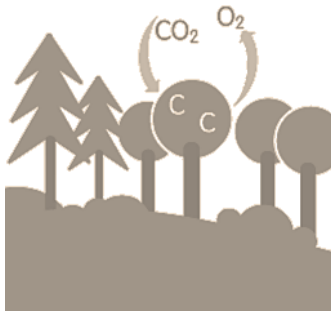
Fuente: Itec (Instituto de tecnología de la construcción de Cataluña)

<sup>24</sup> Información proporcionada por Itec. Encontrado en <http://itec.es/nouBedec.e/>, Julio 2016



Por lo que respecta a los indicadores de impacto ambiental de esta etapa, se tuvieron en cuenta:

- Energía, en MJ/m<sup>2</sup>, que es el consumo de energía durante cada fase de la vida útil del edificio, como fabricación de materiales, transporte, climatización, etc.
- Emisiones de Co<sub>2</sub>, en kgCo<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, que es la liberación de dióxido de carbono durante todas las fases desde la fabricación de los materiales hasta el uso en el edificio terminado.



Dado que el EDP de Egoín no tiene en cuenta la absorción de Co<sub>2</sub> de la madera, el resultado en cuanto a impacto ambiental varía. Por lo que en este estudio, se procederá a incluir este parámetro.

Para analizar la cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y carbón (C) almacenados en un elemento de madera, se asume, de forma general, que hay una relación entre masa y CO<sub>2</sub> o C, y que la cantidad almacenada puede ser calculada usando el siguiente factor<sup>25</sup>:

Calculo de cantidad almacenada de CO<sub>2</sub>: Masa x factor 1,85

Calculo de cantidad almacenada de C: Masa x factor 2

Por otro lado, para el estudio del módulo de vivienda, constituido por los 3 tipos de cerramientos analizados (fachada, cubierta y forjado sanitario), se tuvieron en cuenta las fases de construcción y uso del edificio:

- Fase de construcción:

Aquella que abarca todas las actividades desde la salida de la fábrica hasta la finalización de la construcción del edificio. La fase de transporte entre fábrica y obra se excluirá, analizando solo la instalación en el edificio, que abarca todas las actividades que se realizan en el lugar de obra.

En el caso del módulo de madera contralaminada, el sistema constructivo será prefabricación más el montaje, y en el caso del módulo con cerramientos de ladrillo y hormigón, será construcción convencional.

- Fase de uso

Se refiere al funcionamiento de las instalaciones que conllevan consumo de energía, como la calefacción, y refrigeración, cuyo objetivo es mantener las condiciones de confort en el interior.

32. Fotosíntesis

Fuente: [www.forestry.gov.uk](http://www.forestry.gov.uk)

25 Calculo del Co<sub>2</sub> fijado por la madera. Environment and sustainability, KLH, 01/2013. Encontrado en [www.klh.at/fr/download/public/Kreuzlagenholz/KLH\\_Environment\\_and\\_Sustainability\\_en.pdf](http://www.klh.at/fr/download/public/Kreuzlagenholz/KLH_Environment_and_Sustainability_en.pdf)

### 4.1.3. Evaluación energética

Durante la fase de uso habrá un consumo de energía relacionado con la climatización del edificio. Por ello, se evaluarán los impactos de la energía de calefacción y refrigeración, durante 50 años de vida útil.

En primer lugar, como ya se ha explicado anteriormente, se procederá a realizar estudio en función de las justificaciones determinadas en el apartado HE 1 del CTE, obteniendo la transmitancia de cada cerramiento.

En segundo lugar, conociendo ya las transmitancias de edificio, se procederá a calcular, el impacto ambiental durante la fase de uso, es decir, la cantidad de demanda energética de la envolvente térmica, relativo a calefacción y refrigeración.

Para realizar dicho cálculo se ha propuesto un espacio mínimo cerrado por los diferentes elementos analizados de cerramiento, y a partir de ahí, se han evaluado los espacios mediante un programa informático de cálculo de Eficiencia Energética.

Para el estudio del módulo de vivienda, será necesario determinar primero unas condiciones de temperatura y humedad. El edificio se situará en Valladolid, zona climática D2, con los siguientes datos:

<b>Localidad</b>	Valladolid	
<b>Zona climática</b>	D2	
<b>Temperatura interior</b>	$\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$	Hri= 55%
<b>Temperatura exterior</b>	$\theta_e = 4,1$	Hre= 82%
<b>Presión de vapor interior</b>	Pvi = 1285,3	
<b>Presión de vapor exterior</b>	Pve = 671,2	

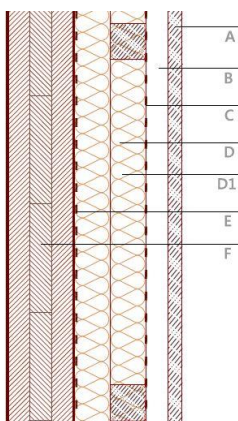
*Tabla 3. Datos situación climática del cerramiento.  
Fuente: elaboración propia.*

Finalmente, tendremos una visión global de los resultados del análisis del ciclo de vida desde la fase de extracción de la materia prima, hasta el final de la vida útil del edificio, y poder hacer una valoración objetiva y realista del nivel de sostenibilidad que puede presentar un elemento como el CLT en el panorama constructivo actual.

## 4.2. CERRAMIENTOS DE PANEL CONTRALAMINADO

### 4.2.1. Fachada ventilada CLT- Caso 1F

#### · Descripción del cerramiento



El caso 1, estará formado por una hoja principal de panel de madera contralaminada, con aislante por el exterior y fachada ventilada de madera. Lámina de polietileno de alta densidad permeable al vapor, cámara ventilada de aire, y un revestimiento de madera de alerce fijado mecánicamente mediante rastreles al soporte.

Se ha elegido como aislamiento, un material derivado de la madera, como es el corcho aglomerado negro, ya que, al igual que otros elementos compuestos por lignina, puede aprovechar la fijación de Co2, para reducir su impacto ambiental.

A\_ Fachada ventilada con lamas de madera de alerce horizontales de 15 mm, para ambiente húmedo, colocado con fijaciones mecánicas.



Datos por m2 de fachada		Energía primaria	Emisión CO2eq
	UNIDAD	MJ	Co2
Lamas de madera de alerce	1 m2	156	14,04
Clavo de acero galvanizado	0,15 kg	5,25	0,42
<b>Total por m2</b>		<b>161,25</b>	<b>14,46</b>

CO2 acumulado por m3 = 650kg/m3 x 1,85= -1202,50 kg/m3

Co2 acumulado por m2 = 1202,50kg/m3 x 0,015m = -18,04kg/m2

B\_ Cámara de aire ventilada de 40mm, con rastreles de madera de pino verticales de 40x60mm, con acabado cepillado, y longitud hasta 4 m.

En el caso de los rastreles, los datos tomados del banco Bedec del Itec, están expresadas en m3. El análisis estudia y analiza los cerramientos en unidades superficiales (m2), para poder comparar de forma realista un metro cuadrado de un cerramiento, con otro de otra naturaleza. Los rastreles son elementos lineales, separados a una cierta distancia unos de otros, por lo que calcularemos los m3 reales de material, en un m2 de cerramiento.

La separación entre rastreles elegida será de 0,5 m, por lo que en un m2 de cerramiento habrá 2 rastreles en total.

Volumen rastrel = 0,04m x 0,06m x 1m = 0,0024m3

Volumen rastrel en 1 m2 de cerramiento = 0,0024m3 x 2= 0,0048m3

520kg/m3 x 0,0048m3= 2,50 kg por m2 de superficie de cerramiento

33. Detalle de fachada ventilada de CLT

Fuente: Elaboración propia

34. Maqueta fachada ventilada de CLT

Fuente: saas.cat



Datos por m2 de fachada		Energía primaria	Emisión de CO2
	UNIDAD	MJ	Co2
Rastrel de madera de pino	1 m3	1260	28,20
Clavo de acero galvanizado	10 kg	350	36,04
Total por m3 de material		1610	64,24
<b>Total por m2 de cerramiento</b>		<b>7,73</b>	<b>0,31</b>

Energía primaria por m2= 1610 MJ/m3 x 0,0048 m3 = 7,73 MJ/m2  
 Emisiones de CO2 por m2= 64,24 Kg/m3 x 0,0048 m3 = 0,31 Kg/m2  
 CO2 acumulado por m3 = 520kg/m3 x 1,85= 962 kg/m3  
 Co2 acumulado por m2 = 962kg/m3 x 0,0048m3= -4,62kg/m2

C\_ Lámina impermeabilizante transpirable, consta de una membrana monolítica sin poros entre dos geotextiles robustos que garantizan su protección.

D\_ Primera capa de aislamiento térmico formado por planchas rígidas de corcho aglomerado negro fijado mecánicamente, entre rastreles de madera de pino verticales, de 50x60mm, con acabado cepillado, y longitud hasta 4 m. La segunda capa será igual pero con rastreles horizontales, de 50x60mm.

- Corcho aglomerado 50mm

Se tomaran las dos capas de aislamiento como una sola de 100mm de espesor.

Datos por m2 de fachada		Energía primaria	Emisión de CO2
	UNIDAD	MJ	Co2
Corcho aglomerado	1 m2	45,51	2,77
Taco y soporte de nylon	3 ud	2,17	0,32
<b>Total por m2</b>		<b>47,68</b>	<b>3,09</b>

CO2 acumulado por m3 = 110kg/m3 x 1,85= -203,50 kg/m3  
 Co2 acumulado por m2 = 203,50kg/m3 x 0,10= -20,35kg/m2

- Rastreles de madera 50x60mm

Se tomaran las dos capas de rastreles con una sola con piezas de 100x60mm.

Volumen rastrel = 0,10m x 0,06m x 1m = 0,006m3  
 Volumen rastrel en 1 m2 de cerramiento = 0,006m3 x 2= 0,012m3  
 520kg/m3 x 0,012m3= 6,24 kg por m2 de superficie de cerramiento

35. Corcho aglomerado negro  
 Fuente: www.epdmprecio.com

Datos por m2 de fachada		Energía primaria	Emisión de CO2
	UNIDAD	MJ	Co2
Rastrel de madera de pino	1 m3	1260	28,20
Clavo de acero galvanizado	10 kg	350	36,04
Total por m3 de material		1610	64,24
<b>Total por m2 de fachada</b>		<b>19,32</b>	<b>0,77</b>

Energía primaria por m2= 1610 MJ/m3 x 0,012 m3 = 19,32 MJ/m2  
 Emisiones de CO2 por m2= 64,24 Kg/m3 x 0,012 m3 = 0,77 Kg/m2  
 CO2 acumulado por m3 = 520kg/m3 x 1,85= 962 kg/m3  
 Co2 acumulado por m2 = 962kg/m3 x 0,012m3= -11,54kg/m2

Los datos tomados para la obtención de emisiones de co2, y energía primaria utilizada en esta etapa, están dados por los fabricantes en unidades volumétricas, por lo que es necesario pasarlos a unidades de superficie, es decir cantidades por m2 de madera.

