

Fabricación de LVL (Madera microlaminada) de haya (*Fagus sylvatica*)

La innovación presentada en esta publicación ha sido seleccionada dentro del proyecto FOREST4EU. Este proyecto ha recopilado las innovaciones generadas por distintos grupos operativos del sector forestal a nivel europeo en los últimos años. Mediante distintos procesos de priorización con expertos del sector, 20 innovaciones han sido seleccionadas como las de mayor interés para reforzar la transferencia de sus resultados en el área forestal. Dentro de este proceso, la innovación “LVL (Madera microlaminada) de madera de haya”, elaborada en el contexto del grupo operativo GO FAGUS, ha sido seleccionada como producto de especial relevancia para su comunicación en España. Para más información puede consultarse la web del proyecto <https://www.forest4eu.eu/>

ORIGEN Y TRANSFORMACION DE LA MATERIA PRIMA

El LVL es un producto que consiste en el apilado sucesivo de finas capas de madera, chapas (Fig. 1), obtenidas mediante desenrollo. Al obtener el material de esta manera, tiene las siguientes implicaciones:



Figura 1. Chapas de haya utilizadas para la fabricación del LVL

La materia prima para la fabricación de este producto son trozas de alta calidad. De diámetros grandes, rectas, con poca conicidad y nudos para al realizar el desenrollo obtener un rendimiento, volumen y calidad adecuados. Por esta razón es esperable que la fabricación de productos estructurales con chapa de desenrollo ofrezca unas propiedades superiores a la madera aserrada de la misma especie.

¿Qué es el desenrollo y cuál es su proceso?

El desenrollo consiste en, como su nombre indica, desenrollar la troza, convirtiendo un cilindro en una lámina. La forma más visual de comprender esto es compararlo con un rollo de papel, donde la troza es el rollo y el trozo de papel la chapa (Fig. 2). Para alcanzar este objetivo el proceso es el siguiente:

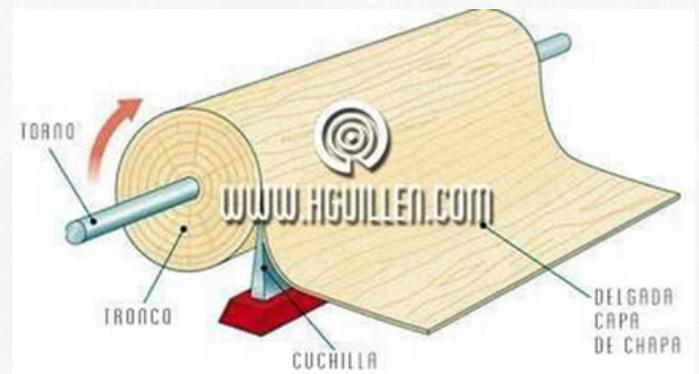


Figura 2. Esquema del desenrollo. Fuente: Maderas hermanos Guilen.

Primero, las trozas son descortezadas para eliminar restos o residuos que traiga del monte. Después, las trozas son escaneadas con un detector de metales, ya que la presencia de metales en su interior podría arruinar la maquinaria utilizada en este proceso.

Luego, las trozas son cocidas o vaporizadas para obtener una consistencia más blanda y flexible. Con esto se pretende alcanzar varios objetivos: que la madera no se parta con la tensión del desenrollo, que oponga menos resistencia a la cuchilla y alargar la vida útil de las herramientas de corte.

Finalmente llega la operación de desenrollo, donde, primero, la troza debe centrarse en el eje y cilindrase como muestra la Figura 2. Alcanzada esta forma, una cuchilla se aproximará al cilindro y obtendrá una chapa del espesor requerido (Fig. 3) hasta llegar al diámetro mínimo de trabajo y generando así 3 productos finales: Virutas del cilindrado, la chapa (Fig. 4) y el curro del cual no se pudo aprovechar más material (Fig. 5). Y de esta manera se obtiene la materia prima utilizada para fabricar las probetas ensayadas en el presente proyecto.



