

**Producto: Estímulo de la multifuncionalidad forestal:
Compatibilización de la resinación con la producción de
madera (*Pinus Pinaster ssp. mesogeensis*).**

**Actividad: Caracterización de la madera resinada de pino resinero ssp.
mesogeensis para su promoción comercial.**

Entregables:

- Memoria de los trabajos de caracterización y verificación de la calidad de la madera resinada.
- Dossier técnico de caracterización de madera resinada para uso no estructural.
- Hoja divulgativa sobre la producción de madera resinada.



www.sust-forest.eu

SOCIOS | PATERNAIRES | PARCEIROS | PARTNERS



Proyecto cofinanciado por el Programa Interreg Sudoe a través del Fondo Europeo de Desarrollo

Actividad 1.33 Caracterización de la madera resinada de pino resinero ssp. mesogeensis para su promoción comercial

Entregable 1.33.1. Memoria de los trabajos de caracterización y comparación entre madera resinada y madera sin resinar.

Autor: Cesefor

30 de agosto de 2019

**Interreg
Sudoe**

European Regional Development Fund



S0E2/P5/E0598
www.sust-forest.eu

SOCIOS | PATERNAIRES | PARCEIROS | PARTNERS



Proyecto cofinanciado por el Programa Interreg Sudoe a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional

1. ANTECEDENTES

En el presente documento se detallan las actividades llevadas a cabo dentro de la actividad A.1.33 “Caracterización de la madera de *Pinus pinaster ssp. mesogeensis* resinada para su promoción comercial”.

Las Tareas que se incluyen dentro de esta actividad son:

1ª- Determinación de la muestra: distribución y emplazamiento de las parcelas de estudio, tanto de pinos resinados como de pinos sin resinar, con la misma calidad de estación.

2ª- Apeo, transporte, aserrado y secado de la madera: labores de corta, transporte y obtención de 90 viguetas para ensayo (45 procedentes de madera resinada y 45 procedentes de madera sin resinar)

3ª-Ensayos no destructivos acústicos para estimación de propiedades las físico-mecánicas Sobre las 90 piezas

4ª Ensayos destructivos normalizados según la Norma EN 408 para estimación de la resistencia a flexión, el módulo de elasticidad local y la densidad. De forma previa se realiza una clasificación visual de las 90 piezas, midiendo singularidades de la madera (nudos, desviación de fibra, crecimientos, etc)

5ª Análisis de resultados , conclusiones y comparativa de acuerdo con Norma europea EN 384, y redacción del informe técnico normalizado.

6ª Elaboración de fichas divulgativas con los resultados obtenidos y posibilidades comerciales de la madera resinada para uso estructural, destinado a propietarios y gestores.

2. OBJETIVOS DE LA ACTIVIDAD.

El objetivo fundamental de la Actividad A.1.33, es acometer un estudio comparativo de las propiedades físico-mecánicas de la madera de pino pinaster resinado frente a pino pinaster sin resinar. Este objetivo principal se puede dividir en tres objetivos parciales:

- ✦ Permitir que la madera de pinaster procedente de pinos resinados no quede excluida del mercado de la madera estructural de tal forma que pueda ser incluida en la normativa nacional de madera para uso estructural.
- ✦ Determinar las propiedades físico-mecánicas de la madera de pino pinaster resinado y establecer una comparativa con las propiedades físico-mecánicas de madera de pinaster sin resinar.
- ✦ Transmitir a través de fichas divulgativas entre propietarios y gestores las propiedades estructurales de la madera de pino pinaster resinado y sus posibilidades de comercialización dentro de la Normativa.

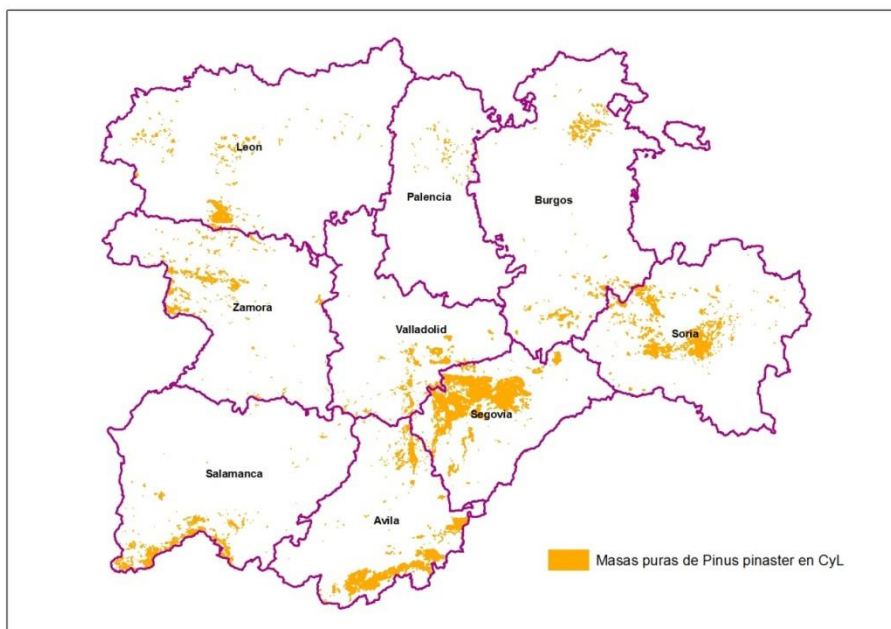
Para la consecución de estos objetivos, se han desarrollado los siguientes trabajos:

3. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS.

3.1. Determinación de la muestra:

Para la consecución de esta actividad, era necesario determinar una muestra representativa del estudio, que sirviera para cumplir con los tres objetivos descritos en el punto anterior. Para obtener una zona de muestreo, en primer lugar se sacó un mapa de pino pinaster puro en Castilla y León:

Figura 1: Mapa de masas puras de Pinus pinaster en Castilla y León.



Para encontrar la zona óptima, se analizaron varias posibilidades de corta de madera en los pinares llanos de Soria y Segovia, zonas tradicionalmente resinadas. Se establecieron en gabinete una serie de requisitos que la zona de muestreo debía cumplir para ser válida. Estos requisitos fueron:

- ✦ Presencia de árboles resinados con las 5 caras abiertas (es decir unos 20 años en resinación)
- ✦ Presencia de árboles sin resinar.
- ✦ Se había licitado su corta y tenía un adjudicatario de la madera.

Finalmente se eligió el Monte de Tardelcuende en Soria. Ya que este monte cumplía con los criterios.

Una vez determinada la zona, se acudió al monte con los agentes medio ambientales de la Junta de Castilla y León. Se seleccionaron, marcaron y midieron diámetros de los árboles que formarían parte del estudio. Finalmente se seleccionaron 10 árboles resinados y 18 árboles sin resinar.

Las tareas realizadas durante esta fase de muestreo fueron:

- ✦ Selección de Zona del estudio que contuviera madera resinada y no resinada. Se buscaron árboles resinados con 5 caras abiertas. También se optó por una zona cuya corta estuviera adjudicada(lo cual simplificaba los trámites administrativos)
- ✦ Señalamiento conjuntamente con los agentes ambientales de La Junta de Castilla y León de los arboles empleados en el estudio..
- ✦ Toma de datos dasométricos de los pies seleccionados: diámetro normal.

Figura 3: Foto de selección y medición de árboles:



3.2. Apeo, transporte, aserrado y secado de la madera:

Una vez seleccionada la zona de corta y marcada la madera, se procedió a realizar los trabajos de corta, troceado, saca y transporte de la madera. Para ello se realizaron las siguientes acciones:

- ✦ Se acordó con el adjudicatario de la madera, Maderas MASOVA, un precio de compra de la madera.

- ✦ Se subcontrataron los trabajos de corta, tronzado, saca de la madera y transporte hasta serrería.
- ✦ Coordinación de fechas entre todas las partes implicadas para la realización de la corta y tronzado. Finalmente se acordó realizar estas operaciones durante Enero de 2019.

Figura 4: Foto de corta, troceado y medición de troza:



Figura 5: Foto de corta, troceado y desramado del fuste.



- ✦ Identificación y clasificación visual de las trozas. El día del apeo dos técnicos de Cesefor se desplazaron al monte para coordinar los trabajos. Todas las trozas cortadas fueron identificadas en testa con un código que garantizaba su trazabilidad. Este código contenía información del número de árbol, si era resinado o no resinado y del número de troza dentro del árbol.

Figura 6: Foto Identificación y clasificación troza.



- ✦ Saca de la madera y transporte hasta aserradero. Una vez identificadas las trozas del estudio se sacaron mediante autocargador hasta cargadero a pie de pista. Donde un camión de 4 ejes con pinza esperaba para poder cargar la madera.

Figura 7: Foto de saca de trozas mediante autocargador



- ✦ Búsqueda de serrería y transporte hasta la misma: Para la elaboración de las piezas de ensayo, se contactó con diferentes serrerías de Soria y Segovia. Finalmente se optó por la empresa Maderas Jose Feliz Sanz, SL. Empresa que se encuentra en Cantalejo y tiene gran experiencia en el aserrado de madera resinada, especialmente en las meleras. Una vez elegida la serrería se transportó la madera hasta la misma.

Figura 8: Foto carga de trozas en camión para su transporte a serrería.



- ✦ Aserrado de la madera e identificación de las piezas de ensayo: Se coordinó con la serrería las fechas de aserrado de la madera (febrero de 2019). Dos técnicos de CeseFor se desplazaron el día del aserrado con el fin de identificar las piezas de aserrado, y mantener así su trazabilidad. Finalmente se aserraron 50 piezas procedentes de árboles resinados y 50 piezas procedentes de árboles sin resinar. Todas las piezas fueron identificadas con un código. Este código contenía información del nº de árbol, si era resinado o no resinado, la troza y el número de pieza. La sección elegida fue 12cm x 5cm x 3 metros. Se eligió esta sección ya que se adapta a los nuevos productos de madera estructural como entramado ligero o madera laminada encolada.

Figura 9: Foto trozas con código de identificación en cadena, durante el proceso de aserrado:



Figura 10: Foto obtención de tablones sin cantear en el proceso de aserrado



- ✦ Transporte de madera hasta el Laboratorio de Cesefor, acondicionado y secado: Una vez aserrada la madera, se restrelo para favorecer su secado. Los paquetes fueron transportados hasta el laboratorio de cesefor, donde quedarón bajo cubierta oreándose hasta alcanzar la humedad que con la que la Norma EN 384 permite hacer los ensayos. Periódicamente se controlaba la humedad con xilohigrometro de resistencia eléctrica. Cuando se constató que las piezas estaban con humedades por debajo del 15%, se procedió a seguir con las siguientes fases:

Figura 11: Foto acondicionado de la madera para su secado.



3.3. Ensayos no destructivos acústicos para estimación de propiedades físico-mecánicas:

En este trabajos se probaron algunas técnicas acústicas, como herramientas de predicción de las propiedades físico-mecánicas de la madera resinada.

Las Técnicas No Destructivas seleccionadas para la estimación de las propiedades físico-mecánicas fueron dos:

- ✦ La medición del tiempo de paso de una onda sonora a través de la madera. Para lo que se hizo uso del equipo Microsecond Timer de la casa Fakopp.
- ✦ La medición de la frecuencia de resonancia de una onda sonora en su paso a través de la madera, para lo que se hizo uso del equipo MTG de la casa Brookhuis. Estas técnicas se utilizaron en madera seca, tanto reinada como sin resinar.

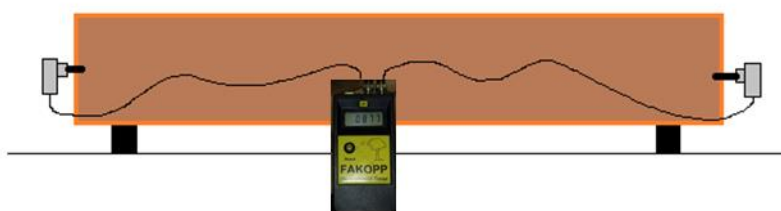
A continuación se describen con más detalle estas dos técnicas:

3.3.1 Medición del tiempo de paso de la onda sonora

Este ensayo consiste en la medición en microsegundos, del tiempo que tarda en llegar una onda sonora desde un extremo al otro de la probeta (tiempo de paso).

El ensayo se realizó con el aparato “Microsecond Timer” de la casa Fakkop que dispone de dos palpadores o sensores, uno que hace funciones de emisor y el otro de receptor. Este equipo cuenta con una frecuencia de emisión de la onda acústica de 23 kHz y produce la misma por excitación mecánica mediante un golpe sobre uno de los sensores (emisor). El emisor se clava en una testa de la troza o pieza de madera y el receptor se clava en la otra. A continuación se golpea con un martillo en el emisor, el aparato registra el tiempo en microsegundos que la onda sonora tarda en recorrer la distancia entre el emisor y el receptor. La figura 1 refleja un esquema de su uso.

Figura 12: Sistemática en la medición del tiempo de paso de una onda sonora mediante el aparato Microsecond Timer (Fakopp)



3.3.2. Medición de la frecuencia de vibración

Este ensayo consiste en la medición en hercios de la frecuencia de vibración que emite una onda en su paso a lo largo de una pieza de madera. Para su medición se utilizó el equipo MTG de la casa Brookhuis.