E\_ Lámina de control de vapor y barrera a infiltración de aire, protegiendo el paramento contra la lluvia y el viento hasta la colocación del aislamiento.

F\_ Panel de madera contralaminada, que consta de 3 capas de madera encoladas y cruzadas a 90º, de 90mm de espesor total.

Datos por m2 de fachada		Energía primaria	Emisión CO2eq
	UNIDAD	MJ	Co2
Panel contralaminado	1 m3	2670	962
	1 m2	240,3	16,29
Herrajes y juntas	1 ud	2,89	0,16
<b>Total por m2</b>		<b>243,19</b>	<b>16,45</b>

Energía primaria CLT por m2= 2670 MJ/m3 x 0,09 m = 240,3 MJ/m2  
 Emisiones de CO2 por m2= 181 Kg/m3 x 0,09 m = 16,29 Kg/m2  
 CO2 acumulado por m3 = 520kg/m3 x 1,85= 962 kg/m3  
 Co2 acumulado por m2 = 962kg/m3 x 0,09= -86,58kg/m2

G\_ Acabado interior, visto panel de madera.

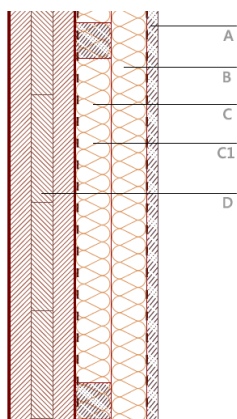
**CASO 1. Fachada ventilada de CLT**

	DESCRIPCION DEL CERRAMIENTO				FASE DE PRODUCCION				FASE DE USO		
	Espesor e m	Densidad p Kg/m <sup>3</sup>	Masa por superficie Kg/m <sup>2</sup>	Energía primaria MJ/m <sup>2</sup> ó MJ/kg	EMISION CO2eq Kg/m <sup>2</sup>	CO2 FIJADO Kg/m <sup>2</sup>	BALANCE CO2eq Kg/m <sup>2</sup>	Conductividad termica λ W/mK	Resistencia termica Rn m <sup>2</sup> .K/W	TRANSMITANCIA U	
										0,04	
A- Revestimiento de madera	0,015	650	9,75	156	14,04	-18,04	-4	0,15	-		
B- Rastres de madera	0,04	520	2,50	7,73	0,31	-4,62	-4,31	0,13	-		
C- Lamina permeable al vapor	0,0005	200	0,10	13,59	2,01	-	2,01	-	-		
D- Aislamiento de corcho	0,10	110	11,00	47,68	3,09	-20,35	-17,26	0,035	2,86		
D1- Rastres de madera	0,10	520	6,24	19,32	0,77	-11,54	-10,77	-	-		
E- Lamina hermetica al aire	0,0005	288,88	0,13	13,59	2,01	-	2,01	-	-		
F- Panel madera contralaminada	0,09	520	46,80	243,19	16,45	-86,58	-70,13	0,13	0,69		
<b>Total</b>	<b>0,25</b>		<b>76,52</b>	<b>501,10</b>			<b>-102,45</b>			<b>3,72</b>	<b>U = 1/R=0,269 W/m<sup>2</sup>K</b>

### 4.2.2. Fachada SATE CLT – Caso 2F

#### · Descripción del cerramiento

Al igual que el caso 1, se analizara un cerramiento cuya hoja principal es panel de madera contralaminada, pero en este caso, será no ventilada, y aislada por el exterior. Se compondrá de las siguientes capas:



A\_ Revestimiento exterior enfoscado de mortero mono capa con cal, sobre capa de imprimación, malla de refuerzo de fibra de vidrio revestida de PVC, y mortero de adhesión de cemento.

Datos por m2 de fachada		Energía primaria	Emisión Co2eq
	UNIDAD	MJ	Co2
Mortero mono capa	1 m2	23,90	6,04
Imprimación	1,1 kg	49,50	7,31
Malla de fibra de vidrio	1,25 m2	12,59	1,00
Cemento con caliza	3 kg	11,52	2,54
<b>Total por m2</b>		<b>97,51</b>	<b>16,89</b>



B\_ Capa de aislamiento térmico formado por planchas rígidas de corcho aglomerado negro fijado mecánicamente.

Datos por m2 de fachada		Energía primaria	Emisión Co2eq
	UNIDAD	MJ	Co2
Corcho aglomerado	1 m2	27,30	1,66
Herrajes y juntas	3 ud	1,47	0,22
<b>Total por m2</b>		<b>28,78</b>	<b>1,88</b>

$$\text{CO2 acumulado por m3} = 110\text{kg/m3} \times 1,85 = 203,50 \text{ kg/m3}$$

$$\text{Co2 acumulado por m2} = 203,50\text{kg/m3} \times 0,05\text{m} = 10,175 \text{ kg/m2}$$

C\_ Capa de aislamiento térmico formado por planchas rígidas de corcho aglomerado negro fijado mecánicamente, entre rastreles de madera (5x6cm) de pino, con acabado cepillado, y longitud hasta 4 m, con tratamiento fungicida-insecticida.

#### - Rastreles de madera 50x60

$$\text{Volumen rastrel} = 0,05\text{m} \times 0,06\text{m} \times 1\text{m} = 0,003\text{m3}$$

$$\text{Volumen rastrel en 1 m2 de cerramiento} = 0,003\text{m3} \times 2 = 0,006\text{m3}$$

$$520\text{kg/m3} \times 0,006\text{m3} = 3,12\text{kg por m2 de cerramiento}$$

36. Detalle constructivo de la fachada de CLT tipo SATE  
Fuente: Elaboración propia

37. Sistema de fachada SATE con corcho aglomerado.  
Fuente: www.ekoteknia.com

Datos por m2 de fachada		Energía primaria	Emisión CO2eq
	UNIDAD	MJ/m2	KgCo2eq/m2
Rastrel de madera de pino	10 kg	1260	28,20
Clavo de acero galvanizado	1 m3	350	36,04
Total por m3		1610	64,24
<b>Total por m2</b>		<b>9,66</b>	<b>0,38</b>

Energía primaria por m2= 1610 MJ/m3 x 0,006 m3 = 9,66 MJ/m2  
 Emisiones de CO2 por m2= 64,24 Kg/m3 x 0,006 m3 = 0,38 Kg/m2  
 CO2 acumulado por m3 = 520kg/m3 x 1,85= 962 kg/m3  
 Co2 acumulado por m2 = 962kg/m3 x 0,006m3= -5,77kg/m2

D\_ Panel de madera contralaminada, que consta de 3 capas de madera encoladas y cruzadas a 90°, de 90mm de espesor total.

- Madera contralaminada

Datos por m2 de fachada		Energía primaria	Emisión de CO2
	UNIDAD	MJ	Co2
Panel contralaminado	1 m2	240,3	16,29
Herrajes y juntas	1 ud	2,89	0,16
<b>Total por m2</b>		<b>243,19</b>	<b>16,45</b>

Energía primaria CLT por m3= 2,67E+03 = 2670 MJ/m3  
 Energía primaria CLT por m2= 2670 MJ/m3 x 0,09 m = 240,3 MJ/m2  
 Emisiones de CO2 por m3= 1,81E+02 = 181 Kg/m3  
 Emisiones de CO2 por m2= 181 Kg/m3 x 0,09 m = 16,29 Kg/m2  
 CO2 acumulado por m3 = 520kg/m3 x 1,85= 962 kg/m3  
 Co2 acumulado por m2 = 962kg/m3 x 0,09m= -86,58kg/m2

Algunos de los datos tomados para la obtención de emisiones de co2, y energía primaria, como ya se ha explicado en el apartado anterior, están dados por los fabricantes en unidades volumétricas, por lo que es necesario pasarlos a unidades de superficie, es decir cantidades por m2 de madera, al igual que se hace necesario, calcular la cantidad real expresada por m2 de cerramiento para los elementos lineales (rastreles).

E\_ Acabado interior visto, de panel de madera.

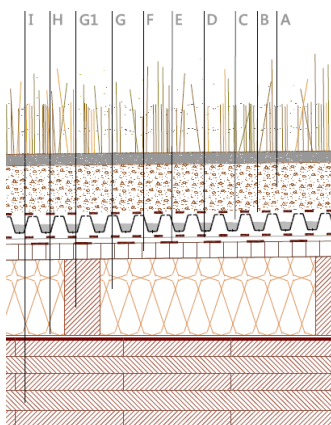


**CASO 2. Sistema sate con CLT**

DESCRIPCION DEL CERRAMIENTO				FASE DE PRODUCCION				FASE DE USO	
				IMPACTO AMBIENTAL				TRANSMITANCIA U	
Espe- sor e	Densidad ρ	Masa por superficie	Energía primaria	EMISION CO2eq	CO2 FIJADO	BALANCE CO2eq	Conductividad termica λ	Resistencia termica Rn	
m	Kg/m3	Kg/m2	MJ/m2 ó MJ/kg	Kg/m2	Kg/m2	Kg/m2	W/mK	Rn = en / λn m2.K/W	
Rse									
A- Revestimiento de mortero	0,015	650	9,75	16,89	-	16,89	1,3	0,01	
B- Aislamiento de corcho	0,05	110	5,5	1,88	-10,17	-8,29	0,035	1,43	
C1_ Aislamiento de corcho	0,05	110	5,5	1,88	-10,17	-8,29	0,035	1,43	
C2_ Rastres de madera	0,05	520	3,12	0,38	-5,77	-5,39	-	-	
D- Panel madera contralaminada	0,09	520	46,8	16,45	-86,58	-70,13	0,13	0,69	
Rsi									
<b>TOTAL</b>	<b>0,205</b>	<b>70,67</b>	<b>407,92</b>			<b>-75,21</b>			<b>3,73</b>
								<b>U = 1/R=0,268 W/m2K</b>	

### 4.2.3. Cubierta ajardinada CLT – Caso 3C

· Descripción del cerramiento



Las cubiertas a analizar en este apartado tendrán una hoja principal de panel de madera contralaminada. Se ha elegido una cubierta invertida, con aislamiento por el exterior, formación de pendiente mediante rastreles, y capa superior ajardinada, con sus respectivas capas de drenaje, filtro etc. A\_Sustrato para cubierta ajardinada compuesto de cerámica especialmente escogida y triturada y otros componentes minerales, mezclados con compost vegetal y turba rubia.

B\_ Filtro agujereado de polipropileno termo soldado.

