8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

2022 Lleida 27 · 1 junio · juny julio · juliol Cataluña Catalunya

La **Ciencia forestal** y su contribución a los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE - 787

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
**Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022**
**ISBN 978-84-941695-6-4**
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza

Sociedad Española de Ciencias Forestales SECF

# Desarrollo de soluciones constructivas para edificación vinculadas con productos de madera. Cumplimiento de los requisitos reglamentarios bajo criterios de sostenibilidad

MONTILLA MORENO, S.[3], CONDE GARCÍA, M.[1], ABAD GARRIDO, B.[1], GARNICA MUÑOZ, T.[1], CONDE GARCÍA, M.[2], FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO, J.I.[2], OTERO SESEÑA, S.[3], TENORIO RÍOS, J.A.[3]

[1] Grupo de Investigación ERSAF. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes. Universidad de Córdoba, Córdoba, España.
[2] Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria de España, INIA.
[3] Grupo de Investigación Construcción Avanzada y Sostenible. Dep. Construcción. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSIC, Madrid, España.

## Resumen

La utilización de la madera como material de construcción se presenta como una oportunidad para hacer más sostenible la edificación. En la actualidad, en España la madera es muy poco utilizada tanto como componente de las soluciones constructivas como en elementos estructurales.
Mediante el Grupo Operativo Madera Construcción Sostenible se ha propuesto una serie de soluciones constructivas con elementos de madera. En total se han desarrollado 6 cubiertas, 10 fachadas, 4 forjados y 4 particiones y se han verificado sus prestaciones frente a las exigencias reglamentarias del Código Técnico de la Edificación. Por otra parte, se han caracterizado los productos de madera conforme a las condiciones de uso y servicio del material y se han vinculado con las soluciones constructivas a través de una clasificación taxonómica; también se han desarrollado modelos BIM para las soluciones propuestas. Este trabajo incluye el desarrollo de Declaraciones Ambientales de Producto genéricas de las principales familias de productos de madera obtenidas aplicando la metodología del Análisis del Ciclo de Vida.
La presente comunicación expone la metodología y los resultados obtenidos en este proyecto que actualiza e incrementa las soluciones propuestas por el Catálogo de Elementos Constructivos del Ministerio de Vivienda de 2010.

## Palabras clave

Elemento constructivo, construcción con madera, Declaraciones Ambientales de Producto, prestaciones.

## 1. Introducción

En la actualidad se está ganando conciencia sobre cómo el ritmo de crecimiento de la población junto con el nivel de vida conlleva problemas ambientales severos. Según datos del Fondo de Población de las Naciones Unidas (FPNU, 2019), se prevé que el crecimiento de la población mundial alcance los 8.500 millones de personas en 2030 y los 9.700 millones en 2050. Este crecimiento conlleva un crecimiento paralelo en el sector de la construcción. Según el World Green Building Council, en los próximos 40 años se construirán más de 230.000 millones de metros cuadrados de edificios nuevos en todo el mundo (UN, Global Status Report 2017). El sector de la construcción, considerando los edificios, la construcción y la fabricación de materiales y productos de construcción, emite el 39% de las emisiones de efecto invernadero a la atmósfera en todo el mundo (UN, Global Status Report 2017). Esto no es sorprendente si se tiene en cuenta que el uso de materiales de construcción convencionales suele estar asociado a un proceso de producción complejo, con un elevado consumo de energía y el uso de recursos fósiles y minerales no renovables (Cabeza et al., 2013).

En este contexto entra en juego la denominada “construcción verde”, como una oportunidad de cambio en la aportación del sector de la construcción al cambio climático. Un edificio “verde” es un

edificio en cuyo diseño, construcción y operación, reduce o elimina los impactos negativos, pudiendo crear incluso impactos positivos, en nuestro clima y medio ambiente natural. La construcción verde se implica en preservar recursos naturales y mejorar la calidad de vida (World Green Builging Council, 2022).

El sector forestal actual juega un papel clave en el desarrollo de la llamada construcción verde, en cuanto es un gran proveedor de materiales naturales. Corcho, resina, residuos de poda, hongos, etc, podemos enumerar una amplia variedad de recursos forestales que pueden ser utilizados en el sector de la construcción, pero sin lugar a duda la madera es el más destacable, no solo por la larga tradición en su uso, sino también por su presente y prometedor futuro. Su bajo coste de obtención, ciclo de vida y reciclabilidad y su colaboración como sumidero de CO2 (AITIM, 2010). En su formación, el árbol capta 1 tonelada de CO2 y desprende 0,7 toneladas de O2 aproximadamente para producir 1 m3 de madera (AITIM, 2010). Estos aspectos la convierten en el material renovable de mayor relevancia (Bowyer, 1995).

Su uso en los últimos años ha ido en aumento, llevando de la mano una creciente innovación en la industria y productos madereros. La industria de la madera se encuentra en constante innovación para hacer frente a las necesidades medioambientales actuales. Productos con retardantes para fuego, adhesivos de mayor durabilidad y menor impacto medioambiental, aumentar la reciclabilidad de productos, etc. (Clark et al., 2012). Pero el sector de la construcción debe ejercer una demanda de estos productos acordes a la oferta. Para ello es fundamental acabar con el desconocimiento que en los últimos años fue surgiendo en torno a este material. Ante este sector involucrado por la innovación de sus productos, se debe posicionar un sector de la construcción que esté en el mismo punto. Estos productos deben tener una aplicabilidad directa en la construcción, siendo fundamental que se amplíen los conocimientos sobre la construcción con madera. Un claro ejemplo de poca aplicabilidad de productos de madera se da en nuestro país. A pesar de que existen numerosas construcciones tradicionales con madera, el Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación (CTE) no incluye apenas soluciones constructivas comprobadas para ser utilizadas por los constructores.

A esto además se debe añadir la falta de comunicación entre el sector de la madera y el de la construcción y el desconocimiento del material, contribuyendo a la dificultad de prescripción de los productos ante el temor de no conocer cómo se utilizan y qué características deben tener para cumplir las prestaciones necesarias.

Ante este panorama, surge el Proyecto Grupo Operativo Madera Construcción Sostenible "Herramienta inteligente para la selección de productos" con el objetivo de posicionar en el mercado los productos de madera para la construcción por sus valores técnicos y ambientales. Este Grupo Operativo, coordinado por la Universidad de Córdoba, España lo formaron además: la Asociación para la Certificación Española Forestal PEFC (representante legal), INIA. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria; IETCC. CSIC. Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja de la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas; CUPA Innovación S.L.U.; THERMOCHIP S.L.; BJD S.L.; BALIDEA S.L.; y AENOR Internacional S.A.U. Como miembros colaboradores participan MADERIA. Sociedad Española de la Madera; COSE. Confederación de organizaciones de selvicultores de España; y MADERAS ABAD S.L. El proyecto ha sido financiado por el Programa Nacional de Desarrollo Rural 2014-2020, a través del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural FEADER y el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Inversión total: 495066,72€. Cofinanciación UE 80%.

## 2. Objetivos

El objetivo principal es facilitar el acceso a la información sobre madera en la construcción, promoviendo su uso como material constructivo en el sector nacional por sus valores técnicos y ambientales.