Destacar que este equipo se encuentra homologado para la clasificación mecánica de la madera estructural, siempre y cuando se obtengan los ajustes necesarios, tal y como establecen las normas UNE-EN 14081 en sus partes 1 y 2.

La sistemática de medición a seguir en los diferentes puntos de transformación de la madera fue la siguiente: colocación del equipo en una de las testas de las trozas o piezas de madera aserrada y golpeo con un martillo en la misma para la posterior lectura de la frecuencia de vibración en Hz. La figura 2 refleja un esquema de su uso.

Figura 13: Sistemática en la medición de la frecuencia de vibración mediante al aparato MTG (Brookhuis).



Todas las probetas fueron evaluadas, con los dos equipos. Finalmente con todos los resultados se elaboraron ecuaciones de predicción de las propiedades mecánicas. Todos los modelos y resultados se encuentran dentro del Entregable E.33.2 “Dosier técnico de caracterización de la madera resinada para uso estructural”.

Figura 14: Foto, empleo métodos no destructivos (tiempo de paso y medición de frecuencia)



3.4. Ensayos destructivos Normalizados según la Norma En 384.

3.4.1. Clasificación visual de las piezas de ensayo:

Previamente a la realización de ensayos se clasificaron visualmente las piezas del estudio, midiendo las diferentes singularidades que presentaba la madera en su zona crítica (zona central). También se controlaron en la longitud total de las piezas aquellas singularidades que más influyen en la resistencia de la madera (nudos de cara y nudos de canto). Las singularidades controladas fueron:

- ✚ Tamaño de nudos aislados en la cara.
- ✚ Tamaño de los nudos agrupados en la cara.
- ✚ Tamaño de nudos aislados en canto.
- ✚ Tamaño de nudos agrupados en el canto.
- ✚ Tamaño de los anillos de crecimiento.
- ✚ Desviación general de la fibra.
- ✚ Longitud y profundidad de las fendas.
- ✚ Presencia de acebolladuras, o fendas ocasionadas por rayos, abatimientos, etc.
- ✚ Presencia de medula.
- ✚ Presencia y dimensión de las gemas.
- ✚ Deformaciones.
- ✚ Presencia de pudriciones y/o alteraciones biológicas.
- ✚ Presencia de madera de reacción.
- ✚ Presencia de daños por mecanizado

Figura 12: Foto Medición de singularidades de la madera.



3.4.2 Ensayo a Flexión:

Una vez clasificadas visualmente las piezas del estudio se procedió a realizar los ensayos destructivos. El ensayo a flexión tiene por objeto determinar tres parámetros fundamentales:

- ✦ Determinación de la resistencia a flexión (MOR)
- ✦ Determinación del Módulo de elasticidad Local en Flexión (MOE)
- ✦ Determinación del Módulo de elasticidad global en flexión (MOEg)

El protocolo de ensayo se realizó según la norma UNE-EN 408.

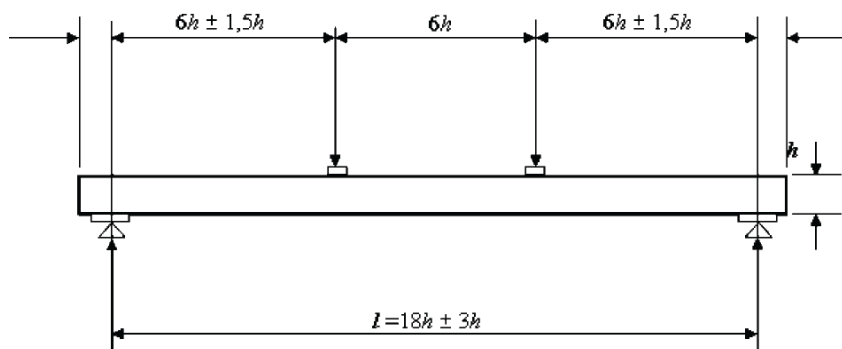
Cesefor dispone en su laboratorio de un Marco de ensayos Sitenor2001, con capacidad de 50 toneladas de fuerza y dotada de dos extensómetros para la medición en modo continuo, de la flecha de las vigas durante el ensayo.

Los ensayos mecánicos tuvieron por objeto determinar los siguientes parámetros: módulo de elasticidad global, módulo de elasticidad local, y resistencia a la flexión, que junto con la densidad son los parámetros que determinan los valores característicos estructurales de la madera.

La longitud de cada una de las piezas fue al menos de 19 veces el alto (cara o anchura), tal y como establece la norma UNE-EN 408.

El procedimiento del ensayo se inició con la colocación de la probeta en la maquina universal de ensayos. La pieza se apoya sobre dos puntos con una luz igual a 18 veces la altura de la pieza. La pieza se carga mediante a dos punto, simétricamente colocados en los tercios de la luz y por lo tanto con separación entre apoyos de seis veces la altura de la pieza, (ver figura 13)

Figura 13: Detalle acotado del ensayo.



Fuente: Norma UNE-EN 408.

Para la evaluación de la elasticidad se relaciona la flecha con la carga producida. El módulo de elasticidad global mide la flecha de la pieza con respecto a su eje longitudinal inicial, medido en la parte central. En cambio el módulo de elasticidad local mide la flecha de la línea neutra de la pieza (parte de la pieza donde los momentos de carga son similares), es decir, la flecha producida en la longitud de la pieza contenida dentro de los puntos de carga.

En el presente trabajo, se optó por medir tanto el módulo de elasticidad local como el global, controlando y analizando ambos parámetros de rigidez. El módulo de elasticidad global se utilizó principalmente para el estudio del comportamiento de las diferentes Técnicas No Destructivas utilizadas.

En ambos casos la deformación se midió mediante la utilización de extensómetros. Para el módulo de elasticidad global el extensómetro se colocó en el centro de la pieza, en la parte inferior (cara traccionada). Para el módulo elasticidad local, primero fue necesario colocar una percha en uno de sus cantos, soportada sobre dos tornillos puestos en la línea neutra (formando un segmento de longitud igual a 5 veces en ancho de la probeta).

Una vez colocados todos los dispositivos, se comenzó a ejercer lentamente la presión, siempre con una velocidad constante. La norma UNE-EN 408 establece que la velocidad no debe superar en ningún momento los 0,003 h mm/s, criterio que se cumplió en todos los casos. La presión se mantuvo hasta alcanzar una carga (dentro del tramo elástico del material) suficiente para obtener las gráficas de deformación-fuerza necesarias para los cálculos de los módulos de elasticidad global y local, para lo cual los dispositivos se mantuvieron hasta superar $0,5 F_{max,est}$, siendo $F_{max,est}$ la fuerza máxima estimada.

Posteriormente se retiraron ambos extensómetros y se continuó hasta la rotura de la probeta, momento en el que se anotó la F_{max} (carga de rotura), el tiempo de duración del ensayo, y el motivo y la localización de la rotura.

Una vez rota la viga se clasificó visualmente la sección de rotura, midiendo y caracterizando la singularidad que produjo la rotura.

Figura 14: Foto ensayo a flexión según EN 408.



3.4.3 Ensayo de determinación de humedad y densidad

Posteriormente se procedió a extraer una rebanada de sección completa lo más próxima al punto de rotura y libre de defectos, tales como nudos, entrecascos, bolsas de resina, etc. Para ello se hizo uso de una motosierra eléctrica así como de una escuadradora. El grosor de dicha rebanada fue aproximadamente de unos 5 cm.

Cada rebanada fue identificada con el número de la viga de la que provenían.

Se midieron todas las dimensiones de la pieza (longitud, anchura y espesor), para así obtener el volumen de la pieza. Posteriormente se obtuvo el peso real a la humedad en que se realizó el ensayo, haciendo uso de una balanza analítica de precisión. A continuación se introdujeron las rebanadas en estufas de secado a 100° C de temperatura. Al cabo de 24 horas se extrajeron y se pesaron nuevamente las probetas, y así sucesivamente a intervalos de 2 horas de duración, hasta que alcanzaron una masa constante, momento en el cual se consideró que la probeta había alcanzado el peso anhidro. Esto se consigue cuando la diferencia de masa entre dos pesadas sucesivas sea menor del 0,1%, Todo ello se realizó conforme a la norma EN 13183-1.

Figura 15: Foto rodajas en estufa para su secado.



3.5. Resultados y conclusiones:

3.5.1. Resultados comparativa propiedades mecánicas en madera resinada frente a madera sin resinar.

El análisis de los datos demostró que las tablas obtenidas de los árboles resinados, presentaban una densidad significativamente mayor (con un contenido de humedad del 12%) que la de los arboles sin resinar. A su vez, en cuanto a las propiedades mecánicas, es decir: Resistencia a flexión, Módulo de elasticidad local y Módulo de elasticidad global (fm, EOI y EOg, respectivamente) los resultados no mostraron diferencias significativas entre las muestras tratadas y no tratadas. (tabla 1, y tabla 2).

TABLA 1: Resultados comparación propiedades físicas

Variable	Unidades	Resinadas	No Resinadas
Nº de piezas		51	42
Contenido de humedad	%	13.3 (1.4)	13.9 (1.2)
Densidad al 12%	Kg/m ³	481 (38)	565 (106)
Resistencia a Flexion	N/mm ²	35.1 (10.2)	34.3(13.7)
Elasticidad Local	kN/mm ²	9.4(1.9)	9.1(2.4)
Elasticidad Global	kN/mm ²	9.6(1.9)	9.1(1.7)

TABLA 2: Test de normalidad, ANOVA y Kruskal-Wallis

Variable	Shapiro-wilk p-value	ANOVA p-value	Kruskal-Wallis p-value
Densidad de la madera al 12%	5.114×10^{-8}	7.595×10^{-7}	1.833×10^{-6}
Resistencia a flexión	0.06062	0.7498	
Módulo de elasticidad local	0.09361	0.5127	
Módulo de elasticidad globak	0.3058	0.2264	

Como se observa en la tabla 2, se aplicaron varios estadísticos para comparar las muestras, obteniéndose como resultado que únicamente en la densidad presentaba diferencia significativas.

Como **conclusiones** se puede decir que el estudio tiene claras implicaciones para la industria de la resina:

- 1- El efecto en las propiedades mecánicas de árboles resinados, no causa detrimento en las propiedades estructurales de la madera.
- 2- La densidad de la madera aumenta como consecuencia del proceso de resinación.

Por lo tanto la resina y la madera, no solo son complementarias, sino que el proceso de resinación podría producir una mejora en ciertos productos de madera, donde la densidad sea un factor a tener en cuenta.

3.5.2 Resultados obtención de valores característicos de un lote de madera con madera resinada.

Se ha elaborado un dossier técnico de caracterización de madera resinada para uso estructural correspondiente con el entregable E.33.2. En este dossier se encuentra con detalle toda la información detallada del proceso de caracterización y los resultados obtenidos, no obstante se presentan a continuación los principales resultados obtenidos.

En la muestra ensayada en la cual la mitad de madera procedía de árboles resinados se obtuvieron los siguientes resultados (tabla 3):

TABLA 3: Valores características según la clasificación visual				
Lote	Sección	ME-1	ME-2	Rechazos
Pinaster	Nº piezas aceptadas	39	44	9
	Resistencia a flexión ($f_{05,i}$)	23,84 N/mm ²	17,24 N/mm ²	---
	Modulo de elasticidad E_i	9914,50 N/mm ²	8752,77 N/mm ²	---
	Densidad $\rho_{05,i}$	383,28 kg/m ³	381,72 Kg/m ³	---
	Clase resistente	C-22	C-16	---

Como se puede observar en la tabla 3, para las piezas clasificadas como ME-1, se obtiene un valor característico de resistencia a flexión de 23,84 N/mm². Valor correspondiente a una clase resistente **C-22**, pero muy cercano a la C-24 (según la UNE EN 338)

Para las piezas clasificadas visualmente como ME-2, se obtiene un valor característico de resistencia a flexión de 17,24 N/mm², valor correspondiente a una clase resistente **C16**, pero muy cercano a la clase C-18 (según UNE EN 338)

Con todo ello se puede **concluir** que la muestra analizada de Pinus pinaster, **incluyendo madera resinada**, se encuentra dentro de los valores Normales, para la madera de pino pinaster de procedencia española.

Estos lotes de madera ensayados en este trabajo serán incluidos en la muestra global nacional, para actualizar la Norma UNE 56544, en próximos comités de Normalización.

3.6. Elaboración de ficha divulgativa.

Se ha elaborado una ficha divulgativa, con los resultados obtenidos y posibilidades comerciales de la madera resinada para la industria, destinado a propietarios y gestores. Esta Ficha es el entregable E.33.3.

Actividad 1.33 Caracterización de la madera resinada de pino resinero ssp. mesogeensis para su promoción comercial

Entregable 1.33.2. Dossier técnico de caracterización de madera resinada para uso estructural



Autor: Cesefor

30 de agosto de 2019

**Interreg
Sudoe**

European Regional Development Fund



S0E2/P5/E0598
www.sust-forest.eu

SOCIOS | PATERNAIRES | PARCEIROS | PARTNERS



Proyecto cofinanciado por el Programa Interreg Sudoe a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional

1. ANTECEDENTES

Dentro del proyecto SUSTFOREST+ se ha realizado un estudio comparativo de las propiedades físico mecánicas de madera de Pinus pinaster resinado.