C\_ Elemento de drenaje y retención de agua fabricado de poli olefina reciclada, con concavidades para retener el agua y aperturas de aireación y difusión.

D\_ Lámina impermeabilizante transpirable, consta de una membrana monolítica sin poros entre dos geotextiles robustos que garantizan su protección.

E\_Doble capa de lámina impermeable antirraiz de butilo EPDM

F\_Tablero de fibra de madera.

$$\text{CO2 acumulado por m3} = 260\text{kg/m3} \times 1,85 = -481 \text{ kg/m3}$$

$$\text{Co2 acumulado por m2} = 203,50\text{kg/m3} \times 0,12\text{m} = -10,58\text{kg/m2}$$

G\_Capa de aislamiento térmico formado por planchas rígidas de corcho aglomerado negro fijado mecánicamente, entre rastreles de madera (120x40) de pino, con acabado cepillado, y longitud hasta 4 m, con tratamiento fungicida-insecticida.

- Aislamiento corcho aglomerado

Datos por m2 de cubierta		Energía primaria	Emisión de CO2eq
	UNIDAD	MJ	Co2
Placa de corcho	1 m2	54,60	3,33
Herrajes y juntas	3 ud	2,52	0,37
<b>Total por m2</b>		<b>57,12</b>	<b>3,70</b>

$$\text{CO2 acumulado por m3} = 110\text{kg/m3} \times 1,85 = -203,50 \text{ kg/m3}$$

$$\text{Co2 acumulado por m2} = 203,50\text{kg/m3} \times 0,12\text{m} = -24,42\text{kg/m2}$$

38. Detalle de cubierta de CLT  
Fuente: Elaboración propia

39. Maqueta cubierta de CLT  
Fuente: saas.cat

- Rastreles de madera 120x60

Volumen rastrel = 0,12m x 0,06m x 1m = 0,007m<sup>3</sup>

Volumen rastrel en 1 m<sup>2</sup> de cerramiento = 0,007m<sup>3</sup> x 2= 0,014m<sup>3</sup>

520kg/m<sup>3</sup> x 0,014m<sup>3</sup>= 7,28kg por m<sup>2</sup> de cerramiento

Datos por m2 de cubierta		<b>Energía primaria</b>	<b>Emisión CO2eq</b>
	UNIDAD	MJ	Co2
Rastrel de madera de pino	10 kg	1260	28,20
Clavo de acero galvanizado	1 m <sup>3</sup>	350	36,04
Total por m3 de material		1610	64,24
<b>Total por m2</b>		<b>22,54</b>	<b>0,89</b>

Energía primaria por m<sup>2</sup>= 1610 MJ/m<sup>3</sup> x 0,014 m<sup>3</sup> = 22,54 MJ/m<sup>2</sup>

Emisiones de CO2 por m<sup>2</sup>= 64,24 Kg/m<sup>3</sup> x 0,014 m<sup>3</sup> = 0,89 Kg/m<sup>2</sup>

CO2 acumulado por m<sup>3</sup> = 520kg/m<sup>3</sup> x 1,85= 962 kg/m<sup>3</sup>

Co2 acumulado por m<sup>2</sup> = 962kg/m<sup>3</sup> x 0,014m<sup>3</sup>= -13,47kg/m<sup>2</sup>

H\_ Lámina de control de vapor y barrera a infiltración de aire, protegiendo el paramento contra la lluvia y el viento hasta la colocación del aislamiento.

I\_ Panel de madera contralaminada, que consta de 5 capas de madera encoladas y cruzadas a 90°, de 120mm de espesor total.

Datos por m2 de cubierta		<b>Energía primaria</b>	<b>Emisión Co2eq</b>
	UNIDAD	MJ	Co2
Panel contralaminado	1 m <sup>2</sup>	320,40	21,72
Parte de herrajes y juntas	1 ud	3,85	0,21
<b>Total por m2</b>		<b>324,25</b>	<b>21,93</b>

Energía primaria CLT por m<sup>2</sup>= 2670 MJ/m<sup>3</sup> x 0,12 m = 320,40 MJ/m<sup>2</sup>

Emisiones de CO2 por m<sup>2</sup>= 181 Kg/m<sup>3</sup> x 0,12 m = 21,72 Kg/m<sup>2</sup>

CO2 acumulado por m<sup>3</sup> = 520kg/m<sup>3</sup> x 1,85= 962 kg/m<sup>3</sup>

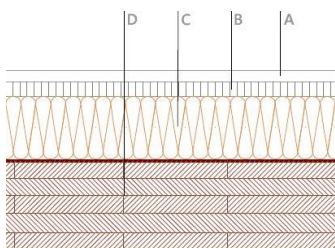
Co2 acumulado por m<sup>2</sup> = 962kg/m<sup>3</sup> x 0,12m= -115,44 kg/m<sup>2</sup>

**CASO 3. Cubierta ajardinada de CLT**

	DESCRIPCION DEL CERRAMIENTO			FASE DE PRODUCCION				FASE DE USO		
	Espesor e m	Densidad ρ Kg/m3	Masa por superficie Kg/m2	Energía primaria MJ/m2 ó MJ/kg	IMPACTO AMBIENTAL		BALANCE CO2eq Kg/m2	Conductividad termica λ W/mK	Resistencia termica Rn m2.K/W	U
					EMISION CO2eq Kg/m2	FIJADO CO2eq Kg/m2				
Rse										
A_Sustrato aligerado y vegetacion	0,090	300,00	27,00	1,68	0,08	-	0,08	0,52	0,173	
B_Lamina filtrante	0,0006	166,66	0,10					-	-	
C_Capa drenaje y retencion	0,025	30,00	1,60	92,12	13,6	-	13,6	-	-	
D_Manta protectora	0,005	94	0,47					0,04	0,125	
E_Lamina impermeable antirraiz	0,0004	775	0,31	145,88	52,29	-	21,2	-	-	
F_Tablero de fibra de madera	0,022	260	5,72	85,8	7,72	-10,58	-2,86	0,044	0,50	
G_Aislamiento de corcho	0,120	110	13,20	57,12	3,7	-24,42	-20,72	0,035	3,43	
G1_Rastres de madera	0,120	520	7,28	22,54	0,89	-13,47	-12,58	-	-	
H_Lamina hermetica al aire	0,0005	288,88	0,13	13,59	2,01	-	2,01	-	-	
L_Panel madera contralaminada	0,120	520	62,40	324,25	21,93	-115,14	-93,21	0,13	0,92	
Rsi										
<b>Total</b>	<b>0,38</b>		<b>91,11</b>	<b>649,18</b>			<b>-106,16</b>			<b>U = 1/R=0,189 W/m2K</b>

### 4.2.4. Forjado sanitario– Caso 4S

#### · Descripción del cerramiento



Generalmente, los edificios ya construidos que utilizan el sistema de construcción con panel contralaminado, utilizan para su forjado inferior una solución convencional de forjado sanitario de hormigón armado, sobre cimentación del mismo material.

Un equipo de investigación liderado por SaAs (Sabate asociados Arquitectura y Sostenibilidad) junto a centros de investigación, universidades y empresas, has desarrollado, a través de numerosos estudios, un prototipo de construcción con CLT, conocido como LIMA<sup>26</sup>, a través del cual se busca una reducción relevante del impacto medioambiental de los edificios en climas cálidos.

El proyecto, de menos de 50 m2, se basa en una construcción prefabricada, con materiales en su mayor parte de madera, con bajo impacto ambiental, reciclados, etc. La configuración de sus cerramientos, nos servirá como guía en nuestro estudio.

Este estudio, persigue analizar el sistema constructivo con CLT, donde todos los tipos de cerramientos posean este como elemento principal. Al igual que en el proyecto LIMA, se propone un cerramiento elevado sobre terreno, de panel contralaminado como hoja principal, que estará apoyado sobre una cimentación puntual de zapatas de hormigón armado.

A\_ Parque flotante de bambú, 15mm.

$$\text{CO2 acumulado por m3} = 700\text{kg/m3} \times 1,85 = -1295 \text{ kg/m3}$$

$$\text{CO2 acumulado por m2} = 203,50\text{kg/m3} \times 0,015 = -19,42\text{kg/m2}$$

B\_ Capa de suelo radiante formada por masa de relleno compacta y panel compacto de yeso y fibras con nódulos, entre los que se instala el tubo de 20mm, que es estanco a la difusión de vapor de agua y oxígeno.

Datos por m2 de suelo	Energía primaria		Emisión CO2eq	
	UNIDAD	Kg/m2	MJ	Co2
Pasta de relleno	1m2	2,2	173,60	26,36
Tubo polietileno	3 m	-	34,95	3,72
Placa de yeso nodulado	1m2	31	87,91	5,03
<b>Total por m2</b>		<b>15,3</b>	<b>296,46</b>	<b>35,11</b>

Se estima que habrá 3 metros lineales de tubo por cada m2 de suelo.

40. Detalle de forjado sanitario de CLT  
Fuente: Elaboración propia

41. Casa 205, H architectes  
Fuente: archdaily.com

<sup>26</sup> LIMA (Low Impact Mediterranean Architecture), es un prototipo de construcción mínima con sistema constructivo de panel contralaminado de madera. Encontrado en, <http://www.saas.cat/lima-low-impact-mediterranean-architecture/>, Agosto 2016.

C\_ Capa de aislamiento térmico formado por planchas rígidas de corcho aglomerado negro fijado mecánicamente, entre rastreles de madera de 100x60mm de pino, con acabado cepillado, y longitud hasta 4 m.

- Aislamiento corcho aglomerado 100

Datos por m2 de suelo		Energía primaria	Emisión CO2eq
	UNIDAD	MJ	Co2
Corcho aglomerado	1 m2	45,51	2,77
Taco y soporte de nylon	3 ud	2,17	0,32
<b>Total por m2</b>		<b>47,68</b>	<b>3,09</b>

Co2 acumulado por m3 = 110kg/m3 x 1,85= -203,50 kg/m3  
 Co2 acumulado por m2 = 203,50kg/m3 x 0,10= -20,35kg/m2

- Rastreles de madera 100x60

Volumen rastrel = 0,10m x 0,06m x 1m = 0,006m3  
 Volumen rastrel en 1 m2 de cerramiento = 0,006m3 x 2= 0,012m3  
 520kg/m3 x 0,012m3= 6,24 kg por m2 de superficie de cerramiento

Datos por m2 de suelo		Energía primaria	Emisión Co2eq
	UNIDAD	MJ	Co2
Rastrel de madera de pino	1 m3	1260	28,20
Clavo de acero galvanizado	10 kg	350	36,04
Total por m3 de material		1610	64,24
<b>Total por m2</b>		<b>19,32</b>	<b>0,77</b>

Energía primaria por m2= 1610 MJ/m3 x 0,012 m3 = 19,32 MJ/m2  
 Emisiones de CO2 por m2= 64,24 Kg/m3 x 0,012 m3 = 0,77 Kg/m2  
 CO2 acumulado por m3 = 520kg/m3 x 1,85= 962 kg/m3  
 Co2 acumulado por m2 = 962kg/m3 x 0,012m3= -11,54kg/m2

D\_ Panel de madera contralaminada, que consta de 5 capas de madera encoladas y cruzadas a 90°, de 120mm de espesor total.