Figura 3. Troza lista para el desenrollo



Figura 4. Chapas obtenidas de la troza



Figura 5. Curros obtenidos tras el desenrollo

PROCESO DE FABRICACIÓN

Para este proyecto se fabricaron 2 tipos de probetas:

- Vigas de 125x30x2500mm
- Placas de 500x500mm

Equilibrado de la humedad

Al llegar las chapas a las instalaciones de Cesefor, se las dejó aclimatarse durante unos días para evitar problemas con la humedad de las chapas debido a las diferencias climáticas entre el aserradero y la fábrica. La humedad fue controlada a través de un xilohigrómetro (Fig. 6).



Figura 6. Control de humedad de chapas con xilohigrómetro

Atención a la posición de la chapa

Debido a que el producto a fabricar es LVL, y todas las láminas deben tener la misma orientación de la fibra, se tuvo cuidado en asegurar esta cualidad durante la fabricación, sobre todo en las probetas pequeñas de 500x500mm donde es mucho más fácil rotar una lámina y fabricar un contrachapado por error (Fig. 7).



Figura 7. Encolado y colocación de chapas

Consideraciones con el adhesivo

El haya, es una especie complicada a nivel de encolado, ya que es difícil que las líneas de cola cumplan la exigencia de la normativa, aunque esto también podría deberse a la alta resistencia de esta madera como comentan algunos autores. En este caso, se ha utilizado un adhesivo MUF bicomponente con nombre comercial GripPro™ Design de la casa Azko novel. La utilización del adhesivo vino pautada por la ficha técnica del fabricante, teniendo en cuenta la humedad y temperatura de la madera y nave de fraguado, el tiempo del adhesivo al aire, el ratio de la mezcla, la presión durante el fraguado y el tiempo mínimo de fraguado.

Algunos de los parámetros utilizados para la fabricación se incluyen en la Tabla 1.

Ratio cola/endurecedor	Gramaje (g/m ²)	Tiempo al aire (min)	
		Por separado	Mezclado
2/1	350	30-40	15-20

Tabla 1. Algunos parámetros considerados para la fabricación

Armado de las probetas

Tras el acondicionado y preparación del material e instalaciones, se inició el proceso de fabricación. Este proceso es idéntico para las probetas grandes y pequeñas, siendo la única diferencia el tamaño de la probeta resultante y la prensa utilizada.

Debido al carácter de prototipado de las instalaciones y la ausencia de una línea que permita aplicar de forma independiente cola y endurecedor con un ratio ajustado, se prepararon las dosis para mezclarlos justo antes de su aplicación para asegurar el tiempo al aire de la cola. Una vez mezclados, se rellenó el depósito del rodillo manual con el que se aplicó el adhesivo.

De esta manera se obtuvieron dos productos diferentes: vigas de LVL de tamaño estructural de 125x30x2500mm (Fig. 8) y probetas de pequeñas dimensiones fabricadas a partir de la prensa de tablero que fabrica piezas de 500x500mm (ver Figuras 9 y 10) para comparar sus propiedades con las de la madera aserrada y las vigas estructurales fabricadas en las instalaciones.



Figura 8. Vigas de tamaño estructural



Figura 9. Panel de 500x500 mm, utilizado para elaborar probetas de pequeñas dimensiones



Figura 10. Probetas de pequeñas dimensiones para ensayos a flexión (superiores) y para ensayos a tracción perpendicular a la fibra (inferiores).

FASE DE ENSAYOS

A partir de los dos productos anteriormente desarrollados, se realizarán 3 pruebas diferentes para evaluar sus características resistentes:

1. Ensayos a flexión con las 10 vigas de dimensión estructural fabricadas;
2. Ensayos a flexión con 50 probetas de pequeñas dimensiones;
3. Ensayos de tracción perpendicular a la fibra en 60 probetas de pequeñas dimensiones.

Ensayo a flexión

El ensayo a flexión (independientemente del tamaño de la muestra) se realiza apoyando la pieza en sus extremos (biapoyada) y mediante un pistón se ejerce una fuerza vertical aplicada en dos puntos, de modo que en el tramo entre puntos de carga, la viga queda solamente sometida a flexión y no a cortante. Al producirse la rotura en este tramo de la viga, la misma se debe únicamente a esfuerzos flectores. Estos ensayos se realizaron de acuerdo con la metodología de la norma EN 408 propuesta para madera aserrada y madera laminada encolada, tal como lo indica la norma EN 14374. En la Figura 11 se puede observar un ensayo a flexión realizado en vigas de dimensión estructural, y en la Figura 12 uno realizado en probetas de pequeñas dimensiones.