Los resultados de dichas comparaciones se encuentran en el documento entregable E.33.1.

El presente documento es un Dossier Técnico de caracterización de madera resinada para uso estructural, desarrollado dentro la Actividad A.1.33 del proyecto SUSTFOREST+

En el año 2018 se inician los trabajos de muestreo y obtención de madera, y durante el año 2019, se realizan los ensayos mecánicos sobre las piezas de madera, más detalles concretos sobre los trabajos se pueden encontrar en el Documento E.33.1 “Memoria de trabajos de caracterización y comparación entre madera resinada y madera sin resinar”

1.1 Caracterización mecánica.

Este trabajo se ha realizado siguiendo el procedimiento de caracterización de madera estructural establecido en la Normativa vigente de este producto (normas UNE-EN 14081-1, UNE-EN 384, UNE-EN 408, etc.) Para lo cual se ha ensayado madera de una procedencia, dentro de la cual se ha incluido la mitad de piezas de madera resinada.

Para ello se determinaron, dos lotes de la misma sección, de 50 piezas cada uno de ellos, procedentes del mismo monte y del mismo rodal. Uno de los lotes estaba compuesto por madera obtenida de árboles resinados con las 5 caras abiertas y el otro por árboles sin resinar.

La sección analizada fue de (12 x 5) cm con el objeto de poder evaluar madera de pequeña escuadría útil en los nuevos sistemas de construcción, como, entramado ligero, madera laminada encolada y tablero contralaminado.

Una vez se determinó que no existían diferencias significativas en las propiedades mecánicas (MOR y MOE) entre la madera resinada y la no resinada, (Entregable E33.1), se optó por unir los dos lotes en uno (siendo de la misma procedencia). De este lote se calcularon los valores característicos.

1.2 Técnicas o Métodos No Destructivos utilizados

Los trabajos de evaluación incluyeron también un análisis del comportamiento que ofrecen diferentes técnicas no destructivas como mecanismos de predicción de las propiedades mecánicas de la madera resinada.

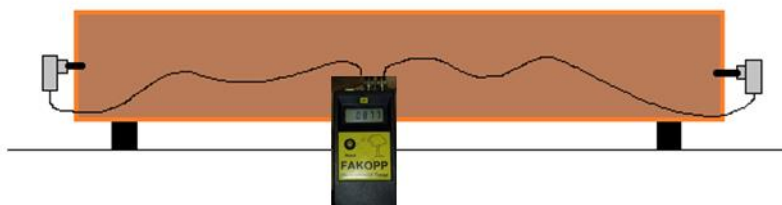
Las Técnicas No Destructivas seleccionadas fueron: la medición del tiempo de paso de una onda sonora a través de la madera. Para lo que se hizo uso del equipo Microsecond Timer de la casa Fakopp, y la medición de la frecuencia de resonancia de una onda sonora en su paso a través de la madera, para lo que se hizo uso del equipo MTG de la casa Brookhuis. Estas técnicas se utilizaron en madera seca, tanto reinada como sin resinar.

1.2.1 Medición del tiempo de paso de la onda sonora

Este ensayo consiste en la medición en microsegundos, del tiempo que tarda en llegar una onda sonora desde un extremo al otro de la probeta (tiempo de paso).

El ensayo se realizó con el aparato “Microsecond Timer” de la casa Fakopp que dispone de dos palpadores o sensores, uno que hace funciones de emisor y el otro de receptor. Este equipo cuenta con una frecuencia de emisión de la onda acústica de 23 kHz y produce la misma por excitación mecánica mediante un golpe sobre uno de los sensores (emisor). El emisor se clava en una testa de la troza o pieza de madera y el receptor se clava en la otra. A continuación se golpea con un martillo en el emisor, el aparato registra el tiempo en microsegundos que la onda sonora tarda en recorrer la distancia entre el emisor y el receptor. La figura 1 refleja un esquema de su uso.

Figura 1: Sistemática en la medición del tiempo de paso de una onda sonora mediante el aparato Microsecond Timer (Fakopp)



1.2.2 Medición de la frecuencia de vibración

Este ensayo consiste en la medición en hercios de la frecuencia de vibración que emite una onda en su paso a lo largo de una pieza de madera. Para su medición se utilizó el equipo MTG de la casa Brookhuis.

Destacar que este equipo se encuentra homologado para la clasificación mecánica de la madera estructural, siempre y cuando se obtengan los ajustes necesarios, tal y como establecen las normas UNE-EN 14081 en sus partes 1 y 2.

La sistemática de medición a seguir en los diferentes puntos de transformación de la madera fue la siguiente: colocación del equipo en una de las testas de las trozas o piezas de madera aserrada y golpeo con un martillo en la misma para la posterior lectura de la frecuencia de vibración en Hz. La figura 2 refleja un esquema de su uso.

Figura 2: Sistemática en la medición de la frecuencia de vibración mediante al aparato MTG (Brookhuis).



Equipos de ensayos utilizados

Se utilizaron los siguientes equipos de medición:

- ✦ Cámara de acondicionado.
- ✦ MTG de la casa Brookhuis.
- ✦ Microsecond Timer de la cada Fakopp.
- ✦ Maquina universal de ensayos SITENOR2001.
- ✦ Flexómetro 0-10 m.
- ✦ Calibre de 0-150 mm.
- ✦ Dos sensores de desplazamiento Novotechnik.
- ✦ Bascula de pesaje.
- ✦ Estufa

2. OBJETO

Se establecen a través de este documento los resultados obtenidos en los ensayos realizados sobre un lote de madera de *Pinus pinaster* con la mitad de sus piezas procedentes de árboles resinados.

La metodología ha sido llevada a cabo conforme a lo establecido en la norma UNE-EN 14081-1, UNE-EN 384 y UNE-EN 408.

Se ofrecen además es este trabajo, los modelos de regresión obtenidos con las dos técnicas no destructivas utilizadas, basadas en la medición del tiempo de paso y en la frecuencia de vibración longitudinal natural de la madera.

3. ALCANCE

Los valores característicos presentados en el presente informe pertenecen a un lote de madera de *Pino pinaster* con madera resinada. Estos valores se añadirán a los valores característicos de madera de *Pino pinaster* obtenidos para otras procedencias y serán llevados al comité de Normalización Español, para su inclusión en la Normativa de Clasificación de madera estructural.

4. METODOLOGÍA

4.1 Muestra de madera

Con el objeto de poder evaluar la calidad de la madera resinada de *Pino pinaster* se estableció 1 única zona de muestreo con un doble objetivo:

- 1- Hacer una comparativa valida en las propiedades mecánicas de madera resinada y no resinada.
- 2- Obtener valores característicos para esa madera que permitan complementar la Caracterización de *Pino pinaster* a nivel nacional e incluir la madera resinada en la normativa de madera estructural.

Para encontrar esta zona optima, se analizaron varias posibilidades de corta de madera en las provincias de Segovia y Soria. Finalmente se eligió el Monte de Tardelcuende en Soria. Ya que en este monte se daban las siguientes características necesarias para el estudio:

- ✦ Presencia de árboles resinados con las 5 caras abiertas (es decir unos 20 años en resinación)

- ✚ Presencia de árboles sin resinar.
- ✚ Se había licitado su corta y tenía un adjudicatario de la madera.

Una vez determinada la zona, se acudió al monte con los agentes medio ambientales de la Junta de Castilla y León, y se seleccionaron, marcaron y midieron diámetros de los árboles que formarían parte del estudio. Finalmente se seleccionaron 10 árboles resinados y 18 árboles sin resinar.

Las tareas realizadas durante esta fase de muestreo fueron:

- ✚ Selección de Zona del estudio que contuviera madera resinada y no resinada. Se buscaron árboles resinados con 5 caras abiertas. También se optó por una zona cuya corta estuviera adjudicada(lo cual simplificaba los trámites administrativos)
- ✚ Señalamiento conjuntamente con los agentes ambientales de La Junta de Castilla y León de los arboles empleados en el estudio..
- ✚ Toma de datos dasométricos de los pies seleccionados: diámetro normal.
- ✚ Apeo y tronzado de árboles según las pautas establecidas en gabinete.
- ✚ Marcado de trozas en testa. Para asegurar la trazabilidad de la madera se codificaron las trozas. El código indicaba el número de árbol, si era resinado o no resinado y el número de troza dentro de árbol.
- ✚ Transporte de madera en rollo a aserradero.

Figura 3: Foto de selección y medición de árboles:



Figura 4: Foto de corta, troceado y medición de troza:



Figura 5: Foto de troceado del fuste.



Figura 6: Foto de saca de trozas mediante autocargador



Figura 7: Foto carga de trozas en camión para su transporte a serrería.



4.2 Clasificación de madera en rollo.

Previamente a los trabajos de aserrado se realizaron pruebas de clasificación visual de las trozas. Se midieron los diámetros tanto en punta gruesa como en punta delgada y la longitud de la troza.

Figura 8: Foto medición y clasificación de trozas.



4.3 Aserrado de la madera.

Toda la madera fue transportada a las instalaciones de la empresa Maderas Jose Felix Sanz, industria de primera transformación de la madera, especializada en el aserrado de pino pinaster para embalaje y uso estructural.

Toda la madera fue aserrada según las pautas establecidas en gabinete y reflejadas en el marcaje de cada troza (Nº de árbol, si es árbol resinado o no resinado, nº de troza y nº de pieza obtenida de la troza). Finalmente se obtuvo la siguiente muestra, ver tabla 1.

Figura 9: Foto trozas con código de identificación en cadena, durante el proceso de aserrado:



Figura 10: Foto obtención de tablones sin cantar en el proceso de aserrado



TABLA 1: DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS ZONAS DE MUESTREO

Procedencia	Aserradero	Muestras	Nº	Anchura nominal h (mm)	Grosor nominal b (mm)	Longitud nominal (mm)
TARDELCUENDE	Jose Felix Sanz	No resinada	50	120	50	3000
		Resinada	50	120	50	3000

La fabricación se realizó siguiendo la metodología tradicional para la obtención de la madera estructural. Toda la madera aserrada fue identificada inmediatamente siguiendo la misma tipificación y códigos que los empleados en troza.

4.4 Transporte y acondicionado

Una vez fabricado el material de ensayo se transportó hasta el laboratorio especializado de Cesefor, momento en el que se aseguró nuevamente la identificación de las piezas.

Por otra parte la normativa europea de ensayo UNE-EN 408 indica que la madera se debe acondicionar en cámara de acondicionado bajo condiciones controladas, $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ y $(65 \pm 5) \%$ de temperatura y humedad respectivamente.

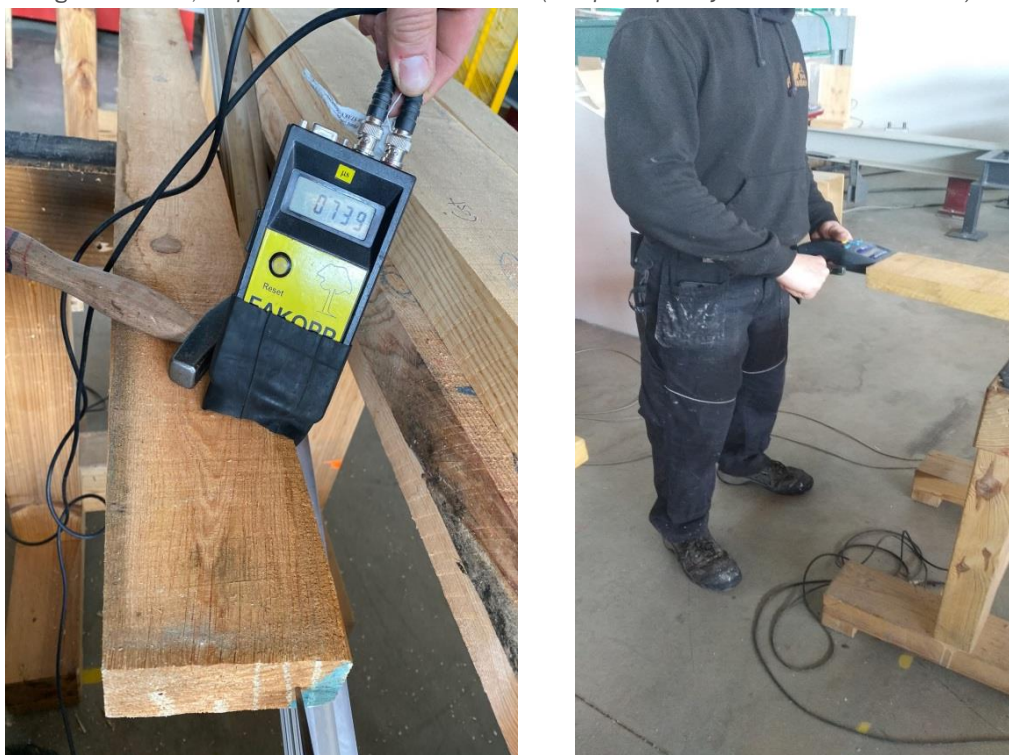
En este caso antes de procederse al ensayo, las probetas se acondicionaron bajo techado, hasta que alcanzaron humedades en torno al 12%.

Se consideró que una probeta está acondicionada cuando llegó a una masa constante. Se considera que se ha alcanzado masa constante cuando dos pesadas sucesivas realizadas en un intervalo de 6 h, no diferencia en más de 0,1% de la masa de la probeta.