A partir de este de desarrollan los siguientes objetivos específicos:

- Aportar nuevas soluciones constructivas que incluyan productos de madera, ampliando así el conjunto de soluciones constructivas incluidas en el Catálogo de Elementos Constructivos asociado al Código Técnico de la Edificación.
- Caracterización detallada de las soluciones constructivas propuestas mediante datos técnicos fiables, a la vez que se definen y analizan sus prestaciones básicas en lo referente a acústica, salubridad, prestaciones energéticas y comportamiento ante el fuego.
- Realizar una revisión sobre información técnica y datos técnicos fiables de familias de productos de madera. Justificar la excelencia de la madera como material de construcción en cuanto a prestaciones constructivas exigidas en el contexto actual.
- Posicionar el uso de la madera en la construcción por sus excelentes valores medioambientales que contribuyen a la sostenibilidad en el sector.

## 3. Metodología

### 3.1. Soluciones constructivas en base madera

#### 3.1.1. Propuesta de nuevas soluciones constructivas. Creación de sistema jerarquizado de clasificación.

Se analizan las soluciones constructivas descritas en el catálogo de elementos constructivos del Código Técnico de la Edificación (CTE) y se seleccionan aquellas que tienen elementos de madera. Únicamente se encuentra una solución de tipo cubierta, otra de fachada y otra de partición en las que la madera es el material estructural principal. Se ha detectado la aparición de otros elementos de madera en algunas soluciones constructivas, cómo pueden ser montantes de madera o tableros estructurales, pero no aportando un gran peso en la solución constructiva. En la Figura 1 se muestra una de las variantes de la solución constructiva de cubierta en base a madera tal y cómo aparece en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

*Figura 1. Detalle constructivo entramado ligero de madera del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE (Fuente: Catálogo de Elementos Constructivos del CTE).*

#### 3.1.2. Creación sistema jerarquizado de clasificación

Para desarrollar un conjunto de soluciones constructivas que abarque un amplio elenco de posibilidades, se estudian posibles variantes dentro de 4 grandes grupos constructivos: cubiertas, fachadas, forjados o particiones horizontales y particiones verticales.

Para los cuatro grandes grupos se establece un sistema jerarquizado de clasificación, que permite recoger las soluciones constructivas, a la vez que definirlas. Por ejemplo, en el caso de cubiertas, se ha utilizado como base parte de la clasificación utilizada en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE. De este modo las cubiertas se dividen inicialmente en dos grandes grupos, pudiendo ser planas o inclinadas. Se sigue en función de si: son transitables o no transitables, ventiladas o no ventiladas, con solado fijo o solado flotante y convencionales o invertidas. Además, se pueden encontrar variantes concretas dentro de algunos grupos, como es el caso de las cubiertas planas no transitables, que pueden ser clasificadas en función del tipo de protección que se utilice

(autoprotegidas, grava, ajardinadas, etc.). Para finalizar, a partir del último eslabón de la clasificación, se obtienen dos o tres soluciones constructivas diferentes en función del soporte resistente utilizado en cada una de ellas. Los soportes resistentes utilizados han sido simplificados en: entramado ligero de vigas de madera, estructura masiva de CLT y en algunos casos se añade la posibilidad de utilizar un sistema mixto que combina entramado de madera y hormigón ligero como soporte estructural. También cabe destacar que, para cada tipo de solución constructiva, podrían darse dos alternativas diferentes según se añadiese o no un trasdosado interno al conjunto.
El sistema jerárquico propuesto permite recoger, a la vez que caracterizar, todas las posibles soluciones constructivas dentro de un sistema ordenado. La organización lógica y descriptiva de este permite a su vez añadir futuras incorporaciones en el supuesto de que fuese necesario durante el desarrollo del proyecto. Cada solución constructiva incluida dentro del sistema de jerarquía posee además una clave identificativa, formada por un conjunto de siglas representativas de cada uno de los niveles de clasificación dentro de los que se encuadra cada solución. De esta forma, sólo con conocer la clave o código identificativo de la solución se podrá saber con precisión con qué tipo de solución se trabaja. Ejemplo:

CÓDIGO: C P T - NV SF C - CLT

Cubierta Plana Transitable - No Ventilada Solado Fijo Convencional - CLT

3.1.2. Caracterización de prestaciones de las soluciones constructivas propuestas.

**Materiales:** La metodología a seguir para el cálculo de las prestaciones exigidas en el CTE comienza por definir qué tipo de material o producto compone cada elemento de la solución constructiva propuesta. De esta manera se elabora un listado de materiales empleados y se recopila información técnica. Esta información es necesaria para el cálculo de las prestaciones:

- Espesor, e, en milímetros;
- Densidad, ρ, en kg/m3;
- Conductividad térmica, λ, en W/m.K;
- Calor específico, Cp, en J/kg K;
- Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua seco, μ, adimensional.

**Ahorro de energía**: Se definen las soluciones en función de su masa, calor específico, espesor, conductividad térmica y resistencia al vapor de agua para poder verificar las exigencias en cuanto a ahorro energético.
Para el cálculo de las prestaciones térmicas de las soluciones constructivas, se ha utilizado la metodología detallada en el documento DA DB-HE/1 del CTE "Cálculo de parámetros característicos de la envolvente ". Este documento describe varios métodos simplificados que se pueden emplear para el cálculo de los parámetros característicos de los diferentes elementos que componen la envolvente térmica del edificio.
El cálculo se centra en la transmitancia térmica 'U' de cada solución constructiva, calculada a partir de las resistencias térmicas de cada uno de los elementos o capas que componen la solución constructiva.

**Salubridad:** Los cálculos para las prestaciones de salubridad se llevan a cabo según lo establecido en el Código Técnico de la Edificación. Esta sección se aplica a los muros y los suelos que están en contacto con el terreno y a los cerramientos que están en contacto con el aire exterior (fachadas y cubiertas) de todos los edificios incluidos en el ámbito de aplicación general del CTE.
En el caso de construcción con madera, el cálculo de esta prestación se vuelve aún más fundamental debido a la alta afección que la humedad puede ocasionarle.
Los cálculos se basan en el documento DB HS.1 del CTE, aportando valor numérico únicamente en el caso de fachadas y consideraciones a tener en cuenta en el caso de cubiertas.

**Fuego:** La resistencia al fuego debe adecuarse a lo establecido en el Documento Básico del CTE. Este Documento Básico (DB) tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de seguridad en caso de incendio. Las secciones de este DB se corresponden con las exigencias básicas SI 1 a SI 6. La correcta aplicación del conjunto del DB supone que se satisface el requisito básico "Seguridad en caso de incendio".
Para comprobar el comportamiento frente al fuego de las soluciones constructivas propuestas se ha utilizado el anexo E del "Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera" correspondiente a la Norma UNE- EN 1995-1-2, versión oficial en español de las Normas EuropeasEN 1995-1-2:2004 y EN 1995-1-2:2004/AC:2009.
El Anexo E recoge el análisis de la función de sectorización de los sistemas de muros y forjados, y se ha utilizado para obtener los valores de EI de cada solución constructiva. No se han calculado valores de R, ya que las soluciones constructivas son genéricas y no se han dimensionado cargas.

**Protección frente al ruido:** el CTE establece unos umbrales de protección frente al ruido exterior para fachadas y cubiertas e interior para separaciones entre distintos usuarios de viviendas. El cálculo detallado de los valores necesarios se encuentra recogido en el DB HB CTE. Los índices calculados son los siguientes:

- el índice global de reducción acústica ponderado A, RA, en dBA;
- el índice de global de reducción acústica, ponderado A, para ruido de automóviles, de fachadas y cubiertas RA,tr, en dBA;

Estos valores de aislamiento acústico de las soluciones constructivas se han estimado usando modelos teóricos para particiones simples, dobles y triples. Se ha usado el programa INSUL (Figura 2), que permite predecir los siguientes índices de aislamiento acústico:

- Índice de reducción sonora, R
- Nivel de presión de ruido de impactos, Ln

Ambos índices se han calculado para las frecuencias de 100 a 5000 Hz. A partir de esta información se obtiene la vertida en el catálogo, que corresponde a los índices globales (RA, RA,tr y Ln,w).