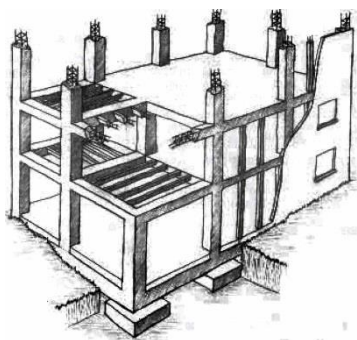
Datos por m2 de cubierta		Energía primaria	Emisión Co2eq
	UNIDAD	MJ	Co2
Panel contralaminado	1 m3	2670	181
	1 m2	320,40	21,72
Parte de herrajes y juntas	1 ud	3,85	0,21
<b>Total por m2</b>		<b>324,25</b>	<b>21,93</b>

Energía primaria CLT por m2= 2670 MJ/m3 x 0,12 m = 320,40 MJ/m2  
 Emisiones de CO2 por m2= 181 Kg/m3 x 0,12 m = 21,72 Kg/m2  
 CO2 acumulado por m3 = 520kg/m3 x 1,85= 962 kg/m3  
 Co2 acumulado por m2 = 962kg/m3 x 0,12m= -115,44 kg/m2

**CASO 4. Forjado sanitario de CLT**

	DESCRIPCION DEL CERRAMIENTO			FASE DE PRODUCCION				FASE DE USO		
	Esesor e	Densidad ρ	Masa por superficie	Energía primaria	EMISION CO2eq	CO2 FIJADO	BALANCE CO2eq	Conductividad termica λ	Resistencia termica Rn	U
	m	Kg/m3	Kg/m2	MJ/m2 ó MJ/kg	Kg/m2	Kg/m2	Kg/m2	W/mK	Rn = en / λn m2.K/W	
<b>Rsi</b>										
A_Parquet flotante de bambu	0,015	700	10,50	27,51	1,78	-19,42	-17,64	0,17	0,09	
B_Suelo radiante	0,020	1050	21,00	296,46	35,11	-	35,11	0,32	0,063	
C_Aislamiento de corcho	0,100	110	11,00	47,68	3,09	-20,35	-17,26	0,035	2,86	
C1_Rastreles de madera	0,100	520	6,24	19,32	0,77	-11,54	-10,77	-	-	
D_Panel madera contralaminada	0,120	520	62,40	324,25	21,93	-115,44	-93,51	0,13	0,92	
<b>Rse</b>										
<b>TOTAL</b>	<b>0,26</b>		<b>111,14</b>	<b>715,22</b>			<b>-104,07</b>			<b>4,143</b>
										<b>U = 1/R=0,244 W/m2K</b>

### 4.3. CERRAMIENTOS CONVENCIONALES



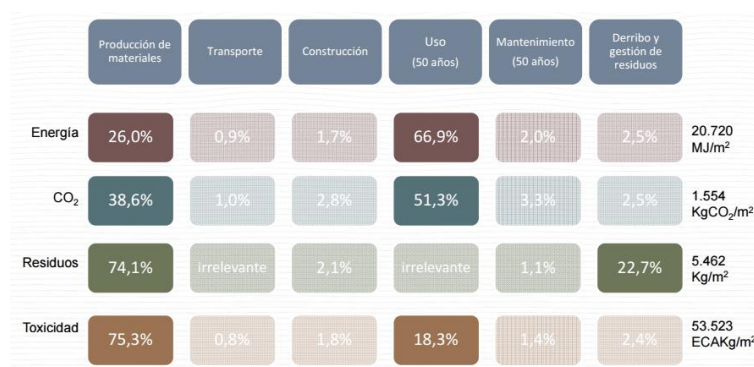
El sistema de construcción convencional agrupa las técnicas y configuraciones de cerramientos más usuales en España, en el ámbito residencial. Se caracteriza por ser un sistema sin prefabricación, en el que los elementos se construyen in situ, con ayuda de maquinaria pesada.

Entre los materiales más utilizados en España para construcción residencial, predominan para elementos verticales, el material cerámico, y para elementos horizontales, el hormigón armado. A partir de ahí, las distintas configuraciones, una vez fijado el elemento principal, u hoja principal, se intentaran asemejar, para su posterior comparación, a las propuestas para panel contralaminado, manteniendo, por ejemplo, la tipología para cerramiento de fachada, que tendrá que ser ventilada, con aislamiento por el exterior y sin trasdosado interior.

En rasgos generales, el sistema se compone de una estructura de hormigón armado in situ, cubierta plana invertida, cerramientos verticales de hoja principal cerámica, carpinterías de aluminio, forjado sanitario, revestimientos de mortero mono capa y yeso, etc.

Para ello, se ha accedido al Catálogo de elementos constructivos<sup>27</sup>, del que se ha obtenido las distintas soluciones, con sus correspondientes capas analizar. El único elemento configurable, es el aislamiento, en el que se determinara el espesor y la conductividad térmica, propias del corcho aglomerado negro ya utilizado.

De esta forma tendremos una solución aproximadamente semejante al de CLT, y con un grosor total, similar.



42. Construcción de muro de ladrillo  
Fuente: [www.arqhys.com](http://www.arqhys.com)

43. Construcción convencional de hormigón armado y albañilería.  
Fuente: [biblioteca.sena.edu.co](http://biblioteca.sena.edu.co)

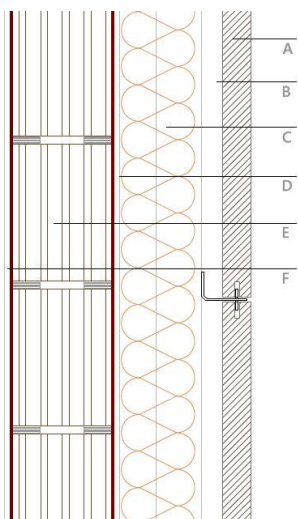
44. A la derecha. Ciclo de vida de un edificio convencional.  
Fuente: La construcción modular ligera aplicada a la vivienda. G. Wadel

<sup>27</sup> Catálogo de Elementos Constructivos iniciativa del Ministerio de Fomento, y desarrollado por el iTec ITEC, que se alimenta básicamente de los datos del Catálogo ya elaborado por el Itec, con la colaboración de CEPSCO., es una base de datos que recoge información de las características de materiales, de las prestaciones higrotérmicas y acústicas de elementos constructivos genéricos y de especificidades constructivas, relativas a las exigencias básicas del CTE. Encontrado en <http://itec.cat/cec/Pages/BusquedaSC.aspx>, Agosto 2016.



### 4.3.1. Fachadas ventilada convencional – Caso 5F

#### · Descripción del cerramiento



El caso 5, será una fachada ventilada de pared de obra de fábrica de ladrillo cerámico, de 14cm de espesor, con revestimiento exterior discontinuo fijado a un entramado de perfiles metálicos, cámara de aire muy ventilada y aislamiento térmico no hidrófilo en la cara exterior de la fachada y revestimiento interior de guarnecido de yeso.<sup>28</sup>

A\_ Fachada ventilada con revestimiento de piezas cerámicas, de una cara vista, longitud entre 550x650 cm, altura entre 250x350 cm y 15mm de espesor, machihembrada longitudinalmente, colocadas con grapas de acero inoxidable para fijación oculta sobre estructura metálica.

B\_ Cámara de aire ventilada de 4cm de espesor, con entramado metálico para el aplacado, formado por perfiles verticales tipo T de 100x60x1,8mm, fijados a anclajes regulables tipo L de 110x123x3mm, anclados con fijaciones mecánicas sobre paramento vertical.

C\_ Capa de aislamiento térmico formado por planchas rígidas de corcho aglomerado negro, de 100mm de espesor, fijado mecánicamente.



Datos por m2 de fachada		Energía primaria	Emisión CO2eq
	UNIDAD	MJ	Co2
Corcho aglomerado	1 m2	45,51	2,77
Taco y soporte de nylon	3 ud	2,17	0,32
<b>Total por m2</b>		<b>47,68</b>	<b>3,09</b>

Co2 acumulado por m3 = 110kg/m3 x 1,85= -203,50 kg/m3

Co2 acumulado por m2 = 203,50kg/m3 x 0,10= -20,35kg/m2

D\_ Enfoscado proyectado a buena vista sobre paramento vertical exterior y fratasado.

E\_ Pared cerramiento de 14 cm de espesor de bloque termo arcilla de 300x190x140 mm de cerámica de arcilla aligerada, LD, tomado con mortero de cemento.

F\_ Guarnecido y enlucido de yeso de 15mm

45. Detalle de fachada ventilada convencional  
Fuente: Elaboración propia

46. Maqueta fachada ventilada convencional  
Fuente: saas.cat

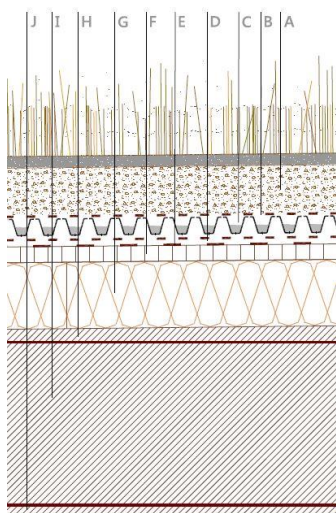
<sup>28</sup> Descripción tomada del catálogo de elementos constructivos. <http://itec.cat/cec/Pages/BusquedaSC.aspx>, Agosto 2016

**CASO 5. Fachada ventilada convencional**

DESCRIPCION DEL CERRAMIENTO	FASE DE PRODUCCION			FASE DE USO		
	IMPACTO AMBIENTAL			TRANSMITANCIA U		
	Energía primaria MJ/m <sup>2</sup> ó MJ/kg	EMISION CO2eq Kg/m <sup>2</sup>	CO2 FIADO Kg/m <sup>2</sup>	BALANCE CO2eq Kg/m <sup>2</sup>	Conductividad termica λ W/mK	Resistencia termica Rn Rn = en / λn m <sup>2</sup> .K/W
<b>Rsi</b>						
A_Piezas ceramicas	44,22	3,35	-	3,35	1	0,015
B_Camara de aire ventilada			-			
B1_Grapas de fijacion						
B2_Montante metalico tipo T	396,58	22,46		22,46		
B3_Ancleaje tipo L						
C_Aislamiento de corcho	47,68	3,09	-20,35	-17,26	0,035	2,86
D_Enfoscado mortero	54,1	9,19		9,19	0,3	0,05
E_Ladrillo perforado	377,84	29,9		29,9	0,44	0,32
F_Guarnecido y enlucido	19,22	1,71		1,71	0,4	0,04
<b>Rse</b>						
<b>TOTAL</b>	<b>939,64</b>			<b>49,35</b>		<b>3,455</b>
						<b>U = 1/R=0,29 W/m<sup>2</sup>K</b>

### 4.3.2. Cubierta ajardinada convencional – Caso 6C

#### · Descripción del cerramiento



Las cubiertas a analizar en este apartado tendrán una hoja principal de panel de madera contralaminada. Se ha elegido una cubierta invertida, con aislamiento por el exterior, formación de pendiente mediante rastreles, y capa superior ajardinada, con sus respectivas capas de drenaje, filtro etc.