4.5 Clasificación mediante Técnicas No Destructivas de madera aserrada acondicionada

Inmediatamente después del acondicionado y previamente al ensayo a flexión se procedió a la clasificación de la madera aserrada mediante las técnicas no destructivas seleccionadas. Cada pieza de madera fue además pesada con el objeto de determinar su humedad y densidad.

Figura 11: Foto, empleo métodos no destructivos (tiempo de paso y medición de frecuencia)



4.6 Clasificación visual de vigas

En la siguiente fase se clasificaron visualmente las piezas midiendo las diferentes singularidades que presentaba la madera en su zona crítica (zona central). También se controlaron en la longitud total de las piezas aquellas singularidades que más influyen en la resistencia de la madera (nudos de cara y nudos de canto). Las singularidades controladas fueron:

- ✎ Tamaño de nudos aislados en la cara.
- ✎ Tamaño de los nudos agrupados en la cara.
- ✎ Tamaño de nudos aislados en canto.

- ✦ Tamaño de nudos agrupados en el canto.
- ✦ Tamaño de los anillos de crecimiento.
- ✦ Desviación general de la fibra.
- ✦ Longitud y profundidad de las fendas.
- ✦ Presencia de acebolladuras, o fendas ocasionadas por rayos, abatimientos, etc.
- ✦ Presencia de medula.
- ✦ Presencia y dimensión de las gemas.
- ✦ Deformaciones.
- ✦ Presencia de pudriciones y/o alteraciones biológicas.
- ✦ Presencia de madera de reacción.
- ✦ Presencia de daños por mecanizado.
- ✦ La zona crítica se considera la zona comprendida entre los dos puntos de carga.

El método utilizado para la clasificación visual queda reflejado en el anexo 1 del presente documento, que corresponde con la metodología establecida en la norma española UNE 56544.

Figura 12: Foto Medición de singularidades de la madera.



4.7 Ensayos

4.7.1 Ensayos a flexión

El protocolo de ensayo se realizó según la norma UNE-EN 408.

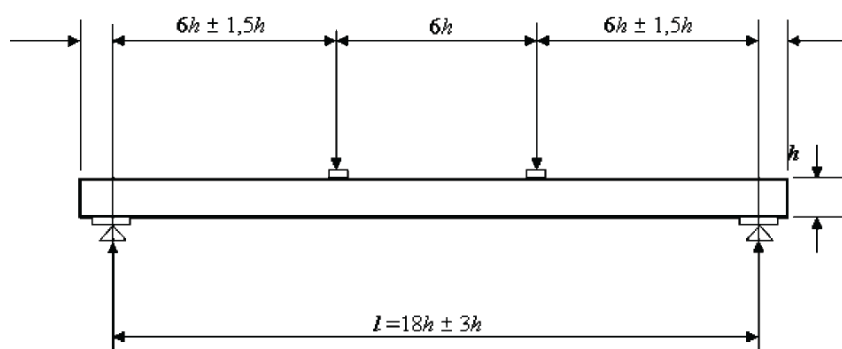
Cesefor dispone en su laboratorio de un Marco de ensayos Sitenor2001, con capacidad de 50 toneladas de fuerza y dotada de dos extensómetros para la medición en modo continuo, de la flecha de las vigas durante el ensayo.

Los ensayos mecánicos tuvieron por objeto determinar los siguientes parámetros: módulo de elasticidad global, módulo de elasticidad local, y resistencia a la flexión, que junto con la densidad son los parámetros que determinan los valores característicos estructurales de la madera.

La longitud de cada una de las piezas fue al menos de 19 veces el alto (cara o anchura), tal y como establece la norma UNE-EN 408.

El procedimiento del ensayo se inició con la colocación de la probeta en la maquina universal de ensayos. La pieza se apoya sobre dos puntos con una luz igual a 18 veces la altura de la pieza. La pieza se carga mediante a dos punto, simétricamente colocados en los tercios de la luz y por lo tanto con separación entre apoyos de seis veces la altura de la pieza, (ver figura 13)

Figura 13: Detalle acotado del ensayo.



Fuente: Norma UNE-EN 408.

Para la evaluación de la elasticidad se relaciona la flecha con la carga producida. El módulo de elasticidad global mide la flecha de la pieza con respecto a su eje longitudinal inicial, medido en la parte central. En cambio el módulo de elasticidad local mide la flecha de la línea

neutra de la pieza (parte de la pieza donde los momentos de carga son similares), es decir, la flecha producida en la longitud de la pieza contenida dentro de los puntos de carga.

En el presente trabajo, se optó por medir tanto el módulo de elasticidad local como el global, controlando y analizando ambos parámetros de rigidez. El módulo de elasticidad global se utilizó principalmente para el estudio del comportamiento de las diferentes Técnicas No Destructivas utilizadas.

En ambos casos la deformación se midió mediante la utilización de extensómetros. Para el módulo de elasticidad global el extensómetro se colocó en el centro de la pieza, en la parte inferior (cara traccionada). Para el módulo elasticidad local, primero fue necesario colocar una percha en uno de sus cantos, soportada sobre unos tornillos puestos en la línea neutra (formando un segmento de longitud igual a 5 veces en ancho de la probeta).

Una vez colocados todos los dispositivos, se comenzó a ejercer lentamente la presión, siempre con una velocidad constante. La norma UNE-EN 408 establece que la velocidad no debe superar en ningún momento los 0,003 h mm/s, criterio que se cumplió en todos los casos. La presión se mantuvo hasta alcanzar una carga (dentro del tramo elástico del material) suficiente para obtener las gráficas de deformación-fuerza necesarias para los cálculos de los módulos de elasticidad global y local, para lo cual los dispositivos se mantuvieron hasta superar $0,5 F_{max,est}$, siendo $F_{max,est}$ la fuerza máxima estimada.

Posteriormente se retiraron ambos extensómetros y se continuó hasta la rotura de la probeta, momento en el que se anotó la F_{max} (carga de rotura), el tiempo de duración del ensayo, y el motivo y la localización de la rotura.

Una vez rota la viga se clasificó visualmente la sección de rotura, midiendo y caracterizando la singularidad que produjo la rotura.

4.7.2 Ensayo de determinación de humedad y densidad

Posteriormente se procedió a extraer una rebanada de sección completa lo más próxima al punto de rotura y libre de defectos, tales como nudos, entrecascos, bolsas de resina, etc. Para ello se hizo uso de una motosierra eléctrica así como de una escuadradora. El grosor de dicha rebanada fue aproximadamente de unos 5 cm.

Cada rebanada fue identificada con el número de la viga de la que provenían.

Se midieron todas las dimensiones de la pieza (longitud, anchura y espesor), para así obtener el volumen de la pieza. Posteriormente se obtuvo el peso real a la humedad en que se realizó el ensayo, haciendo uso de una balanza analítica de precisión. A continuación se introdujeron las rebanadas en estufas de secado a 100° C de temperatura. Al cabo de 24 horas se extrajeron y se pesaron nuevamente las probetas, y así sucesivamente a intervalos de 2 horas de duración, hasta que alcanzaron una masa constante, momento en el cual se consideró que la probeta había alcanzado el peso anhidro. Esto se consigue cuando la diferencia

de masa entre dos pesadas sucesivas sea menor del 0,1%, Todo ello se realizó conforme a la norma EN 13183-1.

4.8 Determinación de parámetros

A continuación se procedió a la determinación en cada probeta ensayada de la resistencia a flexión, módulo de elasticidad local, módulo de elasticidad global y densidad. Esto se hizo conforme a lo establecido en las normas UNE-EN 408 y UNE-EN 384.

Los resultados obtenidos fueron a su vez ajustados a los términos de referencia que la norma UNE-EN 384 establece, dimensiones de la pieza y humedad.

Para ello inicialmente se procedió a la determinación de la humedad de cada probeta. El contenido de humedad, medido en porcentaje de humedad, se obtuvo aplicando la siguiente expresión:

$$u = \left(\frac{P_u - P_0}{P_0} \right) 100$$

Donde:

u es el contenido de humedad de la probeta en %.

P_u es el peso real de la probeta, en g, en el momento del ensayo a un contenido de humedad u .

P_0 es el peso anhidro de la probeta, en g.

Reseñar que no se detectaron piezas con contenidos de humedad inferiores al 8%, ni tampoco superiores al 18%.

4.8.1 Resistencia a la flexión

La resistencia a flexión estática (f_m), en N/mm², se obtuvo, tal y como define la norma UNE-EN 408, mediante la siguiente expresión:

$$f_m = \frac{3Fa}{bh^2}$$

Donde:

- ✦ F es la carga, en N.
- ✦ a es la distancia entre un punto de carga y el apoyo más próximo, en mm.
- ✦ b es el ancho de la sección de la pieza, o la menor dimensión de la sección transversal de la pieza, en mm.
- ✦ h es la altura de la sección de la pieza, o la mayor dimensión de la sección transversal de la pieza, en mm.

Por su parte la norma UNE-EN 384 establece unas condiciones de referencia para la resistencia a flexión que se corresponden con un canto de 150 mm, estableciendo un factor de corrección para todas aquellas piezas que presenten un canto menor de 150 mm y una densidad menor de 700 Kg/m³. Motivo por el cual a todas las piezas que cumplieran ambos criterios se les aplico el siguiente factor de corrección (k_h):

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \right. \\ \left. 1,3 \right\}$$

Donde:

- ✦ h es la altura de la sección de la pieza, o la mayor dimensión de la sección transversal de la pieza, en mm.

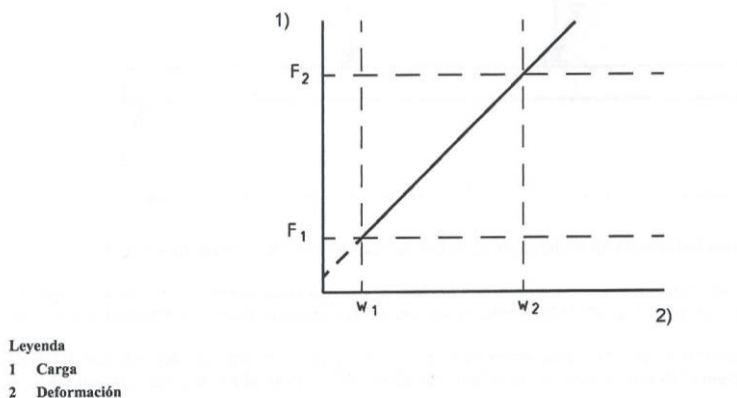
Conviene reseñar que la metodología de ensayo está concebida para obtener una rotura en el tercio central de la pieza, es decir en la sección de la pieza que queda dentro de los puntos de carga y donde mayor es el momento flector, hecho que facilita a posteriori la determinación de la resistencia a flexión estática de cada pieza. Es por ello, que aquellas roturas que se produjeron fuera del tercio central, fueron controladas y anotadas midiendo su distancia al punto de carga más próximo.

Por otra parte no resulta necesario ningún tipo de corrección por el contenido de humedad para la resistencia a flexión.

4.8.2 Módulo de elasticidad local en flexión

A partir de los valores de deformación-carga obtenidos para el módulo de elasticidad local, ver figura 13, se analiza el tramo comprendido entre el 0,1 y 0,4 F_{max} (fuerza máxima de carga). En este tramo se obtiene la pendiente de la recta Fuerza/deformación.

Figura 14: Gráfico de carga-deformación dentro de los márgenes de deformación elástica.



Fuente: Norma UNE-EN 408.

El módulo de elasticidad local en flexión ($E_{m.local}$) se obtuvo, tal y como define la norma UNE-EN 408, mediante la siguiente expresión:

$$E_{m.local} = \frac{al_1^2(F_2 - F_1)}{16I(w_2 - w_1)}$$

Donde:

- ↗ $F_2 - F_1 / w_2 - w_1$ es la pendiente de la recta Fuerza/Deformación en el tramo 0,1 a 0,4 de la fuerza total.
- ↗ l_1 es la longitud base de medida, en milímetros.
- ↗ a es la distancia entre un punto de carga y el apoyo más próximo en milímetros.
- ↗ I es el momento de inercia en milímetros elevados a la cuarta potencia

Dado que en el presente trabajo se midió el módulo de elasticidad local en flexión en todas las piezas ensayadas, se consideró este como módulo de elasticidad paralelo a la fibra (E_0), parámetro a considerar en el proceso obtención de la sistemática de clasificación visual (UNE-EN 384). $E_0 = E_{m.local}$

Por su parte la norma UNE-EN 384 establece la necesidad de corregir el valor del módulo de elasticidad paralelo a la fibra en aquellos casos que no se cumplan las condiciones de humedad de referencia (probetas con una humedad del 12%). La corrección propuesta por dicha norma es de un 1% por cada variación del 1% del contenido de humedad.

$$E_0 = E_0(u)(1 + 0,005(u - u_{ref}))$$

Donde:

- ↗ E_0 es la densidad.
- ↗ u es el contenido de humedad en el momento del ensayo (habitualmente comprendido entre el 8% y el 18%).
- ↗ u_{ref} es el contenido de humedad de referencia, igual al 12%.