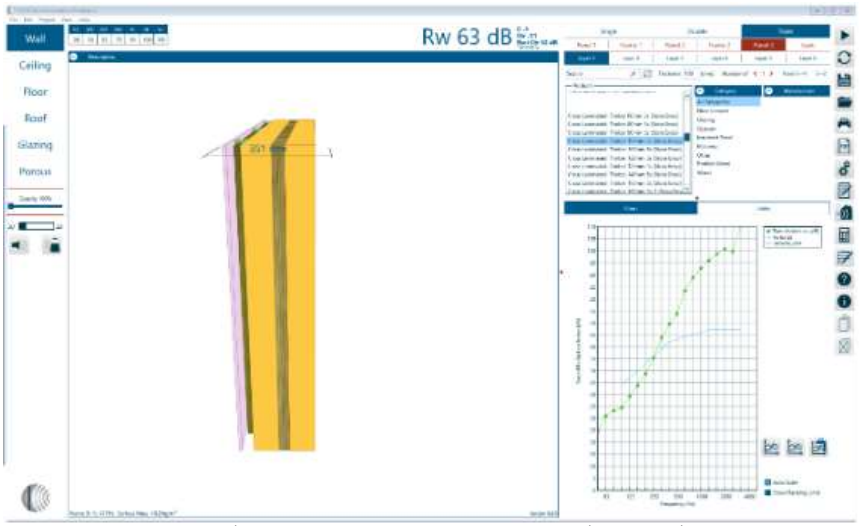



*Figura 2. Visualización de la interfaz del programa de cálculo acústico INSUL utilizado.*

3.1.3. Elaboración de fichas tipo y modelos BIM.

Se elaboran fichas de soluciones constructivas en las que se recopila toda la información técnica desarrollada. Cada ficha incluye:

- Esquema gráfico en 2D de la solución constructiva en la que se diferencian cada uno de los elementos que la componen.

- Materiales y productos que componen cada elemento de la solución constructiva. Se adjunta una tabla resumen con todas las características técnicas.
- Cálculo de las prestaciones de la solución constructiva en su conjunto. Se incluyen cálculos con distintas variantes en función de la utilización de unos productos u otros.

La finalidad de las fichas es la de recoger y mostrar todos los resultados obtenidos de modo que puedan ser visualizados con la mayor sencillez y agilidad.

Se lleva a cabo también el desarrollo de modelos BIM de las soluciones constructivas. Para ello se agregan "objetos" previamente creados. Se pone especial atención a la calidad de los objetos creados, ya que ello repercute directamente sobre la calidad final del modelo. Al unir los objetos se genera un modelo de edificio o de una infraestructura, constituyendo una base de datos gráficos y no gráficos aportados por cada objeto al conjunto.

Se ha llevado a cabo un estado del arte, mediante el cual se han establecido las bases. También se realiza un análisis de prestaciones requeridas con la finalidad de que los objetos cumplan los estándares de calidad. Se establece una conexión con objetos de fabricante y genéricos, y se asegura que la colaboración e interoperabilidad con las distintas plataformas BIM se cumpla. Se siguen de forma rigurosa las normas OPENBIM europeas.

### 3.2. Productos de madera

En el listado de productos elaborado para caracterizar los elementos de las soluciones constructivas diseñas se recogen, como es de esperar, numerosos productos derivados de la madera. Para la recopilación de estos productos de madera se ha llevado a cabo un análisis de las distintas familias de productos de madera que tienen uso en construcción. Los productos seleccionados proceden de la industria maderera nacional. Las familias de productos se han establecido según clase técnica, clases resistentes, dimensiones de los productos y especies de madera.

Se elabora un sistema taxonómico de clasificación y fichas tipo para cada familia de productos, en las que se recogen datos técnicos necesarios para su uso en construcción.

### 3.3. Vinculación entre productos y soluciones constructivas

La vinculación entre productos y soluciones constructivas define qué producto o productos de madera pueden ser utilizados cómo elementos de las soluciones constructivas diseñadas. Para ciertos elementos de las soluciones constructivas diseñadas puede haber uno o varios productos de madera que puedan ser utilizados. La vinculación se lleva a cabo mediante un sistema de códigos el código se establece a nivel de solución y los productos se vinculan a las soluciones adoptando dicho código. El sistema de codificación es escalable.

### 3.4. Valores ambientales

Debido a la baja implantación en España de las Declaraciones Ambientales de Producto en el sector de la construcción, en el proyecto del Grupo Operativo se lleva a cabo un estudio ambiental de las familias de productos de madera más importantes. Se analizan los procesos que intervienen en la fabricación, desde un punto de vista genérico.

La metodología utilizada es Análisis de Ciclo de Vida, permite evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad identificando y cuantificando los usos y liberaciones de energía y materiales y su liberación al medio ambiente (Chau et al., 2015).

En el presente proyecto se evalúan los productos de madera seleccionados, procedentes de la industria de primera transformación española. Se recogen datos de inventario genéricos de los procesos de fabricación y con ellos se aplica la metodología ACV. Se lleva a cabo una evaluación en profundidad del consumo de recursos, materias primas y energía para cada producto de madera.

Por último, se elaboran DAPs genéricas por familias de productos. Se lleva a cabo un análisis en el que se tienen en cuenta las siguientes etapas:

- Etapa de producto: obtención de materias primas y fabricación (A1, A2 y A3).
- Etapa de construcción: transporte del producto y proceso de instalación y construcción (A4 y A5).

- Etapa de uso del producto: uso y mantenimiento (B1 y B2).
- Etapa de fin de vida: construcción y derribo, transporte, gestión de residuos y eliminación final (C1, C2, C3 y C4).
- Módulo D: beneficios y cargas ambientales potenciales más allá del sistema, derivadas de las actividades de reutilización, recuperación y reciclaje.

Además, se ha llevado a cabo el cálculo del carbono biogénico asociado a cada producto.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1 Soluciones constructivas en base a madera

Del trabajo llevado a cabo se obtienen un total de 40 soluciones de tipo cubierta, 11 de fachada, 8 particiones y 24 forjados. El número total de soluciones constructivas podría duplicarse si se considera la posibilidad de añadir un trasdosado adicional a la solución ya descrita. Estas soluciones se han diseñado y descrito y son susceptibles de industrialización.