A\_ Sustrato para cubierta ajardinada compuesto de cerámica especialmente escogida y triturada y otros componentes minerales, mezclados con compost vegetal y turba rubia, y plantas autóctonas de la zona.

B\_ Filtro agujereado de polipropileno termo soldado.

C\_ Elemento de drenaje y retención de agua fabricado de poliolefina reciclada.

D\_ Lámina en propileno, hidrófuga, permeable al aire y al vapor, utilizable como capa de separación.

E\_ Doble capa de lámina impermeable antirraiz de butilo EPDM

F\_ Tablero de fibra de madera.

$$\text{CO2 acumulado por m3} = 260\text{kg/m3} \times 1,85 = -481 \text{ kg/m3}$$

$$\text{Co2 acumulado por m2} = 203,50\text{kg/m3} \times 0,12\text{m} = -10,58\text{kg/m2}$$

G\_Capa de aislamiento térmico formado por planchas rígidas de corcho aglomerado negro fijado mecánicamente, entre rastreles de madera 120x60mm de pino, con acabado cepillado, y longitud hasta 4 m, con tratamiento fungicida-insecticida.

#### - Aislamiento corcho aglomerado

Datos por m2 de cubierta	Energía primaria		Emisión CO2eq
	UNIDAD	MJ	Co2
Placa de corcho	1 m2	54,60	3,33
Herrajes y juntas	3 ud	2,52	0,37
<b>Total por m2</b>		<b>57,12</b>	<b>3,70</b>

$$\text{CO2 acumulado por m3} = 110\text{kg/m3} \times 1,85 = -203,50 \text{ kg/m3}$$

$$\text{Co2 acumulado por m2} = 203,50\text{kg/m3} \times 0,12\text{m} = -24,42\text{kg/m2}$$



47. Detalle de cubierta convencional

Fuente: Elaboración propia

48. Cubierta ajardinada

Fuente: urbanarbolismo.es

- Rastreles de madera 120x60

Volumen rastrel = 0,12m x 0,06m x 1m = 0,007m<sup>3</sup>

Volumen rastrel en 1 m<sup>2</sup> de cerramiento = 0,007m<sup>3</sup> x 2= 0,014m<sup>3</sup>

520kg/m<sup>3</sup> x 0,014m<sup>3</sup>= 7,28kg por m<sup>2</sup> de cerramiento

Datos por m <sup>2</sup> de cubierta		Energía primaria	Emisión CO <sub>2</sub> eq
	UNIDAD	MJ	Co <sub>2</sub>
Rastrel de madera de pino	10 kg	1260	28,20
Clavo de acero galvanizado	1 m <sup>3</sup>	350	36,04
Total por m <sup>3</sup> de material		1610	64,24
<b>Total por m<sup>2</sup> de cerramiento</b>		<b>22,54</b>	<b>0,89</b>

Energía primaria por m<sup>2</sup>= 1610 MJ/m<sup>3</sup> x 0,014 m<sup>3</sup> = 22,54 MJ/m<sup>2</sup>

Emisiones de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup>= 64,24 Kg/m<sup>3</sup> x 0,014 m<sup>3</sup> = 0,89 Kg/m<sup>2</sup>

CO<sub>2</sub> acumulado por m<sup>3</sup> = 520kg/m<sup>3</sup> x 1,85= 962 kg/m<sup>3</sup>

Co<sub>2</sub> acumulado por m<sup>2</sup> = 962kg/m<sup>3</sup> x 0,014m<sup>3</sup>= -13,47kg/m<sup>2</sup>

H\_Formacion de pendiente con hormigón celular sin árido de 50mm de espesor medio.

I\_Forjado nervado unidireccional de 20+4, con bovedilla de poliestireno y semiviguetas de hormigón armado, interejos de 0,7m, armado AP500 S de acero en barras corrugadas, y AP500 T en mallas electro soladas de 6mm, y vertido de hormigón HA-25/P/20/I para capa de compresión de 5cm.

Datos por m <sup>2</sup> de suelo		Densidad	Energía primaria	Emisión CO <sub>2</sub> eq
	UNIDAD	Kg/m <sup>2</sup>	MJ	Co <sub>2</sub>
Capa compresión	0,1 m <sup>3</sup>	30,19	124,32	22,38
Barras corrugadas	5 kg	5	188,04	15,15
Mallazo	1 m <sup>2</sup>		112,57	9,07
Semivigueta	1 m <sup>2</sup>	188	394,88	32,37
Bovedilla	1 m <sup>2</sup>		268,65	39,65
Puntales y encofrados	-	-	2,97	0,09
<b>Total/m<sup>2</sup> cerramiento</b>		<b>223,19</b>	<b>1091,43</b>	<b>118,71</b>

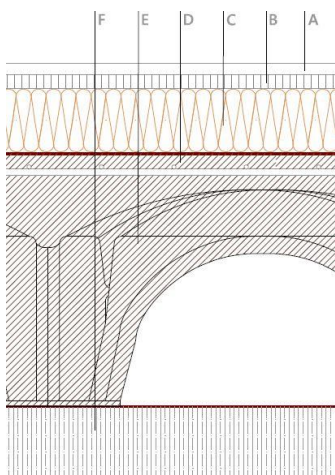
**CASO 6. Cubierta ajardinada convencional**

DESCRIPCION DEL CERRAMIENTO	FASE DE PRODUCCION			FASE DE USO	
	IMPACTO AMBIENTAL	TRANSMITANCIA U		Conductividad termica $\lambda$	Resistencia termica Rn
Esesor e	Emision CO2eq	CO2 FIJADO	W/mK	$R_n = \frac{e_n}{\lambda_n}$	m <sup>2</sup> .K/W
Densidad $\rho$	Energia primaria MJ/m <sup>2</sup> ó MJ/kg	Kg/m <sup>2</sup>			
Densidad superficial	BALANCE CO2eq	Kg/m <sup>2</sup>			
m					
Rse					
A_Sustrato aligerado y vegetacion	1,68	0,08	-	0,52	0,173
B_Lamina filtrante	92,12	13,6	-	-	-
C_Capa drenaje y retencion	145,88	52,29	-	0,04	0,125
D_Manta protectora	85,8	7,72	-10,58	-	-
E_Lamina impermeable antirraiz	57,12	3,7	-24,42	0,044	0,50
F_Tablero de fibra de madera	57,12	3,7	-24,42	0,035	3,43
G_Aislamiento de corcho	88,31	17,61	-	2	0,025
H_Formacion de pendiente	1091,43	118,71	-	0,313	0,77
I_Forjado unidireccional	19,22	1,71	-	0,4	0,04
J_Guarnecido de yeso	1468,54	116,33	1,71		0,1
<b>TOTAL</b>	<b>0,50</b>	<b>259,49</b>	<b>116,33</b>	<b>U = 1/R=0,192 W/m2K</b>	

### 4.3.3. Forjado sanitaria convencional – Caso 7S

#### · Descripción del cerramiento

El caso 5, se caracteriza por un forjado sanitario ventilado elevado sobre el terreno mediante de módulos prefabricados que actúan de encofrado perdido y una capa de compresión, sobre la que se sitúa el aislamiento rígido, una capa de suelo radiante, y parque de madera.



A\_Parquet flotante de bambú, 15mm.

Co2 acumulado por m3 = 700kg/m3 x 1,85= -1295 kg/m3

Co2 acumulado por m2 = 203,50kg/m3 x 0,015= -19,42kg/m2

B\_Capa de suelo radiante formado por masa de relleno compacta y panel compacto de yeso con nódulos, sobre el que se coloca el tubo. 20mm

Datos por m2 de suelo		Energía primaria	Emisión CO2eq	
UNIDAD	Kg/m2	MJ	Co2	
Pasta de relleno	1m2	2,2	173,60	26,36
Tubo polietileno	3 m	-	34,95	3,72
Placa de yeso	1m2	31	87,91	5,03
<b>Total por m2</b>		<b>15,3</b>	<b>296,46</b>	<b>35,11</b>

Se estima que habrá 3 metros lineales de tubo por cada m2 de suelo.

C\_Capa de aislamiento térmico formado por planchas rígidas de corcho aglomerado negro de 100mm fijado mecánicamente, entre rastreles de madera (100x60mm) de pino, con acabado cepillado.

- Aislamiento corcho aglomerado 100

Datos por m2 de forjado		Energía primaria	Emisión CO2eq
UNIDAD	MJ	Co2	
Placa de corcho aglomerado	1 m2	45,51	2,77
Taco y soporte de nylon	3 ud	2,17	0,32
<b>Total por m2</b>		<b>47,68</b>	<b>3,09</b>

Co2 acumulado por m3 = 110kg/m3 x 1,85= -203,50 kg/m3

Co2 acumulado por m2 = 203,50kg/m3 x 0,10= -20,35kg/m2

- Rastreles de madera 100x60

Volumen rastrel = 0,10m x 0,06m x 1m = 0,006m3

Volumen rastrel en 1 m2 de cerramiento = 0,006m3 x 2= 0,012m3

520kg/m3 x 0,012m3= 6,24 kg por m2 de superficie de cerramiento

49. Detalle de forjado sanitario  
Fuente: Elaboración propia

50. Construcción de forjado sanitario  
Fuente: edingaps.com

Datos por m2 de forjado		<b>Energía primaria</b>	<b>Emisión CO2eq</b>
	UNIDAD	MJ	Co2
Rastrel de madera de pino	1 m3	1260	28,20
Clavo de acero galvanizado	10 kg	350	36,04
<b>Total por m3 de material</b>		<b>1610</b>	<b>64,24</b>
<b>Total por m2 de cerramiento</b>		<b>19,32</b>	<b>0,77</b>

D\_ Capa de compresión de hormigón armado HA-20 de 50mm de espesor, con malla electro soldada de 6 mm de diámetro, como armadura de reparto.