4.8.3 Módulo de elasticidad global a flexión

El módulo de elasticidad global en flexión ($E_{m,global}$) se obtuvo, tal y como define la norma UNE-EN 408, mediante la siguiente expresión:

$$E_{m,global} = \frac{3al^3 - 4a^3}{2bh^3 \left(2 \frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} - \frac{6a}{5Gb h} \right)}$$

Donde:

- ↗ $F_2 - F_1 / w_2 - w_1$ es la pendiente de la recta Fuerza/Deformación en el tramo 0,1 a 0,4 de la fuerza total.
- ↗ l es la luz en flexión en milímetros.
- ↗ b es el ancho de la sección de la pieza, o la menor dimensión de la sección transversal de la pieza, en milímetros.
- ↗ h es la altura de la sección de la pieza, o la mayor dimensión de la sección transversal de la pieza, en milímetros.
- ↗ a es la distancia entre un punto de carga y el apoyo más próximo en milímetros.

- ✦ G es el módulo de elasticidad transversal, en newtons por milímetros cuadrado. Al utilizar este valor como mecanismo futuro de determinación de clase resistente a través de clasificaciones mecánicas será considerado como infinito, tal y como indica la norma UNE-EN 408.

El procedimiento para la obtención de las gráficas de carga y deformación fue similar al desarrollado en el módulo de elasticidad local. Es por ello que no se procedió a su conversión en un módulo de elasticidad paralela a la fibra. Por el contrario si se procedió a llevar a cabo un reajuste a la humedad de referencia siguiendo la misma metodología que la aplicada para el módulo de elasticidad local.

Reseñar que este parámetro únicamente se consideró para los análisis de comportamiento de predicción de las propiedades mecánicas de las Técnicas No Destructivas utilizadas.

4.8.4 Densidad

Uno de los parámetros característicos de la resistencia en la madera es la densidad normal (con humedad al 12%) estimada por el cociente peso/volumen medido a la humedad presente durante el ensayo en las condiciones del laboratorio y corregida al 12% de humedad.

A partir del volumen y del peso se calculó la densidad a una determinada humedad que más adelante fue corregida a una humedad de referencia del 12%, tal y como establece la norma UNE-EN 384. Para ello se aplicó un factor de corrección del 0,5% por cada 1% de desviación de la humedad con respecto al 12%.

$$\rho = \rho(u)(1 - 0,005(u - u_{ref}))$$

Donde:

- ✦ ρ es la densidad.
- ✦ u es el contenido de humedad en el momento del ensayo (habitualmente comprendido entre el 8% y el 18%).
- ✦ u_{ref} es el contenido de humedad de referencia, igual al 12%.

4.9 Análisis de datos y obtención de calidad visual y clase resistente

Para la obtención de los valores representativos de la muestra de madera y el posterior cálculo de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad de una población definida con una calidad visual se siguió el proceso marcado en la norma UNE-EN 384.

Todo este proceso se realizó siguiendo los siguientes pasos:

- ✚ Se determinaron y analizaron las distribuciones de los valores obtenidos respecto a las variables caracterizadoras así como de los tamaños de las singularidades de la madera en la muestra ensayada.
- ✚ Se determinaron los valores representativos de la muestra analizada sin reclasificación previa, es decir con la muestra completa.
- ✚ Se estudió el ajuste de las distribuciones de las singularidades controladas con respecto a las calidades visuales ME-1 y ME-2 incluidas en la norma española UNE 56544 y se determinaron los valores representativos para las submuestras clasificadas en dicha Norma.
- ✚ Posteriormente se procedió a analizar las diferentes calidades visuales en las que se determinaron los valores característicos para las submuestras (ME-1 y ME2).
- ✚ Finalmente se evalúa la asignación de una clase resistente a dicha calidad visual siguiendo las premisas establecidas en la norma UNE-EN 338.

De forma específica los valores característicos de la población analizada en este trabajo (submuestras obtenidas de la reclasificación según la Norma UNE 56544) se determinaron de la siguiente forma:

4.9.1 Resistencia a flexión

Para la resistencia a flexión, se determina el 5º percentil de cada submuestra ($f_{05,i}$) siguiendo las indicaciones de la norma UNE-EN 14358. Se siguió la metodología establecida para evaluaciones paramétricas. Inicialmente se analizó para cada submuestra la distribución de los parámetros de resistencia, determinando si su distribución se ajustaba en mayor medida a una distribución logarítmica normal o a una distribución normal. Una vez determinada la distribución más adecuada se siguió el procedimiento de cálculo establecido para el valor medio, el coeficiente de variación y la posterior determinación del percentil 5.

Finalmente, se calculó el valor del 5º percentil de la resistencia de la submuestra i . ($f_{05,i}$)

4.9.2. Módulo de elasticidad

Para el módulo de elasticidad paralelo a la fibra se determinó para cada submuestra el valor medio del módulo de elasticidad $\bar{E}_l$ aplicando la norma UNE-EN 14358.

4.9.3. Densidad

Para la densidad obtenida mediante rodaja fue necesario determinar el 5º percentil de cada submuestra ($\rho_{05,i}$) cumpliendo las indicaciones de la norma UNE-EN 14358, donde se siguió la metodología establecida para evaluaciones paramétricas con distribuciones normales.

4.9.4. Asignación de clases resistentes

Una vez determinados los valores característicos de la muestra ensayada. Los resultados obtenidos, serán tenidos en cuenta para incluir la madera resinada en la Norma española de madera estructural. Estos valores se llevaran al Comité Nacional de Normalización Español, conjuntamente con otras procedencias ensayadas, para que puedan ser incluidos en la Norma UNE EN 56544.

A continuación se procede a asignar clase resistente a nuestra muestra en función de la norma UNE-EN 338 (tabla 4), teniendo en cuenta que no se han aplicado los factores de corrección.

TABLA 2: CLASES RESISTENTES SEGÚN EN 338													
Valores característicos		Coníferas											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Propiedades de resistencia (en N/mm ²)													
Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	7,2	8,5	10	11,5	13	14,5	16,5	19	22,5	26	30	33,5
Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	27	28	30
Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	2,7	2,7	2,8	2,9	3,0
Cortante	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Propiedades de rigidez (en kN/mm ²)													

Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
Módulo de elasticidad paralelo 5º percentil	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,1	10,7
Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
Módulo de elasticidad transversal medio	G_{mean}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Densidad (en kg/m³)													
Densidad característica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	360	380	390	400	410	430
Densidad media	ρ_{mean}	350	370	380	400	410	420	430	460	470	480	490	520

La norma europea UNE EN 338 establece que a una determinada población (muestra comprendida por una especie, origen y calidad visual) se le puede asignar una clase resistente siempre que el valor característico de resistencia a flexión, de densidad y de módulo de elasticidad paralelo a la fibra cumplan con los requisitos de la clase resistente (ver tabla 2).

Este método permite a posteriori asignar no solo los valores característicos correspondientes a las tres propiedades evaluadas sino también el resto de valores característicos asociados.

5. RESULTADOS

5.1. Descripción de las muestra ensayada

5.1.1 Variables físico-mecánicas

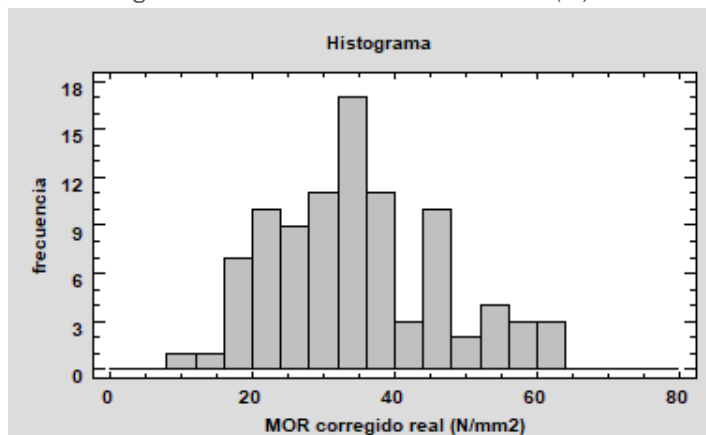
De las 100 piezas analizadas para cada muestra un total de 92 piezas presentan valores completos y 8 presentaron algún problema de pérdida de datos en su ensayo de rotura, derivados principalmente por el golpeo de las piezas tras su rotura.

A continuación se presentan a modo de histogramas los resultados obtenidos en los parámetros físico-mecánicos analizados en el total de la muestra de madera ensayada.

Resistencia a la flexión

El valor característico obtenido de resistencia a la flexión ($f_{m,k}$) en nuestra muestra sin ningún tipo de filtro, correspondiente al percentil 5, es de 17,17 N/mm², se puede observar que el comportamiento a flexión de la muestra en lo que a su resistencia a la flexión esta en torno a los valores Normales de resistencia para Pino pinaster. 88 piezas tiene resistencia a Flexión por encima de 18 N/mm², valor característico de resistencia a la flexión de la clase resistente C18, que es la clase más común en estructuras de madera maciza en Europa.

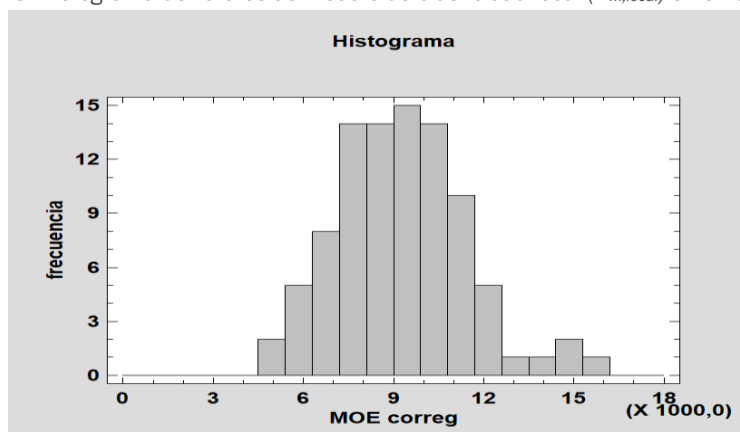
Figura 15: Histograma de valores de resistencia a flexión (f_m) en el total de la muestra.



Módulo de elasticidad local

Respecto al módulo de elasticidad los valores del módulo de elasticidad local que se convierten de manera directa sin correcciones en valores del módulo de elasticidad paralela a la fibra quedan comprendidos entre los 5.000 N/mm² y los 16.000 N/mm² aproximadamente (figura 16). Teniendo en cuenta que el valor característico del módulo de elasticidad paralelo a la fibra se determina mediante su valor medio, que el valor característico de la clase resistente C14 es 7.500 N/mm², y que la muestra presenta hasta 69 piezas (70,5 % de la muestra total) con valores inferiores a 7.500 N/mm², se puede concluir que el comportamiento frente a la rigidez en flexión paralela a la fibra es del mismo modo muy bajo.

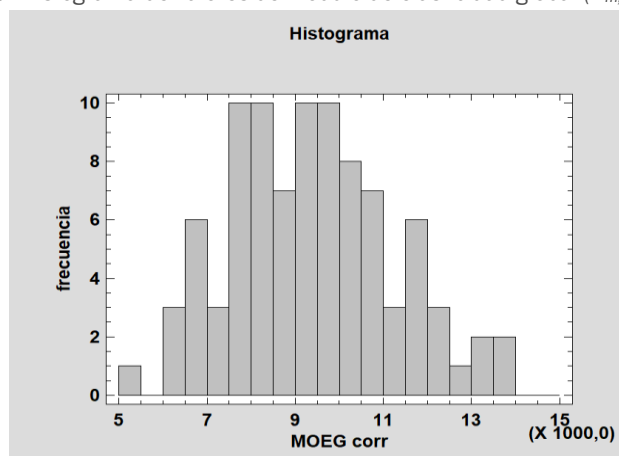
Figura 16: Histograma de valores de módulo de elasticidad local ($E_{m,local}$) en el total de la muestra.



Módulo de elasticidad global

Se reflejan también valores del módulo de elasticidad global (figura 17) que serán posteriormente utilizados para los modelos de predicción de las propiedades mecánicas a partir de las Técnicas No Destructivas utilizadas. Al no ser una variable caracterizadora no se hace un análisis de sus rendimientos.

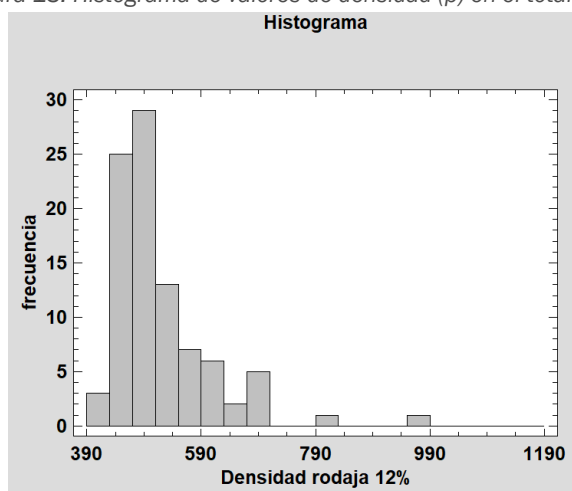
Figura 17: Histograma de valores de módulo de elasticidad global ($E_{m,global}$) de la muestra.



Densidad

Del mismo modo la densidad presenta valores normales para pino pinaster, correspondiente con una clase de C27, obtenida a partir de una densidad característica determinada mediante el percentil 5, de 363,05 kg/m³.