*Tabla 1. Relación de la totalidad de soluciones constructivas de tipo cubierta propuestas, sistema de jerarquía y claves identificativas.*

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CUBIERTA | PLANA | TRANSITABLE | NO VENTILADA | SOLADO FIJO | Convencional | CPT NVSFC-CLT |
| | | | | | | CPT NVSFC-ENT |
| | | | | | | CPT NVSFC-MX |
| | | | | | Invertida | CPT NVSFI-CLT |
| | | | | | | CPT NVSFI-ENT |
| | | | | | | CPT NVSFI-MX |
| | | | | SOLADO FLOTANTE | Invertida | CPT NVSFL-CLT |
| | | | | | | CPT NVSFL-ENT |
| | | | | | | CPT NVSFL-MX |
| | | | VENTILADA | SOLADO FLOTANTE | Convencional | CPT VSFLC-CLT |
| | | | | | | CPT VSFLC-ENT |
| | | | | | | CPT VSFLC-MX |
| | | | | | Invertida | CPT VSFLI-CLT |
| | | | | | | CPT VSFLI-ENT |
| | | | | | | CPT VSFLI-MX |
| | | NO TRANSITABLE | NO VENTILADA | GRAVA | Convencional | CPNT NVGC-CLT |
| | | | | | | CPNT NVGC-ENT |
| | | | | | | CPNT NVGC-MX |
| | | | | | Invertida | CPNT NVGI-CLT |
| | | | | | | CPNT NVGI-ENT |
| | | | | | | CPNT NVGI-MX |
| | | | | AUTO PROTEGIDA | Convencional | CPNT NVAC-CLT |
| | | | | | | CPNT NVAC-ENT |
| | | | | | | CPNT NVAC-MX |
| | | | | AJARDINADA | Convencional | CPNT NVAJC-CLT |
| | | | | | | CPNT NVAJC-ENT |
| | | | | | | CPNT NVAJC-MX |
| | | | | | Invertida | CPNT NVAJI-CLT |
| | | | | | | CPNT NVAJI-ENT |
| | | | | | | CPNT NVAJI-MX |
| | | | VENTILADA | | | |
| | INCLINADA | NO TRANSITABLE | NO VENTILADA | CAPA PROTECCIÓN | Convencional | CI NVCPC-CLT |
| | | | | | | CI NVCPC-ENT |
| | | | | | Invertida | CI NVCPI-CLT |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | CI NVCPI-ENT |
| | | | | AUTO PROTEGIDA | Convencional | CI NVAC-CLT |
| | | | | | | CI NVAC-ENT |
| | | | | LIGERA | Ligera | CI NV-L |
| | | | | | Protegida | CI NV-P |
| | | | | | Impermeable | CI NV-IP |
| | | | | | Insonorizada | CI NV-IS |
| | | | VENTILADA | | | |

*Fuente: Grupo Operativo Construcción Madera Sostenible*

*Tabla 2. Relación de la totalidad de soluciones constructivas de tipo fachada propuestas, sistema de jerarquía y claves identificativas.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| FACHADA | PESADA | ENTRAMADO | SATE | FAP ENT-SATE |
| | | | CÁMARA VENTILADA | FAP ENT-CV |
| | | CLT | SATE | FAP CLT-SATE |
| | | | CÁMARA VENTILADA | FAP CLT-CV |
| | LIGERA | ENTRAMADO | SATE | FAL ENT-SATE |
| | | | CÁMARA VENTILADA | FAL ENT-CV |
| | | PANELES | SIMPLE | FAL P |
| | | | PROTEGIDA | FAL P-P |
| | | | IMPERMEABILIZADA | FAL P-IP |
| | | | INSONORIZADA | FAL P-IS |
| | MIXTA | | SATE | FAX-SATE |
| | | | CÁMARA VENTILADA | FAX-CV |

*Fuente: Grupo Operativo Construcción Madera Sostenible*

*Tabla 3. Relación de la totalidad de soluciones constructivas de tipo forjado propuestas, sistema de jerarquía y claves identificativas.*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| FORJADO | ENTRAMADO | ESTRUCTURA VISTA | | FO ENT-EV |
| | | FALSO TECHO | | FO ENT-FT |
| | CLT | SIMPLE | Trasdosado | FO CLT-T |
| | | | No trasdosado | FO CLT-NT |
| | | DOBLE | Trasdosado | FO 2CLT-T |
| | | | No trasdosado | FO 2CLT-NT |
| | MIXTO | ESTRUCTURA VISTA | | FO MX-EV |
| | | FALSO TECHO | | FO MX-FT |

*Fuente: Grupo Operativo Construcción Madera Sostenible*

*Tabla 4. Relación de soluciones constructivas de partición propuestas, sistema de jerarquía y claves identificativas.*

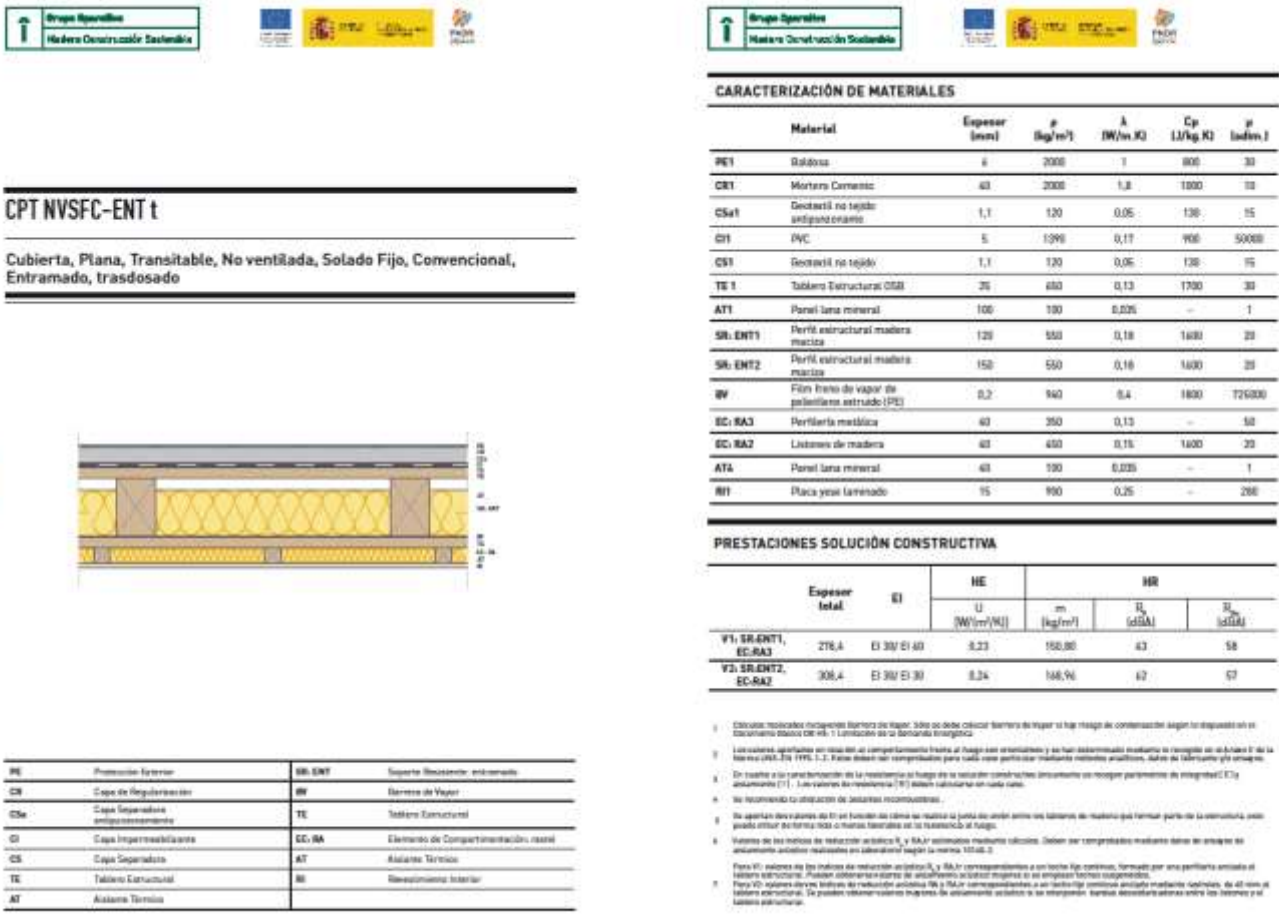
| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ES VERTICAL | TABIQUERÍA | CLT | | Acabado simple | No trasdosado | PTAB CLT |
| | | | | | Trasdosado | PTAB CLT t |
| | | | | | Doble trasdosado | PTAB CLT 2t |
| | | | | Acabado | No trasdosado | PTAB CLT- 2Ac |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | doble | Trasdosado | PTAB CLT- 2Ac t |
| | | | | | Doble trasdosado | PTAB CLT- 2Ac 2t |
| | | ENTRAMADO | | Acabado simple | | PTAB ENT |
| | | | | Acabado doble | | PTAB ENT- 2Ac |
| | | | | Acabado triple | | PTAB ENT- 3Ac |
| | SEPARACIONES ENTRE USUARIOS (SEU) | CLT | CLT SIMPLE | AT+AA | | PSEU CLT- AT+AA |
| | | | CLT DOBLE | Acabado simple | No trasdosado | PSEU 2CLT |
| | | | | | Trasdosado | PSEU 2CLT t |
| | | | | | Doble trasdosado | PSEU 2CLT 2t |
| | | | | | AT+CA | PSEU 2CLT- AT+CA |
| | | | | Acabado doble | No trasdosado | PSEU 2CLT- 2Ac |
| | | | | | Trasdosado | PSEU 2CLT- 2Ac t |
| | | | | | Doble trasdosado | PSEU 2CLT- 2Ac 2t |
| | | ENTRAMADO | SIMPLE | 2AT | Acabado simple | PSEU ENT- 2AT |
| | | | | | Acabado doble | PSEU ENT- 2AT 2Ac |
| | | | DOBLE | CA | CON ARRIOST. | PSEU 2ENT- CA A |
| | | | | | SIN ARRIOST. | PSEU 2ENT- CA SA |
| | | | | AT | Acabado simple | PSEU 2ENT- AT |
| | | | | | Acabado doble | PSEU 2ENT- AT 2Ac |
| | | | | | Acabado triple | PSEU 2ENT- AT 3Ac |