Datos por m2 de forjado		<b>Densidad superficial</b>	<b>Energía primaria</b>	<b>CO2eq</b>
	UNIDAD	Kg/m2	MJ	Co2
Hormigón	0,10 m3	27,5	141,11	26,69
Armadura	1 m2	2,69	99,72	8,03
<b>Total por m2</b>		<b>30,19</b>	<b>296,46</b>	<b>35,11</b>

Kg por m2 de hormigón =  $0,10\text{m}^3 \times 275\text{kg}/\text{m}^3 = 27,5 \text{ kg por m}^2$

E\_ Formación de solera ventilada, realizada con encofrado perdido de polipropileno, de 30 cm de canto.

F\_ Base de hormigón de limpieza y capa de zahorra compactada de 25cm de espesor.

**CASO 7. Forjado sanitario convencional**

	DESCRIPCION DEL CERRAMIENTO			FASE DE PRODUCCION				FASE DE USO		
	Espesor e	Densidad	Densidad superficial	Energía primaria	EMISION CO2eq	CO2 FIJADO	BALANCE CO2eq	Conductividad termica λ	Resistencia termica Rn	U
	m	Kg/m3	Kg/m2	MJ/m2 ó MJ/kg	Kg/m2	Kg/m2	Kg/m2	W/mK	Rn = en / λn	m2,K/W
Rsi										
A_Parquet flotante de bambu	0,015	700	10,50	27,51	1,78	-19,42	-17,64	0,17	0,09	
B_Suelo radiante	0,020	1050	21,00	296,46	35,11	-	35,11	0,32	0,063	
C_Aislamiento de corcho	0,100	110	11,00	47,68	3,09	-20,35	-17,26	0,035	2,86	
C1_Rastreles de madera	0,100	520	6,24	19,32	0,77	-11,54	-10,77	-	-	
D_Capa de compresion	0,050	275,00	30,19	296,46	35,11	-	35,11	2,3	0,02	
E_camara ventilada	0,300	-	88,00	389,86	57,54	-	57,54	-	-	
f_Hormigon de limpieza	0,100	150	15,00	906,79	143,09	-	143,09	-	-	
Rse										
<b>TOTAL</b>	<b>0,29</b>		<b>181,93</b>	<b>1984,08</b>			<b>225,18</b>			<b>0,17</b>
										<b>3,373</b>
										<b>U = 1/R=0,296 W/m2K</b>

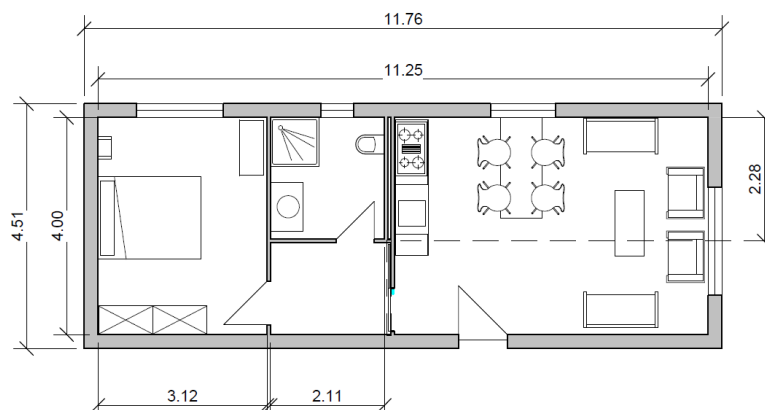


#### 4.4. Propuesta y estudio de módulo de vivienda

Para poder analizar las fases de construcción y uso del edificio, es necesario hacer los cálculos en base a un prototipo de edificio, que se basara en un módulo de vivienda unifamiliar mínima.

Con la configuración anterior, se podrá realizar un estudio de las fases que corresponden a la puesta en obra de edificio, y a la de uso. Para la primera, se considerara un impacto ambiental basado en el consumo de energía primaria, y emisiones de CO2 equivalente que se originan durante toda la etapa de instalación del edificio. En cuanto a la fase de uso, que se estima en 50 años, se considera solo la cantidad de energía que el sistema debe suministrar a un espacio o edificio para mantener las condiciones de confort.

##### 4.4.1. Definición geométrica del edificio



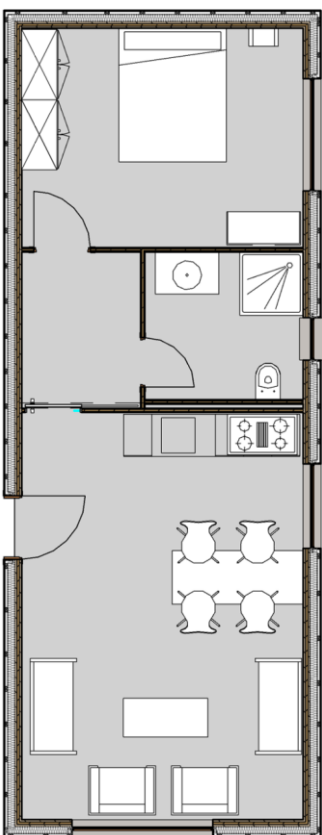
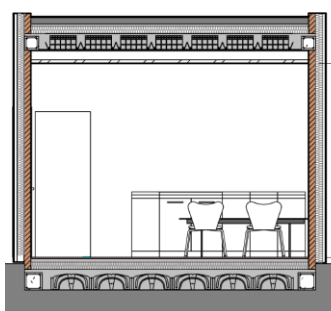
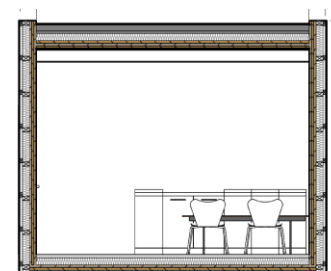
51. Planta del módulo de vivienda propuesto.

Fuente: Elaboración propia

La geometría del módulo será de planta rectangular de 4m de ancho, 11,25m de largo, y 3m de alto, con una superficie útil de 45m<sup>2</sup>, y una sola planta. Los cerramientos que la componen, descritos de forma genérica, serán una cubierta invertida ajardinada, una fachada ventilada con aislamiento exterior, y un forjado sanitario ventilado.

El espacio interior constara de un dormitorio, un baño y una zona de estar con cocina. El edificio estará aislado sin edificios o construcciones alrededor, y se situara en Valladolid, zona D2.

Para su definición constructiva, es necesario justificar primero el método de elección de sus cerramientos. El planteamiento pretende hacer un análisis comparativo realista del sistema constructivo con CLT frente a uno convencional en España, por ello, se intentaran estudiar las dos soluciones de forma equivalente, es decir, desde el punto de vista de todo aquello que pudiese afectar a la climatización de ese espacio. Los aspectos que se



52. Secciones y plana del módulo de vivienda propuesta.  
Fuente: Elaboración propia

mantendrán invariables serán la geometría del espacio, orientación, superficie, material de su aislamiento, con su espesor y conductividad. De esta forma, nos aseguramos de que la demanda de energía sea parecida en los dos casos, para que el resultado del impacto final no se distorsione.

Para dibujar la planimetría de la vivienda, se ha utilizado el programa Revit, del cual se han obtenido secciones y plantas de cada tipo de solución.

#### 4.4.2. Fase de construcción

Para esta fase, se ha tomado como referencia un estudio de impacto ambiental desarrollado por Gerardo Wadel en "La sostenibilidad en la arquitectura industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda." El estudio compara el impacto que tienen 4 sistemas constructivos de un edificio de 1708 m<sup>2</sup>, con células de vivienda de 40m<sup>2</sup>, durante toda su vida útil. Uno de ellos se basa en el sistema con CLT, que varía ligeramente del nuestro en aspectos constructivos, pero su impacto durante su puesta en obra se asemejaría, al igual que el del sistema convencional.

- Sistema de madera contralaminada

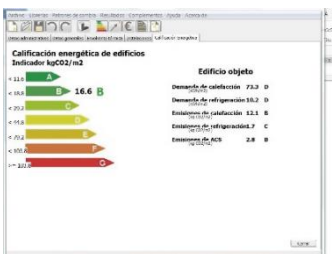
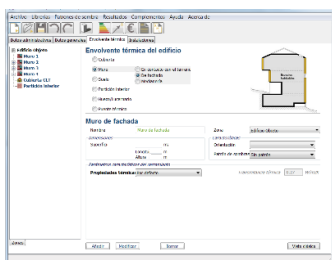
	<b>Energía primaria 1708m<sup>2</sup></b>	<b>Emisión CO<sub>2</sub>eq 1708m<sup>2</sup></b>	<b>Energía primaria</b>	<b>Emisión CO<sub>2</sub>eq m<sup>2</sup></b>
<b>Construcción in situ</b>	MJ/1708m <sup>2</sup>	KgCo <sub>2</sub> /1708m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	KgCo <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Excavación	10662,71	850,05	6,24	0,50
Cimentación	2838,88	226,32	1,66	0,13
<b>Montaje módulos</b>				
Grúa	12075,04	962,65	7,07	0,56
<b>Total m<sup>2</sup></b>			<b>14,97</b>	<b>1,19</b>

- Sistema convencional

	<b>Energía primaria</b>	<b>Emisión CO<sub>2</sub>eq</b>	<b>Energía primaria</b>	<b>Emisión CO<sub>2</sub>eq</b>
	MJ/1708m <sup>2</sup>	KgCo <sub>2</sub> /1708m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	KgCo <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>
Replanteo, excavación	22342,69	1781,21	11,171	0,89
Cimentación	1137,06	90,65	0,57	0,05
Cubierta	1270,85	88,12	0,66	0,04
Fachada	36,22	2,51	0,02	0,001
Grúa	477360	33099	238,68	16,54
<b>Total m<sup>2</sup></b>			<b>251,101</b>	<b>17,521</b>

### 4.4.3. Fase de uso (50 años)

El cálculo se hará a través del programa CEX3<sup>29</sup>, que se basa en un procedimiento simplificado para obtener la demanda energética y el consumo de energía de un edificio. Este programa obtiene resultados con respecto a la calefacción, refrigeración, ACS e iluminación, de los cuales solo nos interesa el primero, que está relacionado directamente con la envolvente del edificio. Los otros, aun siendo un factor importante en el impacto ambiental del uso del edificio, son datos que no están relacionados con los cerramientos, si no que dependen de los ocupantes y el sistema de instalaciones elegido, por lo que no los tendremos.