Figura 18: Histograma de valores de densidad (ρ) en el total de la muestra.



5.2 Propuestas de calidades visuales

La propuesta de calidad visual para esta muestra está basada en la que nos indica la Norma UNE-EN 56544 para coníferas, donde encontramos las siguientes clases:

ME 1 (clase estructural de mejores prestaciones)

ME 2 (clase estructural de peores prestaciones)

Rechazo (no se permite para uso estructural)

A continuación se presentan los criterios de clasificación visual determinados en la Norma UNE 56544.

Figura 19: Criterios de clasificación visual ME1 y ME2 para coníferas, según UNE 56544

CRITERIOS DE CALIDAD		ME-1	ME-2
DIÁMETRO DE LOS NUDOS SOBRE LA CARA (h)		$d \leq 1/5$ de "h"	$d \leq 1/2$ de "h"
DIÁMETRO DE LOS NUDOS SOBRE EL CANTO (b)		$d \leq 1/2$ de "b" y $d \leq 30$ mm	$d \leq 2/3$ de "b"
ANCHURA MÁXIMA DEL ANILLO DE CRECIMIENTO ⁽¹⁾			
– Pino silvestre		≤ 4 mm	Sin limitación
– Pino laricio		≤ 5 mm	Sin limitación
– Pino gallego y pinaster		≤ 8 mm	Sin limitación
– Pino insignie (radiata)		≤ 10 mm	Sin limitación
FENDAS	De secado ^{(2) (3)}	$f \leq 2/5$	$f \leq 3/5$
		Las fendas de secado sólo se consideran si su longitud es mayor que la menor de las dimensiones siguientes: 1/4 de la longitud de la pieza y 1 m.	
	– Rayo – Heladura – Abatimiento	No permitidas	
ACEBOLLADURAS		No permitidas	
BOLSAS DE RESINA y ENTRECASCO		Se admiten si su longitud es menor o igual que 1,5·"h"	
MADERA DE COMPRESIÓN		Admisible en 1/5 de la sección o de la superficie externa de la pieza	Admisible en 2/5 de la sección o de la superficie externa de la pieza
DESVIACIÓN DE LA FIBRA		1:10 (10%)	1:6 (16,7%)
GEMAS			
– longitud		$\leq 1/4$ de "L"	$\leq 1/3$ de "L"
– dimensión relativa		$g \leq 1/4$	$g \leq 1/3$
MÉDULA ⁽¹⁾		Admitida No admitida si se clasifica en húmedo	Admitida
ALTERACIONES BIOLÓGICAS			
– Muérdago (<i>V. album</i>)		– No se admite	
– Azulado		– Se admite	
– Pudrición		– No se admite	
– Galerías de insectos xilófagos		– No se admiten	
DEFORMACIONES MÁXIMAS ^{(2) (3) (4)}			
– Curvatura de cara		10 mm (para una longitud de 2 m)	20 mm (para una longitud de 2 m)
– Curvatura de canto		8 mm (para una longitud de 2 m)	12 mm (para una longitud de 2 m)
– Alabeo		1 mm (por cada 25 mm de "h") (para una longitud de 2 m)	2 mm (por cada 25 mm de "h") (para una longitud de 2 m)
– Abarquillado		sin limitación	sin limitación
(1) Estos criterios sólo se consideran cuando se comercializa en húmedo.			
(2) Estos criterios no se consideran cuando la clasificación se efectúa en húmedo.			
(3) Referidas a un 20% de contenido de humedad.			
(4) Pueden aceptarse deformaciones mayores siempre que no afecten a la estabilidad de la construcción (porque puedan corregirse durante la fase del montaje) y exista acuerdo expreso al respecto entre el suministrador y el cliente.			

Para cada calidad visual se reclasificó la muestra y se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA 3: DISTRIBUCIÓN DE PIEZAS SEGÚN CALIDADES				
Lote	Sección	ME-1	ME-2	Rechazos
Pinaster	Nº piezas aceptadas	39	44	9
	$f_{05,i}$	23,84 N/mm ²	17,24 N/mm ²	---
	E_i	9914,50 N/mm ²	8752,77 N/mm ²	----
	$\rho_{05,i}$	383,28 kg/m ³	381,72 Kg/m ³	---
	Clase resistente	C-22	C-16	--

Como se puede observar en la tabla 9, para las piezas clasificadas como ME-1, se obtiene un valor característico de resistencia a flexión de 23,84 N/mm². Valor correspondiente a una clase resistente **C-22**, pero muy cercano a la C-24 (según la UNE EN 338)

Para las piezas clasificadas visualmente como ME-2, se obtiene un valor característico de resistencia a flexión de 17,24 N/mm², valor correspondiente a una clase resistente **C16**, pero muy cercano a la clase C-18 (según UNE EN 338)

Con todo ello se puede concluir que la muestra analizada de Pinus pinaster, **incluyendo madera resinada**, se encuentra dentro de los valores Normales, para la madera de pino pinaster de procedencia española.

Estos lotes de madera ensayados en este trabajo serán incluidos en la muestra global nacional, para actualizar la Norma UNE 56544, en próximos comités de Normalización.

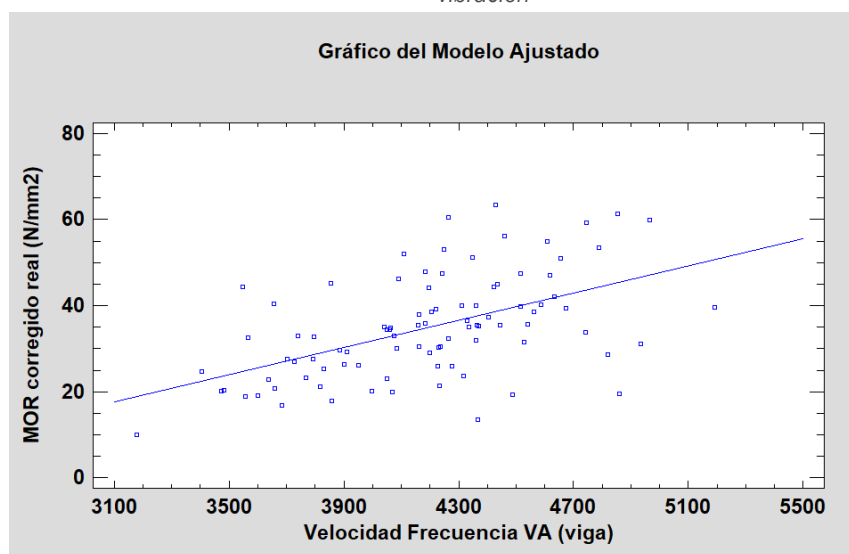
5.3 Comportamiento de las Técnicas No Destructivas

A continuación se presentan los resultados predictivos de las técnicas no destructivas analizadas:

En primer lugar la medición de la frecuencia de vibración de las viguetas, para ello se han desarrollado modelos de predicción basados en la velocidad de la pieza obtenida a partir de la frecuencia:

Los modelos obtenidos son los siguientes:

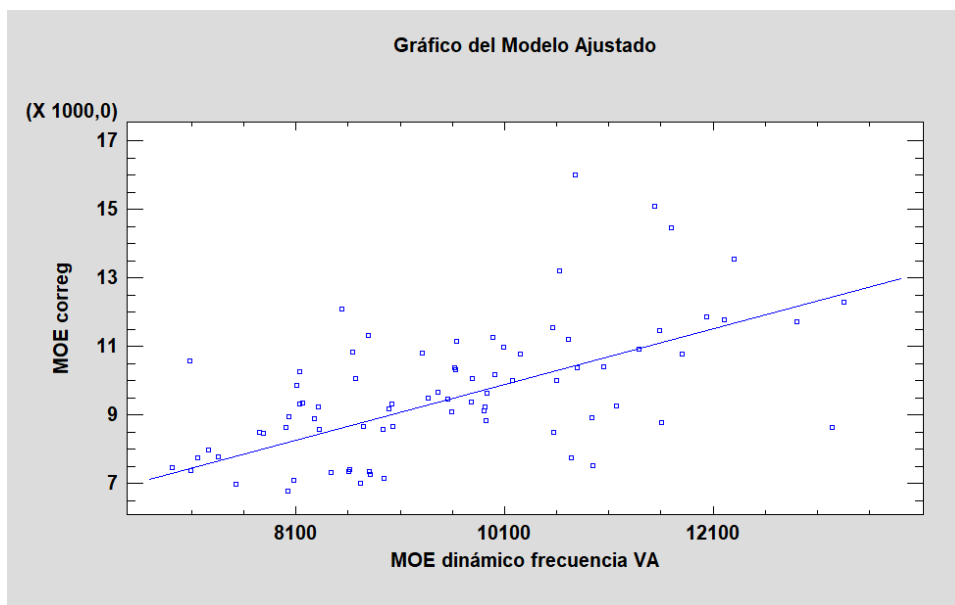
Figura 20: Modelo de regresión obtenido para la resistencia la flexión a partir de la Frecuencia de vibración



$$\text{MOR corregido real (N/mm}^2\text{)} = -30,9289 + 0,015705 \cdot \text{Velocidad Frecuencia VA (viga)}$$

$$R^2: 27,51$$

Figura 21: Modelo de regresión obtenido para el módulo de elasticidad local a partir de la frecuencia de vibración

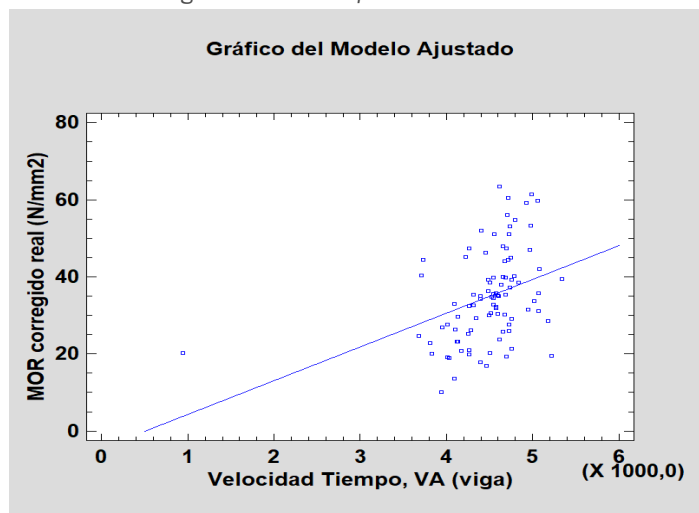


$$\text{MOE correg} = 1659,23 + 0,814885 \cdot \text{MOE dinámico frecuencia VA}$$

$$R^2: 44,09$$

En segundo lugar se analiza la capacidad de predicción de la resistencia y la elasticidad en función del Tiempo de paso de la onda. Para ello se han desarrollado los siguientes modelos estimativos:

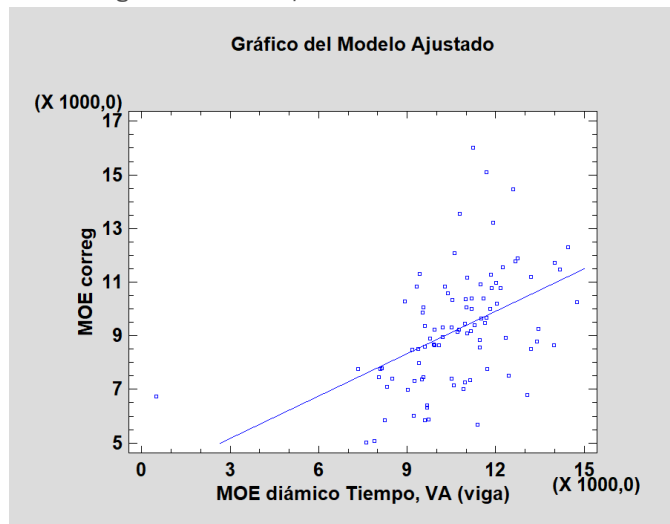
Figura 22: Modelo de regresión obtenido para la Resistencia en Función del tiempo de paso:



$$\text{MOR corregido real (N/mm}^2\text{)} = -4,36534 + 0,00874822 \cdot \text{Velocidad Tiempo, VA (viga)}$$

$$R^2: 14,25$$

Figura 23: Modelo de regresión obtenido para el módulo de elasticidad en función del tiempo de paso:



$$\text{MOE correg} = 3597,03 + 0,527573 \cdot \text{MOE diámico Tiempo, VA}$$

$R^2: 22,75$

Con los resultados obtenidos se puede concluir que la técnica de la medición de la frecuencia de vibración presento mejores resultados de predicción que el tiempo de paso, así mismo se constató que estas técnicas predicen mejor la elasticidad que la resistencia a flexión.

ANEXO 1: SISTEMA DE CLASIFICACIÓN VISUAL

Metodología

Se establecen los métodos de medida de diversas singularidades que presenta la madera aserrada conforme a la Norma Europea UNE EN 1309-3.