*Fuente: Grupo Operativo Construcción Madera Sostenible*

La variedad de soluciones constructivas diseñadas es extensa y por ello no todas se han podido evaluar con detalle. Se realizan fichas técnicas completas de 3 soluciones nuevas de cubierta, 5 fachadas, 3 particiones y 2 forjados tipo. De cada una de las soluciones constructivas evaluadas, se estudia la posibilidad de incluir trasdosado, por lo que algunas de ellas se duplican, desarrollando por lo tanto 6 fichas de soluciones constructivas de tipo cubierta, 10 de fachadas, 4 particiones y 3 forjados tipo. Suman un total de 23 fichas de soluciones constructivas realizadas. En la figura 4 se observa un ejemplo de ficha de solución constructiva a modo de ejemplo. Todas las fichas presentan la misma estructura de la información: en primer lugar, el código y nombre de la solución constructiva en detalle, un esquema en 2D con leyenda de elementos que lo componen, tabla con caracterización

de materiales empleados, resumen de las prestaciones calculadas y en último lugar notas aclaratorias de importancia.



CPT NVSFC-ENT t

Cubierta, Plana, Transitable, No ventilada, Solado Fijo, Convencional, Entramado, trasdosado

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

| | Material | Espesor (mm) | ρ (kg/m³) | λ (W/m.K) | Cp (J/kg.K) | μ (adim.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PE1 | Baldosa | 6 | 2000 | 1 | 800 | 30 |
| CR1 | Mortero Cemento | 40 | 2000 | 1,8 | 1000 | 10 |
| CSa1 | Geotextil no tejido antipunzonante | 1,1 | 120 | 0,05 | 130 | 15 |
| CI1 | PVC | 5 | 1390 | 0,17 | 900 | 50000 |
| CS1 | Geotextil no tejido | 1,1 | 120 | 0,05 | 130 | 15 |
| TE 1 | Tablero Estructural OSB | 25 | 650 | 0,13 | 1700 | 30 |
| AT1 | Panel lana mineral | 100 | 100 | 0,035 | -- | 1 |
| SR: ENT1 | Perfil estructural madera maciza | 120 | 550 | 0,18 | 1600 | 20 |
| SR: ENT2 | Perfil estructural madera maciza | 150 | 550 | 0,18 | 1600 | 20 |
| BV | Film freno de vapor de polietileno estruido (PE) | 0,2 | 940 | 0,4 | 1800 | 726000 |
| EC: RA3 | Perfileria metálica | 40 | 350 | 0,13 | -- | 50 |
| EC: RA2 | Listones de madera | 40 | 450 | 0,15 | 1600 | 20 |
| AT4 | Panel lana mineral | 40 | 100 | 0,035 | -- | 1 |
| RI1 | Placa yeso laminado | 15 | 900 | 0,25 | -- | 200 |

PRESTACIONES SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA

| | Espesor total | EI | HE | HR | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | U [W/(m²/K)] | m [kg/m²] | $R_A$ (dBA) | $R_{A,tr}$ (dBA) |
| V1: SR:ENT1, EC:RA3 | 278,4 | EI 30/ EI 60 | 0,23 | 150,80 | 43 | 58 |
| V2: SR:ENT2, EC:RA2 | 308,4 | EI 30/ EI 30 | 0,24 | 148,96 | 42 | 57 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| PE | Protección Exterior | SR: ENT | Soporte Resistente entramado |
| CR | Capa de Regularización | BV | Barrera de Vapor |
| CSe | Capa Separadora antipunzonamiento | TE | Tablero Estructural |
| CI | Capa Impermeabilizante | EC: RA | Elemento de Compartimentación resist. |
| CS | Capa Separadora | AT | Aislante Térmico |
| TE | Tablero Estructural | RI | Revestimiento Interior |
| AT | Aislante Térmico | | |

*Figura 3. Ejemplo de ficha de solución constructiva (Grupo Operativo Madera Construcción Sostenible).*

4.2. Productos de madera

Las familias de productos de madera seleccionadas dentro de las cuales se encuentran los productos que se utilizarán como elementos de las soluciones constructivas diseñadas son:

- Madera aserrada estructural de sección rectangular (MAE)
- Madera laminada encolada (MLE)
- Tableros de madera maciza multicapa (SWP)
- Tableros contralaminados de madera maciza (CLT)
- Tableros contrachapados (TPLY)
- Productos microlaminados (LVL)
- Tablero OSB (OSB)
- Tablero de partículas (TPE)
- Tablero de fibras densidad media MDF
- Tableros sándwich

Un total de 133 productos de madera se han seleccionado como posibles elementos de las soluciones constructivas. Se recogen en la siguiente tabla:

*Tabla 5. Relación de productos de madera analizados de tipo perfil.*

| Producto | Propiedad | Familia | Dimensión | Clase | Especie | Clase técnica |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Perfil | Estructural | Madera aserrada estructural | Viga coníferas (MEG) | C22 | Pino laricio | 5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4) |
| | | | | | Pino silvestre | 5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4) |
| | | | | C20 | Pino radiata | 5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4) |
| | | | Viga frondosas (MEF-G) | D24 | Castaño | 4 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2) |
| | | | Tabla tablón coníferas | C30 | Pino laricio | 5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4) |
| | | | | C27 | Pino silvestre | 5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4) |
| | | | | C24 | Pino radiata | 5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4) |
| | | | | | Pino pinaster | 5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4) |
| | | | | C18 | Pino laricio | 5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4) |
| | | | | | Pino silvestre | 5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4) |
| | | | | | Pino radiata | 5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4) |
| | | | | | Pino pinaster | 5 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2, 4) |
| | | | Tabla tablón frondosas | D40 | Eucalipto | 4 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2) |
| | | | | D24 | Castaño | 4 clases de uso (1, 2, 3.1, 3.2) |
| | | Madera laminada encolada | Viga laminada coníferas | GL-24h | Pino silvestre | 4 clases de uso y servicio |
| | | | | | Abeto | 2 clases de uso y servicio |
| | | | | GL-28h | Pino silvestre | 4 clases de uso y servicio |
| | | | | | Abeto | 2 clases de uso y servicio |
| | | | Viga laminada frondosas | GL-30h | Castaño | 3 clases de uso y servicio |
| | | Perfil de madera microlaminada | | | | - |
| | | Perfil de chapas de madera | | | | - |
| | | Perfil de virutas | | | | - |
| | | Perfiles mixtos | | | | - |
| | No estructural | Madera aserrada (MAS) | | | | - |
| | | Madera termotratada | | | | - |
| | | Madera acetilada | | | | - |
| | | Perfil laminado | | | | - |

*Fuente: Grupo Operativo Madera Construcción Sostenible*

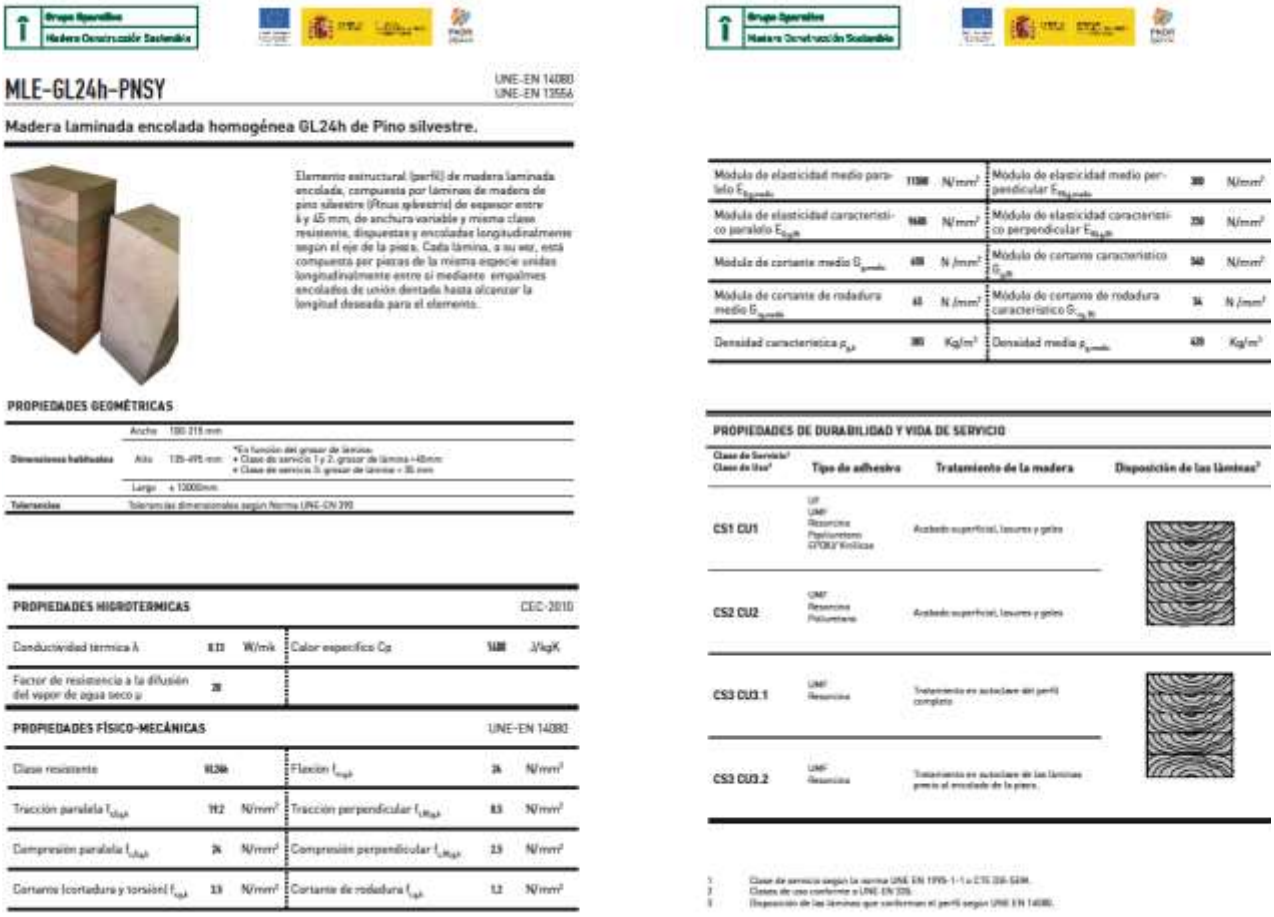
*Tabla 6. Relación de productos de madera analizados de tipo tablero.*

| Producto | Propiedad | Familia | Clase técnica | Espesores |
|---|---|---|---|---|
| **Tablero** | Estructural | Tablero de | SWP1-ML | 12 a 20, >20 a 30, |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | madera maciza multicapa | | >30 a 42, > 42 |
| | | | SWP2-ML | 12 a 20, >20 a 30, >30 a 42, > 42 |
| | | | SWP3-ML | 12 a 20, >20 a 30, >30 a 42, > 42 |
| | | Tablero de madera maciza monocapa | SWP1-SL | >20 a 30 |
| | | | SWP2-SL | >20 a 30 |
| | | | SWP3-SL | >20 a 30 |
| | | Tablero Contrachapado | Clase técnica 1 | 8 a 25 |
| | | | Clase técnica 2 | 8 a 25 |
| | | | Clase técnica 3 | 8 a 25 |
| | | Tablero OSB | OSB/2 | >6 a 10, >10 a 18, > 18 a 25 |
| | | | OSB/3 | >6 a 10, >10 a 18, > 18 a 25 |
| | | | OSB/4 | >6 a 10, >10 a 18, > 18 a 25 |
| | | Tablero de partículas | P4 | > 6 a 13, > 13 a 20, > 20 a 25, > 25 a 32, > 32 a 40, > 40 |
| | | | P5 | > 6 a 13, > 13 a 20, > 20 a 25, > 25 a 32, > 32 a 40, > 40 |
| | | | P6 | > 6 a 13, > 13 a 20, > 20 a 25, > 25 a 32, > 32 a 40, > 40 |
| | | | P7 | > 6 a 13, > 13 a 20, > 20 a 25, > 25 a 32, > 32 a 40, > 40 |
| | | Tablero mixto | | |
| | No estructural | Tableros alistonados | | |
| | | Tableros OSB | | |
| | | Tableros de partículas | | |
| | | Tableros de fibras | | |
| | | Tableros mixtos | | |
| | Aislante | Tableros de fibras | | |
| | | Tableros mixtos | | |

*Fuente: Grupo Operativo Madera Construcción Sostenible*

A partir del listado de productos de madera elaborado se obtiene un total de 28 fichas de producto, que recogen la totalidad de los 133 productos tipo definidos. En la figura 3, se muestra a modo de ejemplo una ficha elaborada para Madera laminada encolada homogénea de pino silvestre. En este caso no todas las fichas tienen exactamente la misma estructura en cuanto a la información mostrada, ya que las características entre familias de productos son muy diversas, pero siempre recogen información de gran utilidad sobre propiedades geométricas, físico mecánicas y de durabilidad y vida de servicio.