Figura 11. Ensayo a flexión en probetas de tamaño



Figura 12. Ensayo a flexión en probetas de pequeñas dimensiones

Ensayo de tracción perpendicular

Este ensayo se realiza para conocer el comportamiento del LVL en tracción perpendicular a las fibras (el esfuerzo más desfavorable al que se puede someter a la madera) mediante un dispositivo metálico especialmente diseñado para realizar el ensayo. Dicho dispositivo consiste en dos pinzas metálicas que toman a la probeta sin efectuar ningún daño, y luego se separan una respecto a la generando un esfuerzo de tracción. En la Figura 13 se puede observar uno de estos ensayos en ejecución.



Figura 13. Ensayo a tracción perpendicular en la fibra

Estos ensayos deben realizarse en el rango de tiempo estipulado por la normativa ya que dependiendo del tiempo de exposición a una carga la madera se comporta de diferentes formas. Además, también se indica en la norma cómo se debe aplicar la carga, pudiendo variar su control entre fuerza o desplazamiento por unidad de tiempo (kg/min o mm/min).

RESULTADOS

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos a partir de los distintos ensayos realizados.

Ensayos a flexión de probetas de tamaño estructural

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados en vigas de tamaño estructural se presentan en la Tabla 2. Se ensayaron vigas de sección transversal 120x30 mm², con una luz de 2160 mm. Se realizaron 10 ensayos, y con ellos se obtuvieron las propiedades características buscadas, siguiendo la norma EN 14358. Se determinó la densidad media y característica de la muestra, la resistencia a flexión media y característica, y los módulos de elasticidad local y global. El valor de la resistencia a flexión está ajustado para una altura de referencia de 300 mm de acuerdo a la norma EN 14358.

Ensayo a flexión	CH (%)	ρ_m (kg/m ³)	ρ_k (kg/m ³)	$f_{m,m}$ (MPa)	$f_{m,k}$ (MPa)	$E_{m,g}$ (MPa)	$E_{m,l}$ (MPa)
Vigas LVL	10.7 (9%)	704 (4%)	641	65.4 (10%)	46	10992 (3%)	13425 (7%)

Tabla 2. Resultados de ensayos a flexión de vigas LVL de tamaño estructural

*Los valores entre paréntesis corresponden al coeficiente de variación CH (%) - Coeficiente de Húmedad.

- ρ_m (kg/m³) - Densidad Media;
- ρ_k (kg/m³) - Densidad característica correspondiente al 5%;
- $f_{m,m}$ (MPa) - Resistencia a flexión, valor medio;
- $f_{m,k}$ (MPa) - Resistencia a flexión, valor característico;
- $E_{m,g}$ (MPa) - Módulo de elasticidad global (con efecto del cortante);
- $E_{m,l}$ (MPa) - Módulo de elasticidad local (sin efecto de cortante).

Ensayos a flexión de probetas de pequeñas dimensiones

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados en vigas de pequeñas dimensiones se presentan en la Tabla 3. Se ensayaron vigas de sección transversal 25x20 mm², con una luz de 450 mm. Se realizaron 50 ensayos, y con ellos se obtuvieron las propiedades características buscadas, siguiendo la norma EN 14358. En este caso se obtuvo la resistencia a flexión media y característica y el módulo de elasticidad global. El valor de la resistencia a flexión está ajustado para una altura de referencia de 300 mm de acuerdo a la norma EN 14358.

Ensayo a flexión	$f_{m,m}$ (MPa)	$f_{m,k}$ (MPa)	$E_{m,g}$ (MPa)
Vigas LVL	91.0 (9%)	77	15702 (8%)

Tabla 3. Resultados de ensayos a flexión de vigas LVL de pequeñas dimensiones

*Los valores entre paréntesis corresponden al coeficiente de variación.

- $f_{m,m}$ (MPa) - Resistencia a flexión, valor medio;
- $f_{m,k}$ (MPa) - Resistencia a flexión, valor característico;
- $E_{m,g}$ (MPa) - Módulo de elasticidad global (con efecto del cortante).