Términos y definiciones

Con el objeto de conocer los términos sobre los que es necesario realizar un control visual para determinar la clase resistente, a continuación se describen los mismos:

- ✦ *Madera aserrada*: Pieza de madera obtenida a partir de trozas u otras piezas de madera de mayores dimensiones, por arranque de serrín o partículas en sentido longitudinal, con posibilidad de sufrir un retestado y/o mecanizado suplementario, para obtener el nivel de acabado requerido.
- ✦ *Calidad*: Conjunto de propiedades y características de un producto o servicio que le confieren su aptitud para satisfacer unas necesidades expresadas o implícitas.
- ✦ *Contenido de humedad*: Masa de agua contenida en la madera, expresada en porcentaje respecto a su masa anhidra.
- ✦ *Espesor*: Distancia entre las caras de una pieza de madera aserrada en el punto especificado para la medición.
- ✦ *Anchura*: Distancia entre los cantos de una pieza aserrada en el punto específico para la medición.
- ✦ *Longitud*: La menor distancia entre los extremos de una pieza
- ✦ *Testa*: Extremo de una pieza de madera, plano y perpendicular al eje de la misma.
- ✦ *Cara*: Cualquiera de las superficies longitudinales opuestas, de mayor anchura y longitud de las piezas de madera aserrada. Si la sección es cuadrada, cualquiera de ellas.
- ✦ *Canto*: Cualquiera de las dos superficies longitudinales opuestas más estrechas, en la madera canteada.
- ✦ *Sección*: Superficie de la sección recta transversal de la pieza.
- ✦ *Arista*: Línea de intersección de dos caras o de una cara y un canto.
- ✦ *Singularidad*: Particularidad física, morfológica o anatómica de la madera, capaz de afectar a su utilización.
- ✦ *Gema*: Porción de la superficie de la troza, con o sin corteza, que se manifiesta sobre las cara o cantos de la pieza de la madera aserrada.
- ✦ *Nudo*: Parte de la rama englobada en la madera.

- ✚ *Nudo de cara*: Nudo que se manifiesta sobre una o dos caras.
- ✚ *Nudo de canto*: Nudo que se manifiesta sobre uno o dos cantos.
- ✚ *Nudo en espiga*: Nudo cortado de tal forma que la relación entre sus dimensiones mayor y menor es superior a 1.5 e inferior o igual a 4.
- ✚ *Nudo pasante*: Nudo que se manifiesta en dos superficies opuestas de una pieza de madera aserrada.
- ✚ *Nudos agrupados*: Nudos situados de tal forma que no se recupera la rectitud de la fibra entre dos nudos consecutivos.
- ✚ *Entrecasco*: Corteza incluida total o parcialmente en la madera.
- ✚ *Fibra revirada*: Fibra que sigue un trayecto en espiral alrededor de la médula.
- ✚ *Fibra*: Célula alargada y estrecha de la que está compuesta fundamentalmente la madera.
- ✚ *Dirección de la fibra*: Dirección o disposición general de las fibras.
- ✚ *Desviación de la fibra*: Desviación de la dirección de las fibras respecto al eje longitudinal de la pieza.
- ✚ *Fenda*: Separación de las fibras en el sentido longitudinal.
- ✚ *Fenda pasante*: Fenda que se manifiesta en la testa y en dos puntos de la superficie del tronco.
- ✚ *Acebolladura*: Fenda que sigue la dirección de un anillo de crecimiento.
- ✚ *Médula*: Zona situada en el interior del primer anillo de crecimiento, constituida fundamentalmente de tejido blanco.
- ✚ *Deformación*: Modificación de la forma geométrica de una pieza aserrada originada en su especie y/o secado y/o almacenamiento.
- ✚ *Flecha de la cara*: Deformación de la pieza en el sentido longitudinal sobre un plano perpendicular a la cara.
- ✚ *Flecha de canto*: Deformación de la pieza en el sentido longitudinal sobre un plano perpendicular al canto.
- ✚ *Atejado abarquillado*: Deformación de la pieza en el sentido de su anchura.
- ✚ *Alabeo*: Deformación helicoidal de la pieza en el sentido longitudinal.
- ✚ *Defecto de aserrado*: Irregularidad de la superficie de las piezas debida al aserrado.
- ✚ *Marcas de sierra*: Marcas dejadas por uno de los dientes de sierra que presenta defecto alineado.

Medición de singularidades

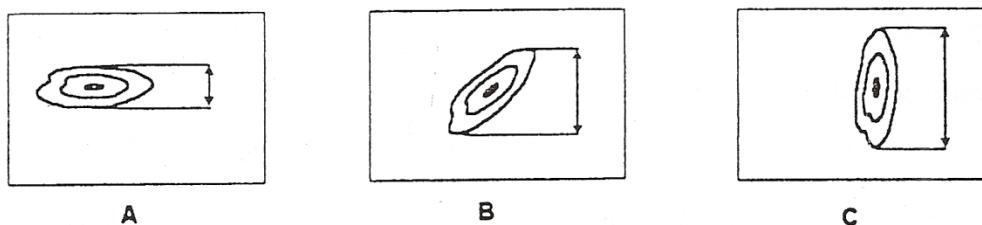
Medición de nudos

El método de medida de los diferentes nudos será el alternativo, tal y como viene establecido en la Norma Europea UNE EN 1310, ver figura 1, 2 y 3 de este Anexo.

El tamaño del nudo será la anchura del nudo o grupo de nudos, medidos perpendicularmente al eje longitudinal de la pieza diferenciando siempre si su presencia es en cara o en canto.

Figura 1: Mediciones de los diferentes tipos de nudo (1: nudos de cara, 2: nudos de canto).

1



2

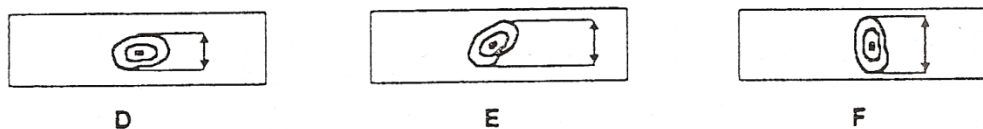


Figura 2: medición nudo de cara

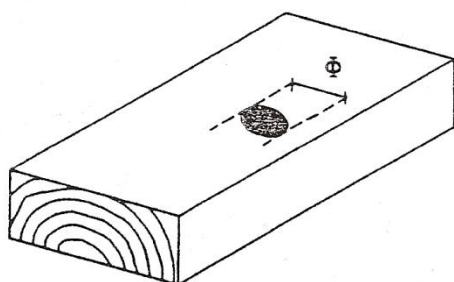
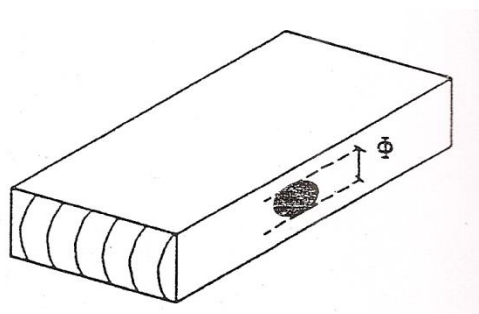


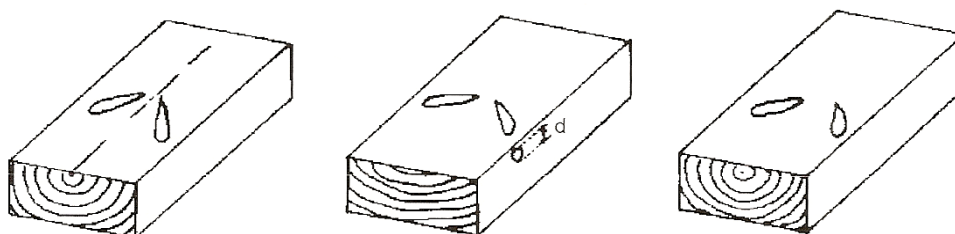
Figura 3: medición nudo de canto



Los nudos con diámetros inferior o igual a 10 mm pueden despreciarse, excepto en los nudos pasantes, aquellos que se manifiestan al menos en dos superficies opuestas.

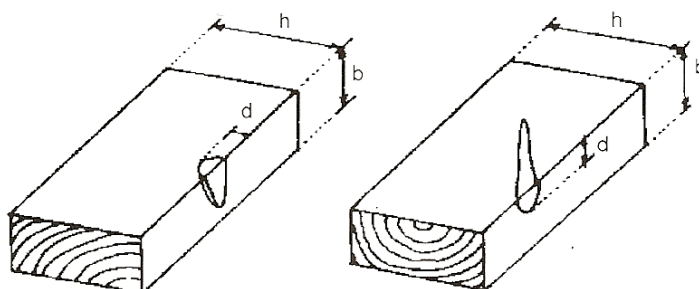
Los nudos superficiales de la cara interna (cara que se encuentre más cerca de la médula) se despreciarán, teniéndolos en cuenta exclusivamente si aparecen en la arista o en el canto (ver figura 4).

Figura 4: Nudos de cara interna, solo en el caso de la figura del centro se mide el nudo y no en la cara sino en el canto.



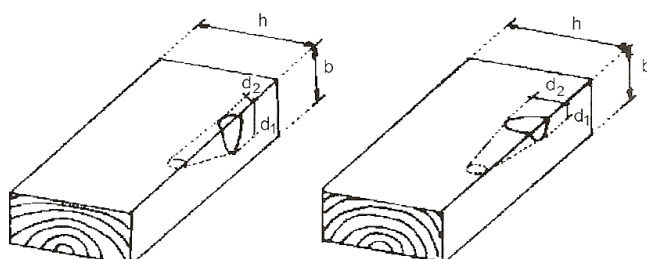
Los nudos que se manifiesten cortados oblicuamente o transversalmente se considerarán únicamente en aquella superficie que los corte más perpendicularmente (ver figura 5).

Figura 5: Medición de nudos cortados oblicuamente o transversalmente con salida perpendicular en cara (imagen izquierda) o canto (imagen derecha)



En caso de duda se medirá el nudo en la cara que resulte más desfavorable, siendo esta la que mayor relación tamaño nudo/tamaño de la cara, ver figura 6..

Figura 6: en el caso de la figura de mano izquierda se medirá el nudo en el canto, mientras que en la de la derecha se medirá en la cara.



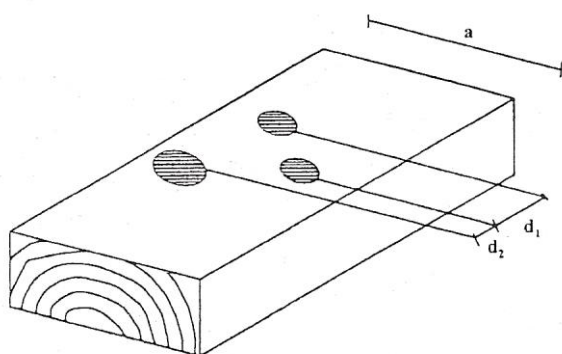
Nudos en cara: d_1/b

Nudos en canto: d_2/h

- Si $d_1/b > d_2/h$ se mide el nudo en el canto
- Si $d_2/h < d_1/b$ se mide el nudo en la cara

Se llamarán nudos agrupados a aquel grupo de nudos que se encuentren a una distancia en el sentido longitudinal de la pieza menor de la longitud del canto o menor de 150 mm para piezas con un canto mayor a este (la distancia se toma desde los centros de los nudos que ocupan los extremos), ver figura 7.

Figura 7: Nudos agrupados



Si $a < 150$ mm

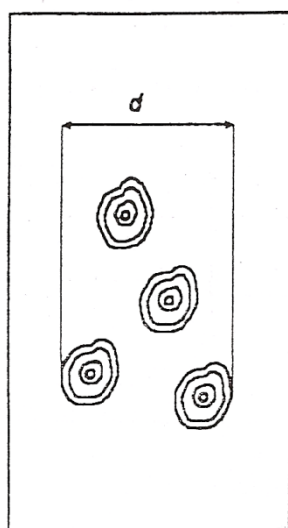
y $(d_1 + d_2 \leq a)$ entonces se pueden tomar como nudos agrupados.

Si $a > 150$ mm

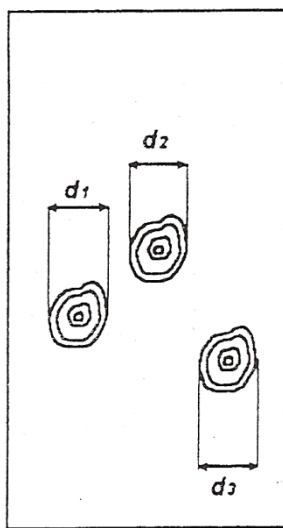
y $(d_1 + d_2 \leq 150$ mm) entonces se pueden tomar como nudos agrupados

La medición de los nudos agrupados se realizara sumando sus dimensiones, excepto en el caso que las mismas se superpongan, tomándose como un único nudo, ver figura 8.

Figura 8: Nudos agrupados cuyas proyecciones en el sentido longitudinal se superponen (caso A) y que no se superponen (caso B).



A



B

Caso A:

Nudos agrupados = d

Caso B

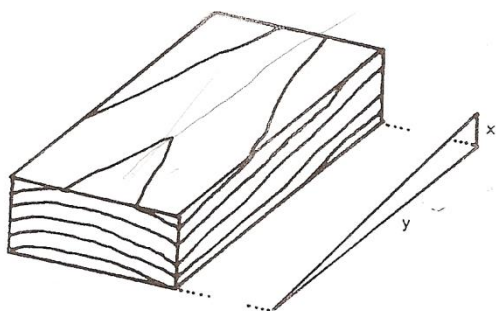
Nudos agrupados = $d_1 + d_2 + d_3$

Se tomará como valor limitante para su clasificación la anchura medida perpendicularmente al eje longitudinal de la pieza de aquel nudo o grupo de nudos que presenten un mayor valor en esta dirección, tanto para las caras como para los cantos.