MLE-GL24h-PNSY

UNE-EN 14080
UNE-EN 1356A

Madera Laminada encolada homogénea GL24h de Pino silvestre.

Elemento estructural (perfil) de madera laminada encolada, compuesta por láminas de madera de pino silvestre (Pinus sylvestris) de espesor entre 6 y 45 mm, de anchura variable y misma clase resistente, dispuestas y encoladas longitudinalmente según el eje de la pieza. Cada lámina, a su vez, está compuesta por piezas de la misma especie unidas longitudinalmente entre sí mediante empalmes encolados de unión dentada hasta alcanzar la longitud deseada para el elemento.

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS

| | | | |
|---|---|---|---|
| Dimensiones habituales | Ancho | 100-215 mm | *En función del grosor de láminas<br>+ Clase de servicio 1 y 2: grosor de lámina +40mm<br>+ Clase de servicio 3: grosor de lámina + 35 mm |
| | Alto | 135-495 mm | |
| | Largo | ≤ 13000mm | |
| Tolerancias | Tolerancias dimensionales según Norma UNE-EN 390 | | |

PROPIEDADES HIGROTERMICAS — CEC-2010

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Conductividad térmica λ | 0,13 | W/mk | Calor específico Cp | 1600 | J/kgK |
| Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua seco μ | 20 | | | | |

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS — UNE-EN 14080

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Clase resistente | GL24h | | Flexión $f_{m,k}$ | 24 | N/mm² |
| Tracción paralela $f_{t,0,k}$ | 19,2 | N/mm² | Tracción perpendicular $f_{t,90,k}$ | 0,5 | N/mm² |
| Compresión paralela $f_{c,0,k}$ | 24 | N/mm² | Compresión perpendicular $f_{c,90,k}$ | 2,5 | N/mm² |
| Cortantes (cortadura y torsión) $f_{v,k}$ | 3,5 | N/mm² | Cortante de rodadura $f_{r,k}$ | 1,2 | N/mm² |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Módulo de elasticidad medio paralelo $E_{0,mean}$ | 11500 | N/mm² | Módulo de elasticidad medio perpendicular $E_{90,mean}$ | 300 | N/mm² |
| Módulo de elasticidad característico paralelo $E_{0,05}$ | 9600 | N/mm² | Módulo de elasticidad característico perpendicular $E_{90,05}$ | 250 | N/mm² |
| Módulo de cortante medio $G_{mean}$ | 650 | N/mm² | Módulo de cortante característico $G_{0,05}$ | 540 | N/mm² |
| Módulo de cortante de rodadura medio $G_{r,mean}$ | 65 | N/mm² | Módulo de cortante de rodadura característico $G_{r,05}$ | 54 | N/mm² |
| Densidad característica $\rho_{k}$ | 385 | Kg/m³ | Densidad media $\rho_{mean}$ | 420 | Kg/m³ |

PROPIEDADES DE DURABILIDAD Y VIDA DE SERVICIO

| Clase de Servicio[1] / Clase de Uso[2] | Tipo de adhesivo | Tratamiento de la madera | Disposición de las láminas[3] |
|---|---|---|---|
| CS1 CU1 | UF<br>UMF<br>Resorcina<br>Poliuretanos<br>EPDM/ Kinílicos | Acabado superficial, lasures y geles | |
| CS2 CU2 | UMF<br>Resorcina<br>Poliuretano | Acabado superficial, lasures y geles | |
| CS3 CU3.1 | UMF<br>Resorcina | Tratamiento en autoclave del perfil completo | |
| CS3 CU3.2 | UMF<br>Resorcina | Tratamiento en autoclave de las láminas previo al encolado de la pieza. | |

1 Clase de servicio según la norma UNE EN 1995-1-1 o CTE DB-SEM.
2 Clases de uso conforme a UNE EN 335.
3 Disposición de las láminas que conforman el perfil según UNE EN 14080.

*Figura 4. Ejemplo de ficha de producto de madera (Grupo Operativo Madera Construcción Sostenible).*

## 4.3. Vinculación

Para la vinculación de elementos de las soluciones constructivas con productos de madera se han establecido tipologías de elementos estructurales que se repiten. Estos deben encontrarse sometidos a las mismas condiciones de humedad y temperatura. A estas tipologías se les asocia un código que se vincula con productos tipo compatibles. La siguiente tabla muestra los códigos para cada elemento y el número de productos tipo vinculados a cada tipología.

*Tabla 7. Tabla resumen de vinculación de productos tipo de madera con elementos de las soluciones constructivas evaluadas.*

| Código | Elemento constructivo | Nº de productos tipo vinculados |
|---|---|---|
| SR: CLT | Soporte Resistente: madera contralaminada | - |
| SR: ENT | Soporte Resistente: entramado | 15 |
| EC: RA-Int | Elemento de compartimentación: rastrel (interior calefactado) | 1 |
| EC: RA-Ext | Elemento de compartimentación: rastrel (exterior) | 1 |
| TE-C | Tablero estructural: cara caliente (interior calefactado) | 21 |
| TE-F | Tablero estructural: cara fría (interior no calefactado) | 24 |
| RE-Ext | Revestimiento exterior: paneles de madera (exterior) | 10 |

| | | |
|---|---|---|
| EC: MO | Elemento de compartimentación: montante (interior calefactado) | 12 |
| PS | Panel sándwich (exterior) | 1 |
| RI | Revestimiento interior: suelo de madera (interior calefactado) | 1 |

*Fuente: Grupo Operativo Construcción Madera Sostenible*

4.4. Valores ambientales

Como resultado del bloque de valores ambientales se han obtenido varios documentos con contenidos y aplicaciones diversos: documentos de trabajo que recogen hipótesis y consideraciones importantes sobre el trabajo realizado, hojas de cálculo para obtener valores de indicadores y declaraciones ambientales de producto genéricas de las familias consideradas, como documento final que recoge los resultados del ACV.