Ensayos a tracción perpendicular

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados en probetas de pequeñas dimensiones se presentan en la Tabla 4. Se ensayaron probetas de sección transversal 55x50 mm², con un grosor de 20 mm. Se realizaron 30 ensayos, y con ellos se obtuvieron las propiedades características buscadas, siguiendo la norma EN 14358. Se obtuvo la resistencia a tracción perpendicular a la fibra media y característica.

Ensayo a tracción perpendicular	$f_{t,90,m}$ (MPa)	$f_{t,90,k}$ (MPa)
Pequeñas probetas LVL	2.5 (35%)	0.94

Tabla 4. Resultados de ensayos a tracción perpendicular a la fibra en probetas de LVL de pequeñas dimensiones

*Los valores entre paréntesis corresponden al coeficiente de variación

- $f_{t,90,m}$ (MPa) - Resistencia a tracción perpendicular, valor medio;
- $f_{t,90,k}$ (MPa) - Resistencia a tracción perpendicular, 5º percentil.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir del ensayo a flexión en vigas de tamaño estructural, podrían compararse con los declarados para las clases resistentes de madera aserrada (EN 338) o de madera laminada encolada (EN 14080) aunque esta última es aplicable a especies coníferas.

Si comparamos con las clases resistentes de madera aserrada, se podrían tomar como referencia las clases resistentes D40 y D45. A su vez, los resultados obtenidos en este ensayo se pueden comparar con los obtenidos en el marco del proyecto EGURALT, en donde se ensayaron a flexión 38 piezas de madera aserrada de haya de segunda calidad de sección transversal 120x30mm². En la Tabla 5 se presenta la comparación entre las propiedades de las clases resistentes, las obtenidas para el LVL y para la madera aserrada.

Propiedad	D40	D45	LVL	MA
ρ_k (kg/m ³)	550	580	641	616
$f_{m,k}$ (MPa)	40	45	46	34
$E_{m,l}$ (MPa)	13.0	13.5	13.4	13.1

Tabla 5. Comparación de propiedades indicadores de clases resistentes con propiedades de LVL y madera aserrada.

Se puede observar cómo la resistencia a flexión del LVL es superior a la de la muestra de madera aserrada ensayada, incluso habiendo realizado solamente 10 ensayos de vigas de LVL (hecho que penaliza el valor característico). Esto es coherente con el hecho de que los productos de ingeniería de madera como el LVL mejoran las propiedades de la madera aserrada debido al mejor aprovechamiento del material y la reducción de singularidades en los elementos estructurales.

Si analizamos ahora los resultados de los ensayos a flexión realizados en probetas de pequeñas dimensiones, se observa, como era de esperar, que estas muestras son más resistentes y rígidas que las de tamaño estructural.

En particular, la relación entre resistencias es de 1.67, y en el módulo de elasticidad global de 1,43.

Esto se puede explicar por la menor cantidad de singularidades que posee la madera de pequeñas dimensiones frente a la de tamaño estructural. Por otro lado, el proceso de prensado con la prensa de platos calientes, utilizada para elaborar los paneles con los que se obtuvieron las probetas de pequeñas dimensiones, tiene un grado de control mayor que el realizado con la prensa grande utilizada para elaborar las vigas de tamaño estructural. Esto último también puede influir en los mejores resultados obtenidos con las probetas pequeñas.

Por último, con respecto a los resultados de los ensayos de tracción perpendicular a la fibra se puede comentar que el valor característica de resistencia obtenida de 0,94 MPa es superior al indicado para todas las clases resistentes de especies frondosas D en la norma EN338, que corresponde a 0,6 MPa.

CONCLUSIONES

A partir del trabajo realizado, se ha podido elaborar y evaluar LVL a partir de láminas de haya de segunda calidad de acuerdo con el criterio de clasificación estético del aserradero.

Se han realizado ensayos de flexión en probetas de pequeñas dimensiones y de tamaño estructural, así como también ensayos de tracción perpendicular a la fibra. Los resultados de los ensayos son satisfactorios y alentadores, alcanzándose buenas propiedades mecánicas que indican que la materia prima es apta para la elaboración de este producto. Comparando las propiedades del LVL ensayado a flexión con las de la madera aserrada de la misma procedencia, se han mejorado los resultados tanto en resistencia a flexión como en rigidez.

Further information

<https://gofagus.es/>

Contacts

joseluis.villanueva@cesefor.com

FOREST4EU partners