El programa también nos proporciona ese consumo en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera, pero este dato tiene en cuenta los rendimientos de las instalaciones, y nos interesa que estas no intervengan en el cálculo. Una vez obtenidos los datos de la demanda energética de calefacción y refrigeración, se procederá a su conversión a emisiones de Co2, tomando como referencia el factor de conversión de 0,252 kgCO2/kWh en el caso de utilizar gas natural como energía primaria.<sup>30</sup>

- Sistema de madera contralaminada

	<b>Energía primaria año</b>	<b>Energía primaria Vida útil</b>	<b>Emisión CO2eq Vida útil</b>
	Kwh/m2 año	MJ/m2	KgCo2
Demanda calefacción	73,30	263,88	66,49
Demanda refrigeración	10,20	36,72	9,25
<b>Total m2 año</b>	<b>83,5</b>	<b>300,6</b>	<b>75,74</b>
<b>Total m2 (50 años)</b>	<b>4175</b>	<b>15030</b>	<b>3787</b>

Equivalencia 1Kwh = 3,6 MJ

53. *Calculo de la demanda energética con CE3X.*  
Fuente: *Elaboración propia*

<sup>29</sup> CEX3 es "Documento Reconocido para la Certificación Energética de Edificios Existentes". Ha sido desarrollado por Efinovatic y el Centro Nacional de Energías Renovables (CENER), y es propiedad del IDAE.

<sup>30</sup> Valores aprobados en Comisión Permanente de Certificación Energética de Edificios de 27 de Junio de 2013, encontrado en [www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/C%20-%2020140720\\_Factores%20emision%20CO2%20y%20E%20Final\\_PrimariaCorrErrata\\_con%20portada.pdf](http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/C%20-%2020140720_Factores%20emision%20CO2%20y%20E%20Final_PrimariaCorrErrata_con%20portada.pdf)

## - Sistema convencional

	<b>Energía primaria</b>	<b>Energía primaria</b>	<b>Emisión CO2eq</b>
	Kwh/m2 año	MJ/m2	KgCo2
Demanda calefacción	82,10	295,56	74,48
Demanda refrigeración	10,20	36,72	9,25
<b>Total m2 año</b>	<b>92,3</b>	<b>332,28</b>	<b>83,73</b>
<b>Total m2 (50 años)</b>	<b>4615</b>	<b>16614</b>	<b>4186</b>

Equivalencia 1Kwh = 3,6 MJ

## 5. CONCLUSIONES

### 5.1. Cerramientos

A continuación se presenta un cuadro resumen de los cerramientos estudiados, con los datos relativos a la unidad elegida de 1 m<sup>2</sup> de superficie del paramento, ya sea fachada, cubierta o forjado sanitario.

	<b>Espesor</b>	<b>Densidad</b>	<b>Energía primaria</b>	<b>Emisiones</b>	<b>Transmitancia</b>	
	m	Kg/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	KgCo <sub>2</sub>		
CLT	Caso 1F	0,250	76,52	501,10	-102,45	0,269
	Caso 2F	0,205	70,67	407,92	-75,21	0,268
	Caso 3C	0,380	91,11	649,18	-106,16	0,189
	Caso 4FS	0,260	111,14	715,22	-104,07	0,244
CONVENCIONAL	Caso 5F	0,330	155,74	939,64	49,35	0,290
	Caso 6C	0,500	259,49	1468,54	116,33	0,192
	Caso 7FS	0,290	181,93	1984,08	225,18	0,296

Tabla resumen de cerramientos

Fuente: Elaboración propia

Podemos comprobar que el Sistema constructivo con panel de madera contralaminada, resulta ventajoso en todos los aspectos. Empezando por un menor espesor

El uso de materiales sostenibles y reutilizables, permite minimizar el impacto medioambiental, como podemos comprobar en la tabla. En comparación con un caso de construcción convencional, los datos del CLT nos permiten afirmar que el impacto respecto a la energía empleada en su ciclo de vida, puede reducirse cerca de un tercio del convencional si hablamos de cubiertas o forjados sanitarios.

Respecto a las fachadas el contraste es menor, reduciéndose hasta la mitad del convencional, como consecuencia de no intervenir el uso del hormigón en el cerramiento propiamente dicho, que es material que más impacto provoca en el medioambiente.

La cantidad resultante de emisiones de Co2 de un cerramiento de CLT, tiene un valores negativos, y hace ver que por cada m2 de dicho paramento vertical, puede almacenarse o fijarse en el en torno a 100 kg de CO2, gracias a que está constituido en su mayor parte por elementos de madera, y otros derivados de ella, como el corcho aglomerado. Así, esa cantidad solo sería devuelta a la atmosfera en el caso de que la madera fuese quemada, con objeto de obtención de energía.

En cuanto a la eficiencia energética, el cerramiento de madera tiene mejor comportamiento que el convencional. Aunque tiene una configuración parecida, con el mismo espesor y tipo de aislamiento, la diferencia la proporciona el panel contralaminado, que al ser un elemento macizo compuesto por madera, ofrece una resistencia térmica muy alta para no ser considerado aislamiento.

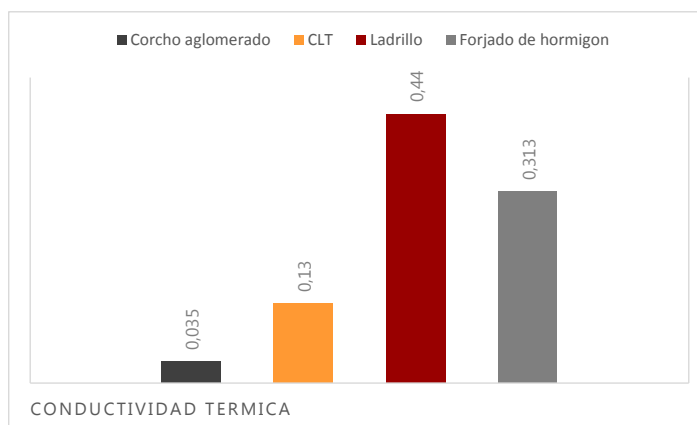


Grafico de conductividad termica

Fuente: Elaboración propia

En el grafico superior se muestra una comparación entre las hojas principal de los cerramientos estudiados. El CLT tiene una conductividad casi 4 veces superior a un aislamiento normal, en este caso respecto al corcho aglomerado negro.

Mientras que otros materiales pueden llegar a llegar a una conductividad de 9 veces la del aislamiento, como el forjado de hormigón, y de 13 veces en caso de la hoja de termo arcilla. Es conveniente comentar que el alto aislamiento en el forjado de hormigón se debe a su construcción con bovedillas de poli estireno.

## 5.2. Sistema constructivo

		CLT		CONVENCIONAL	
		Energía	Emisiones	Energía	Emisiones
		MJ/m2	KgCo2	MJ/m2	KgCo2
Fase de producción	Fachada	501,10	-102,45	939,64	49,35
	Cubierta	649,18	-106,16	1468,54	1,19
	Forjado	715,22	-104,07	1984,08	225,18
<b>Total m2</b>		<b>1865,5</b>	<b>-312,68</b>	<b>4392,26</b>	<b>275,72</b>
Fase de construcción		14,97	1,19	251,101	17,521
Fase de uso		15030	3787	16614	4186
<b>Total m2</b>		<b>16910,47</b>	<b>3475,51</b>	<b>21257,361</b>	<b>4479,241</b>

*Tabla resumen de los módulos*

*Fuente: Elaboración propia*

El cuadro del ciclo de vida presenta una síntesis del impacto ambiental durante todo el ciclo de vida de los sistemas constructivos estudiados, Como sucede en la mayoría de los ACV, las etapas de extracción y fabricación de materiales y la de uso del edificio en los dos sistemas, son las más contaminantes, ya que concentran la mayor parte del impacto, llegando hasta un 90% según los indicadores utilizados.

En lo que respecta a la **fase de producción**, la energía y las emisiones de CO2 del sistema convencional sobrepasan considerablemente las de la madera. Esta diferencia respecto del sistema de madera se da por la utilización predominante de un material de origen natural cuyo proceso industrial no es muy intenso y que, además, actúa como sumidero de CO2 durante la fase de crecimiento, y hace que la cantidad de emisiones de CO2 sea negativo.

El sistema convencional es el que más contamina durante su **fase de construcción**, en caso una proporción de 17 a 1 en comparación con el de CLT. Esto se debe a que todo el proceso tiene lugar en el lugar de construcción del edificio, es decir una construcción "in situ", interviniendo actividades como el encofrado, el vertido del hormigón, la colocación pieza a pieza de la fábrica de ladrillo, etc. Sin embargo el CLT está basado en la prefabricación, con lo cual, todos los elementos llegan finalizados a obra, y solo se necesita colocarlos en su posición por medio de grúas.

En cuanto a tiempo de construcción, los paneles llegan a obra ya cortados a medida, con los huecos de carpintería, esto facilita el trabajo y puede suponer un ahorro importante de tiempo.

Además, el CLT puede ser usado en todos los tipos de cerramientos, y con casi cualquier combinación de fachada, forjado, y cubierta.

Por otra parte, el sistema prefabricado permite realizar cambios, debido a su condición de sistema desmontable, sin tener que demoler ni romper los elementos, a diferencia del convencional.

En relación con el final de su vida útil, estimada en 50 años, los cerramientos que conforman el edificio son reciclables en su mayor parte, por su condición de prefabricado, y versátil, aventaja notablemente al

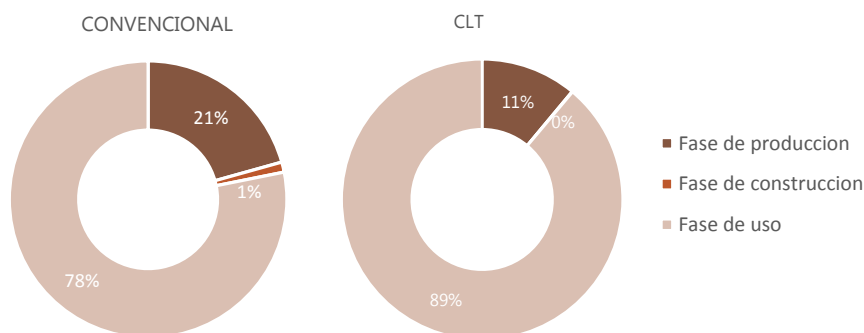


Grafico de energia primaria

Fuente: Elaboración propia

convencional, que posee un reciclaje pobre y hasta nulo.

En cuanto a la **fase de uso**, en primer lugar no puede hablarse de grandes contrastes, ya que la diferencia tomando los valores de consumo de energía y emisiones asociadas, no supera el 15%, aun así el convencional es el de mayor gasto.

Las juntas entre paneles contralaminados, están estudiadas de tal manera que la envolvente sea totalmente estanca al aire, lo que mejora su eficiencia térmica. Además, al ser un sistema que utiliza el panel en toda la envolvente, se consigue un edificio hermético.