Finalmente, se ha desarrollado una hoja de cálculo del carbono biogénico asociado a cada producto tipo en base a determinados parámetros relacionados con residuos y coproductos. En base a estos resultados, se han obtenidos los balances de $CO_2$-eq para los distintos procesos de fabricación considerados, que se han representado gráficamente para facilitar su interpretación y comparación.

| Categoría de impactos ambientales | | A1 | A2 | A3 | A1-A3 | A4 | A5 | B1-7 | C1 | C2 | C3 | C4 | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GWP | Calentamiento global [kg $CO_2$ eq] | 3,82E+01 | 1,06E+01 | 1,71E+02 | **1,61E+02** | 1,58E+01 | 1,54E+01 | 0 | 1,97E+01 | 9,18E+00 | 6,96E-01 | 8,30E-04 | -1,79E+02 |
| ODP | Agotamiento de la capa de ozono estratosférico [kg CFC-11 eq] | 1,07E-03 | 4,87E-04 | 0,00E+00 | **1,47E-03** | 6,78E-04 | 1,55E-05 | 0 | 2,59E-05 | 3,91E-04 | 1,38E-05 | 3,52E-08 | -2,24E-03 |
| AP | Acidificación del suelo y de los recursos de agua [kg $SO_2$ eq] | 1,83E-01 | 1,29E-01 | 0,00E+00 | **3,12E-01** | 1,15E-01 | 2,67E-03 | 0 | 4,44E-03 | 6,71E-02 | 2,22E-03 | 6,84E-06 | -4,32E-01 |
| EP | Eutrofización [kg $(PO_4)^{3-}$eq] | 2,97E-02 | 1,13E-02 | 0,00E+00 | **4,10E-02** | 1,87E-02 | 4,33E-04 | 0 | 7,22E-04 | 1,09E-02 | 3,61E-04 | 9,82E-07 | -6,25E-02 |
| POCP | Formación de ozono troposférico [kg etileno eq] | 9,02E-03 | 4,43E-03 | 0,00E+00 | **1,34E-02** | 5,67E-03 | 1,31E-04 | 0 | 2,19E-04 | 3,37E-03 | 1,18E-04 | 2,98E-07 | -1,98E-02 |
| ADPF | Agotamiento de recursos abióticos para recursos fósiles [MJ] | 3,28E+02 | 2,16E+02 | 0,00E+00 | **5,44E+02** | 1,57E+02 | 3,67E-03 | 0 | 7,98E+00 | 1,20E+02 | 3,99E+00 | 1,88E-02 | -7,64E+02 |
| ADPE | Agotamiento de recursos abióticos para recursos no fósiles [kg Sb eq] | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

*Figura 5. Tabla en la que se describen los impactos ambientales definidos en la Norma UNE-EN 15804, incluida dentro de la DAP de madera aserrada estructural de pino silvestre con tratamiento superficial.*

| Cantidad de carbono biogénico | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Etapas | A1 | A2 | A3 | **TOTAL** |
| Cantidad [Kg $CO_2$ eq] | -1669,00 | 817,81 | 851,81 | **0,00** |

*Figura 6. Tabla en la que se calcula la cantidad de carbono biogénico, incluida dentro de la DAP de madera aserrada estructural de pino silvestre con tratamiento superficial.*

## 5. Conclusiones

Resulta fundamental conocer características técnicas de productos de madera y su aplicabilidad dentro de sistemas constructivos. La disposición de estos datos hace que la correcta prescripción de productos de madera en la construcción no resulte compleja para el proyectista. La revisión de familias de productos ha permitido la vinculación de materiales de construcción presentes en los elementos constructivos con productos de madera. Los productos de madera forman parte de elementos como soporte resistente, tableros estructurales, revestimiento exterior o interior, para rastreles o incluso cómo aislamiento.

Los objetivos de transición hacia una construcción verde y sostenible no son alcanzables con las soluciones constructivas que se incluyen a día de hoy en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE. Las soluciones constructivas en base a madera propuestas permiten acercar al sector de la construcción a este objetivo, a la vez que facilitan la tarea de diseño a arquitectos y técnicos.

El sistema jerarquizado propuesto para la clasificación de soluciones constructivas permite estructurar y definir sistemas constructivos, permitiendo su ampliación de forma lógica. Las fichas técnicas elaboradas aportan en la labor de difusión y conocimiento del trabajo realizado de una forma sintética y cómoda. Existe una gran variabilidad de materiales para cada elemento constructivo. Es de gran importancia caracterizarlos y definirlos porque influyen en gran medida en las prestaciones globales de las soluciones constructivas.

La necesidad de datos hace referencia no solo a datos técnicos sino también a datos ambientales. La elaboración de DAPs genéricas es uno de los grandes retos de la construcción sostenible. La información generada sobre impactos de productos de madera se hace accesible con la generación de las DAPs. Esto permitirá su implantación de manera generalizada en un mercado más estable y competitivo. La estimación del balance de CO2-eq de los productos de madera para construcción permite evidenciar su ventaja competitiva en términos ambientales frente a otros productos de construcción. Estos valores ambientales permiten también aventajar a la madera en términos de sostenibilidad.

## 6. Bibliografía

AITIM; 2010. Madera, bosque y medioambiente. Vivir con madera: Manual de productos. Página 8.

BOWYER, J.; 1995. Wood and other raw materials for the 21st century. Forest Prod J 45 (2) 17–24.

CABEZA, L., BARRENECHE, C., MIRÓ, L., MORERA, J.M., BARTOLÍ, E., FERNÁNDEZ, A.I.; 2013. Low carbon and low embodied energy materials in buildings: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 23, Pages 536-542. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.017.

CHAU, C.K., LEUNG, T.M., NG, W.Y; 2015. A review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings. Applied Energy, Volume 143, Pages 395-413
https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.023.

CLARK, D., Peter AURENHAMMER, P., BARTLOMÉ, O., MORWENNA, S.; 2012. "Innovative wood-based products, 2011-2012", in Forest Products Annual Market Review 2011-2012, UNECE, Geneva 10 (https://www.unece.org/fileadmin/DAM/timber/publications/13.pdf)

CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN; 2010. Ministerio de Fomento, España (http://www.codigotecnico.org)

UNE-ENV 1995-1-1:1997. EUROCÓDIGO 5: Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.

UNE-ENV 1995-1-2. EUROCÓDIGO 5: Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de Estructuras sometidas al fuego.

UNE-EN 312:2010. Tableros de partículas. Especificaciones.
UNE-EN 300:2007. Tableros de virutas orientadas (OSB). Definiciones, clasificación y especificaciones.

UNE-EN 636:2012+A1:2015. Tableros contrachapados. Especificaciones.

UNE-EN 14279:2007+A1:2009. Madera microlaminada (LVL). Definiciones, clasificación y especificaciones.

UNE-EN 12775:2001. Tableros de madera maciza. Clasificación y terminología.

UNE-EN 14081-1:2016. Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular clasificada por su resistencia. Parte 1: Requisitos generales.

UNE-EN 15497:2014. Madera maciza estructural con empalmes por unión dentada. Requisitos de prestación y requisitos mínimos de fabricación.

UNE-EN 14080:2013. Estructuras de madera. Madera laminada encolada y madera maciza encolada. Requisitos.

UNE-EN ISO 14040:2006. Gestión ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia.

UNE-EN ISO 14044:2006/A1:2018. Gestión ambiental. Evaluación del ciclo de vida. Requisitos y directrices. Modificación 1.

UNE-EN ISO 14025:2010. Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales tipo III. Principios y procedimientos.

UNE-EN 15804:2012+A2:2020. Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción.

UNE-EN 16485:2014. Madera aserrada y madera en rollo. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categorías de productos de madera y derivados de la madera para su utilización en construcción.

UNE-EN 16449:2014. Madera y productos derivados de la madera. Cálculo del contenido en carbono biogénico de la madera y conversión en dióxido de carbono.

UNITED NATIONS, DEPARTAMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, POPULATION DIVISION; 2019. World Population Prospects 2019.
(https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_PressRelease_ES.pdf)

UNITED NATIONS, ENVIRONMENTAL AND INTERNATIONAL ENERGY AGENCY; 2017. Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector. Global Status Report 2017.
(https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP%20188_GABC_en%20%28web%29.pdf)

WORLD GREEN BUILDING COUNCIL; 2016-2022. World Green Building Council Website.(https://www.worldgbc.org/what-green-building).