Un aspecto negativo, es que el sistema de CLT, y los sistemas de madera en general, en España no está lo suficientemente desarrollado, y en consecuencia la industria forestal, no podría soportar una demanda alta de productos de madera. Además, los bosques tampoco estarían capacitados para ser sostenibles, ya que la tala de árboles sería mucho más elevada que la renovación de la masa forestal, para cerrar el ciclo de modo sostenible.



## 6. BIBLIOGRAFIA

### 6.1. Soporte material

BASTERRA OTERO, Luis-Alfonso; Construcción de estructuras de madera; Valladolid: Secretariado de Publicaciones e Intercambio Editorial [etc.], 2012

PERAZA SÁNCHEZ, Fernando; Guía de la madera. I, productos básicos y carpintería; Alcobendas; AITIM, D. L. 2010.

PERAZA SÁNCHEZ, Fernando; Guía de la madera. II, Construcción y estructuras; Alcobendas; AITIM, D. L. 2014

BROTO, Carles; Casas de madera: nuevas tendencias; Barcelona, Linksbooks, 2012

WADEL, G.; AVELLANEDA, J.; CUCHÍ, A.; La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales; Informes de la Construcción, Vol 62, No 517, 2010.

### 6.2. Soporte digital

ESTÉVEZ CHORRO, Raúl; Valoración comparativa de la eco-eficiencia de los paneles de madera contralaminada; Trabajo Fin de Grado, Universidad de Alicante, 2015. Recuperado en Julio 2016, de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/48919>

FERNANDEZ FORCADA, Mario; La madera contralaminada como alternativa en sistemas de baja energía estructural; tesis doctoral, Universitat Politècnica de Valencia 2015. Recuperado en Julio 2016, de [riunet.upv.es/handle/10251/59387](http://riunet.upv.es/handle/10251/59387)

VIOTTO, Umberto; El tablero contralaminado. Actualidad de una alternativa para la media altura; Trabajo final de máster, Universidad Politècnica de Catalunya, 2013. Recuperado en Julio 2016, de <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/19816>

CARCACÍA VILCHES, Miguel Ángel; Estudio comparativo de sistemas constructivos en madera para edificios de más de 3 plantas; Proyecto final de master, Universidad Politècnica de Catalunya 2019. Recuperado en Julio 2016, de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/88339>

RIEZMIK, Natalia; HERNÁNDEZ, Agustín; Análisis de Ciclo de Vida. Artículo de Glosario de términos clave relacionados con un urbanismo y una arquitectura más sostenibles realizado en Departamento de Urbanismo y Ordenación del Territorio de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid; Madrid; ETSAM; 2005. (Sitio web) Recuperado en Julio de 2016, de [habitat.aq.upm.es](http://habitat.aq.upm.es)

WADEL RAINA, Gerardo, La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: la construcción modular ligera aplicada a la vivienda; Tesis; Universidad Politécnica de Catalunya; 2009. (PDF) Recuperado en Julio 2016, de [upcommons.upc.edu/handle/10803/6136](http://upcommons.upc.edu/handle/10803/6136)

CEO Bois (European Confederation of Woodworking Industries); Tackle Climate Change: Use Wood; 2006. (PDF) Recuperado en Julio 2016 de [ceibois.org](http://ceibois.org)

Staff, New York City Department of Design and Construction; ZACHMANN Will; City of New York Department of Design and Construction; April, 1999. (PDF) Recuperado en Julio 2016, de [www1.nyc.gov/assets/ddc/downloads/Sustainable/high-performance-building-guidelines.pdf](http://www1.nyc.gov/assets/ddc/downloads/Sustainable/high-performance-building-guidelines.pdf)

University of British Columbia; Life Cycle Assessment of the University of British Columbia Bioenergy Research and Demonstration Project (UBC BRDP). Hewage K.N., Sadiq R., Hossaini N. (2012) (PDF). Recuperado en Julio de 2016 de [www.naturallywood.com/sites/default/files/Life-Cycle-Assessment\\_0.pdf](http://www.naturallywood.com/sites/default/files/Life-Cycle-Assessment_0.pdf).

FERNANDEZ, Alfonso; SARMIENTO, Alfonso; El pino radiata (*Pinus radiata*), manual de gestión forestal sostenible. Junta de Castilla y León (PDF). Recuperado en Julio de 2016: [www.medioambiente.jcyl.es/web/jcyl/MedioAmbiente/es/Plantilla100/1171897516129/\\_/\\_/\\_](http://www.medioambiente.jcyl.es/web/jcyl/MedioAmbiente/es/Plantilla100/1171897516129/_/_/_)

MOHAMMAD, M.; Introduction to cross laminated timber, Wood Design Focus V. 22, N. 2 (PDF). Recuperado en Julio 2016, de [www.forestprod.org/buy\\_publications/resources/untitled/summer2012/Volume%2022,%20Issue%202%20Mohammad.pdf](http://www.forestprod.org/buy_publications/resources/untitled/summer2012/Volume%2022,%20Issue%202%20Mohammad.pdf), Julio 2016

ECOHABITAR. Impacto de los materiales de construcción, análisis de ciclo de vida (sitio web). Enero 2014. (Consulta 9 de Febrero de 2015). (Sitio web) Recuperado en Julio de 2016, de [www.ecohabitar.org/impacto-de-los-materiales-de-construccion-analisis-de-ciclode-vida/](http://www.ecohabitar.org/impacto-de-los-materiales-de-construccion-analisis-de-ciclode-vida/)

### 6.3. Documentación técnica

AITIM; Tableros contralaminados estructurales; Publicación de AITIM Asociación de Investigación Técnica De Las Industrias De La Madera; España, 2011. (PDF) Recuperado en Julio 2016, de [infomadera.net/uploads/productos/informacion\\_general\\_394\\_Tableros%20Contralaminados\\_18.07.2011.pdf](http://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_394_Tableros%20Contralaminados_18.07.2011.pdf)

AITIM; Productos de madera para la arquitectura; Publicación de AITIM. (PDF) Recuperado en Julio 2016, [www.cscae.com/area\\_tecnica/aitim/actividades/act\\_paginas/libro/productos\\_de\\_madera\\_para\\_la\\_arquitectura.pdf](http://www.cscae.com/area_tecnica/aitim/actividades/act_paginas/libro/productos_de_madera_para_la_arquitectura.pdf)

KLH Massivholz GmbH; Madera contralaminada; Publicaciones de KLH; Austria, 2013. Recuperado en Julio 2016, de [www.klh.at/es/product/klh/](http://www.klh.at/es/product/klh/)

Binderholz Bausysteme GmbH; Publicaciones de Binderholz CLT BBS, Austria, 2015. Recuperado en Julio 2016, de <http://www.binderholz.com/es/>

EGOIN; Características y oportunidades que ofrece el tablero contralaminado en la construcción. Impresiones de un arquitecto; España. (PDF) Recuperado en Julio 2016 de <http://aspiazu.com/es/>

EGOIN; Madera contralaminada; Publicaciones de KLH; España. Recuperado en Julio 2016, de <http://www.panelesclt.com/certificaciones-clt.html>

FPINNOVATIONS. Cross Laminated Timber: a Primer. Pablo Crespell & Sylvain Gagnon. Publicación núm. 52. Canadá: FPInnovations, 2010. (PDF) Recuperado en Julio 2016, [fpinnovations.ca/media/factsheets/Documents/cross-laminated-timber-the-book.pdf](http://fpinnovations.ca/media/factsheets/Documents/cross-laminated-timber-the-book.pdf).

FPINNOVATIONS. Cross Laminated Timber Handbook. FPInnovations y Binational Softwood Lumber Council. Pointe-Claire (Canadá), 2013. (PDF) Recuperado en Julio 2016, [www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web\\_informational/dpds021\\_903.pdf](http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web_informational/dpds021_903.pdf).

### 6.4. Bases de cálculo y programas

Instituto De Tecnología De La Construcción (ITeC). Banco BEDEC PR/PTC (Base de datos). Barcelona: (ITeC), 2006 (Consulta Agosto de 2016). Disponible en <http://itec.es/nouBedec.e/>.

Revit 2017 (programa de ordenador). Autodesk S.O.

AUTODESK 2014 (programa de ordenador). Autodesk S.O.

## 7. ANEXO datos para el calculo

### 7.1. Perfil ambiental EGO-CLT

A continuación se muestran el impacto ambiental y el consume de recursos renovables de 1 m<sup>3</sup> de EGO\_CLT según lo establecido en el PCR de referencia PCR 2012:01 "Product category rules (PCR) for preparing an environmental product declaration (EPD) for Construction Products and construction services":

Se ha optado por una unidad que permita conocer el impacto ambiental del producto mencionado y que coincida con lo marcado por el correspondiente PCR para un ACV del tipo "cradle to gate". De acuerdo con las directrices marcadas por dicho PCR, la unidad declarada será el m<sup>3</sup> de EGO\_CLT de pino radiata. Por lo tanto los cálculos se harán respecto a 1 m<sup>3</sup> de EGO\_CLT de pino radiata, como producto final, habiendo hecho un "panel tipo", un panel promedio, en cuanto a grosor de tabla y número de láminas, teniendo en cuenta los datos de 2012.<sup>31</sup>

Categoría de Impacto	UPSTREAM	CORE			TOTAL [A1-A2-A3]
	Obtención de materias primas y generación de electricidad [A1]	Transporte [A2]	Fabricación de EGO_CLT [A3]	Total Core [A2-A3]	
Calentamiento global (kg CO2 eq.)	1,49E+02	3,15E+01	3,86E-02	3,16E+01	1,81E+02
Acidificación (kg SO2 eq.)	9,41E-01	1,94E-01	1,65E-04	1,94E-01	1,14E+00
Eutrofización (kg PO4 eq.)	3,35E-01	4,89E-02	7,63E-05	4,90E-02	3,84E-01
Oxidación fotoquímica (kg C2H2eq)	8,27E-01	8,67E-02	1,42E-04	8,68E-02	9,14E-01
Destrucción capa ozono (kg CFC-11 eq.)	1,09E-05	3,71E-06	1,29E-09	3,71E-06	1,47E-05
Agotamiento de recursos abióticos (kg antimonio equiv.)	1,08E+00	2,12E-01	3,03E-04	2,12E-01	1,29E+00
Agotamiento de recursos abióticos (fossil) (MJ)	2,23E+03	4,41E+02	6,28E-01	4,42E+02	2,67E+03

Tabla 4. Perfil ambiental del panel de madera contralaminada  
Fuente: EGOIN

<sup>31</sup> Declaración Ambiental de Producto: EGO\_CLT de pino radiata, EGOIN 2012. Encontrado en: [http://www.clusterhabic.com/wood/docs/MEDIO%20AMBIENTE\\_EGO\\_CLT%20EPD.pdf](http://www.clusterhabic.com/wood/docs/MEDIO%20AMBIENTE_EGO_CLT%20EPD.pdf), Julio 2016