Desviación de la fibra

Se utilizará una regla milimétrica rígida con la que se trazará una línea en la dirección presumible de la fibra (véase figura 9).

Figura 9: Desviación de la fibra.



El cálculo en porcentaje de la desviación de la fibra se obtendrá con la siguiente fórmula:

$$\frac{x}{y} * 100$$

Donde:

x es la desviación de la fibra, en milímetros.

y es la longitud sobre la que se ha efectuado la medida, en milímetros.

Es necesaria únicamente la evaluación de la desviación general tomando la desviación producida en 1 m de la longitud.

Las desviaciones locales de las fibras alrededor de los nudos o de otros defectos, no deben considerarse en la medición de la desviación de la fibra.

Se tomará como valor limitante para su clasificación la mayor desviación de la fibra detectada.

En caso de clasificar madera en seco la desviación de la fibra se medirá sobre las fendas de secado que hayan aparecido, ya que es el indicador más fiable para el control de la misma.

Tasa de crecimiento

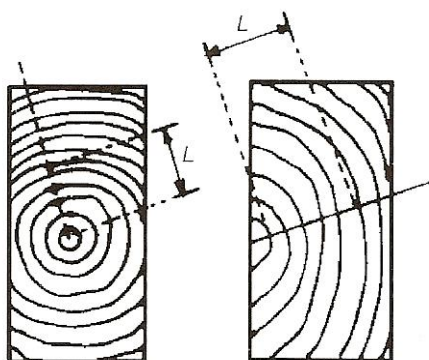
Se evaluará en función de la anchura máxima de segmento recto más largo que se pueda trazar

anillo, que se determinará en el perpendicularmente a los anillos de

crecimiento y que atraviesa a la pieza transversalmente.

La medida comenzará en el extremo más cercano a la médula, determinándose el valor medio de la anchura de los primeros cinco anillos de crecimiento. Si la médula no estuviera presente, se medirá los cinco primeros anillos de crecimiento del lado más cercano a la médula (véase figura 10).

Figura 10: medición de anchura máxima de los anillos de crecimiento para madera de procedencia española, en testas con presencia de médula y con ausencia de la misma.



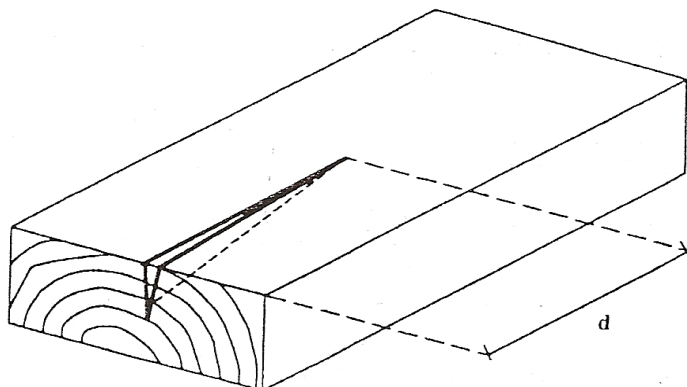
Fendas

Las fendas cuya anchura no supere 1 mm se despreciarán.

Se denomina fenda a toda separación de las fibras (raja o hendidura) en dirección longitudinal, siendo fenda pasante cuando se extienda entre dos superficies opuestas.

Las fendas se medirán a través de su longitud, ver figura 11, siendo ésta la distancia entre dos líneas perpendiculares al eje longitudinal de la pieza que pasen por los extremos de la fenda. Cuando se trate de fendas agrupadas, se mide la longitud total del agrupamiento. Si existen varias fendas, o grupo de fendas, se suman sus longitudes. Expresar el resultado en centímetros o en porcentaje de la longitud de la pieza.

Figura 11: Medición de fendas



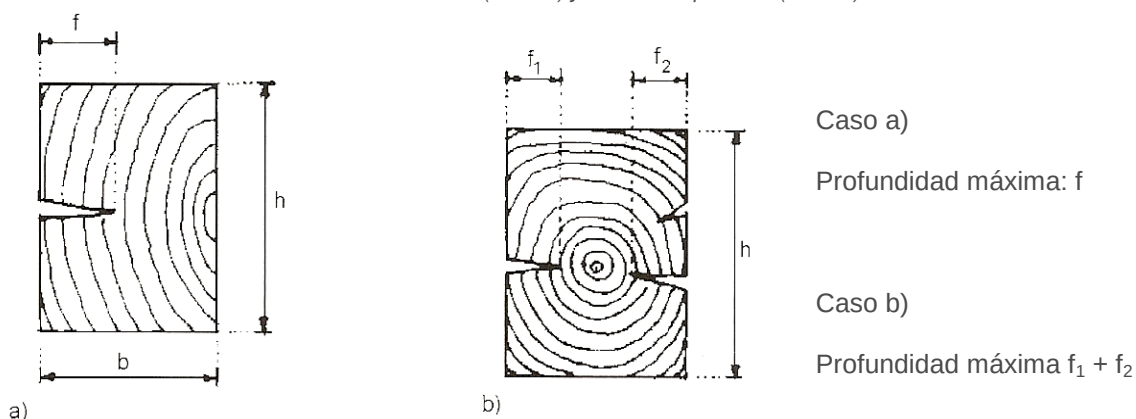
Se utilizará la longitud como valor restrictivo, es la menor de las dos siguientes no se tendrán en

decir fendas con longitudes inferiores a cuenta:

- Clases resistentes iguales a C18 o D18: 1,5 m o $\frac{1}{2}$ de la longitud de la pieza (la que sea la menor)
- Clases resistentes superiores a C18 o D18: 1 m o $\frac{1}{4}$ de la longitud de la pieza (la que sea la menor)
-

A partir de las fendas que superen dichas longitudes se tomará como valor limitante la profundidad máxima de todas las fendas que se hayan tenido en cuenta. En el caso de fendas solapadas en la misma cara, se tomará la de mayor profundidad, en cambio si se dan en caras opuestas se evaluarán sumando las profundidades máximas de cada cara, ver figura 12. Para todas las piezas independientemente de la clase resistente la profundidad máxima admitida es la mitad del grosor de la pieza.

Figura 12: Medición de la profundidad máxima de las fendas en caso de presentarse fendas en una sola cara (caso a) y en caras opuestas (caso b).



Fendas provocadas por heladura, abatimiento, rayo y acebolladuras.

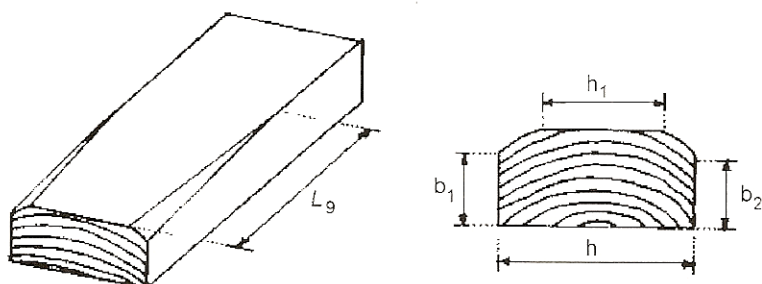
Solo se tendrá en cuenta su presencia.

Gemas

El criterio de clasificación para las gemas será el siguiente.

- Medir longitud de la gema y expresar en centímetros. Si la gema se manifiesta en más de una zona de la arista, sumar las diferentes longitudes (L_g en figura 13).
- Medir la anchura mínima de la pieza detectada, siendo esta la zona donde las gemas son de mayor tamaño, bien una gema individualmente o bien la suma de dos gemas enfrentadas (h_1 en figura 13).
- Medir el grosor mínimo de la pieza detectada del mismo modo que la anchura mínima (b_1 o b_2 en figura 13).

Figura 13: Medición de gemas



Se tomará como valores limitantes para su clasificación:

- La longitud o suma de las longitudes de todas las gemas en caso de que no se superpongan o la longitud total en el caso de agrupamiento, y la máxima anchura detectada (L_g , en figura 13).
- g = máximo entre:

$$\frac{h - h_1}{h} ; \quad \frac{b - b_1}{h} ; \quad \frac{b - b_2}{h}$$

Entrecasco

Se medirán según su longitud (en mm), en la dirección paralela al eje de la pieza, tomándose como valor limitante para su clasificación el mayor valor en longitud que se encuentre a lo largo de la pieza.

Deformaciones

Flecha de cara y flecha de canto

Se medirá siempre sobre dos metros de longitud, utilizando una regla rígida de dos metros, aplicada contra la pieza simétricamente respecto a punto de mayor formación, estimado visualmente. Expresar el resultado en milímetros por cada dos metros (véase dimensión x en la figura 14, y dimensión w en la figura 15).

Figura 14: Medición de la curvatura en cara

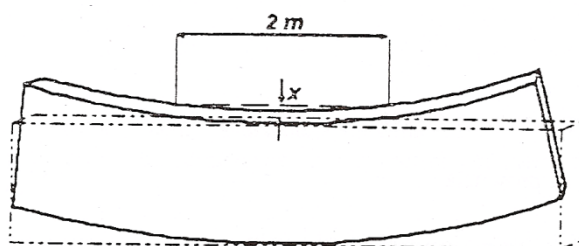
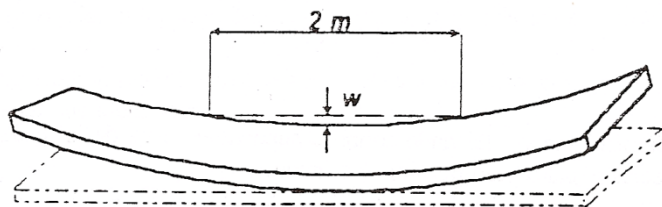


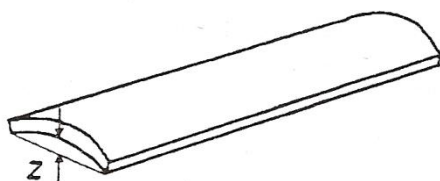
Figura 15: Medición de la curvatura en el canto



Atejado o abarquillado

El atejado mide o indica la deformación máxima de la anchura de la pieza. Se medirá colocando una regla en aquella cara en que se observe el efecto cóncavo de la deformación (véase figura 16). El resultado se expresará en milímetros por cada 25 mm de anchura.

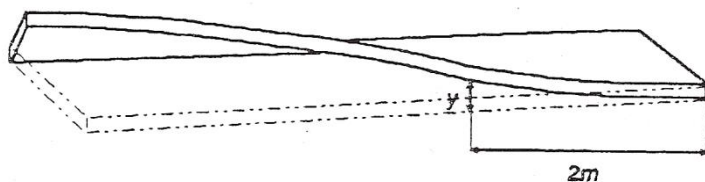
Figura 16: Medición del atejado.



Alabeo

Se medirá siempre sobre dos metros de longitud, utilizando la misma regla rígida de dos metros que se utiliza para medir la flecha en cara y en canto. El resultado se expresará en milímetros por cada dos metros de longitud (véase figura 17), convirtiendo esta cifra a posteriori en milímetros por cada 25 milímetros de anchura de la pieza.

Figura 17: Medición del alabeo.



Alteraciones biológicas

Solo se tendrá en cuenta la presencia o ausencia biológicas: muérdago (*Viscum album*), azulado,

de las siguientes alteraciones pudrición, y galerías de insectos

xilófagos.

Médula

Se detectará si está o no presente en la sección de la pieza.

Daños de mecanizado

Se hará una inspección visual detectando los posibles daños originados en el mecanizado tales como marcas de sierra, ondulado y desprendimientos de madera.

La producción de madera resinada para uso estructural

ANTECEDENTES

Dentro del proyecto SustForest Plus se ha realizado un estudio de la compatibilidad de la madera procedente de árboles resinados, con su empleo como madera estructural.

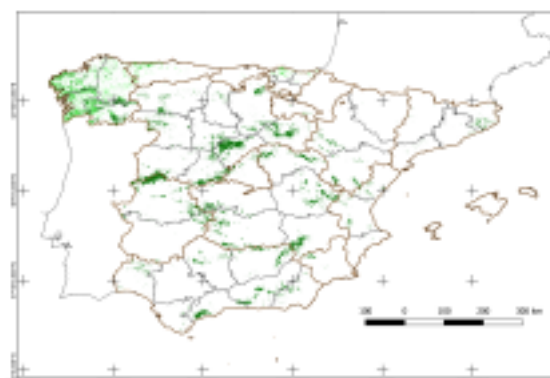
OBJETIVO

Comparar las propiedades físico-mecánicas de madera de *Pinus pinaster* Ait. subsp. *mesogeensis* procedente de árboles resinados frente a madera procedente de árboles sin resinar. Este objetivo general se concreta en:

- Permitir que la madera de pinaster procedente de pinos resinados no quede excluida del mercado de la madera estructural de tal forma que pueda ser incluida en la normativa nacional **UNE 56544** de madera para uso estructural. La UNE 56544, establece el sistema de clasificación visual aplicable a la madera aserrada para uso estructural de sección rectangular de las principales coníferas españolas.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas de la madera de pino pinaster resinado y establecer una comparativa con las propiedades físico-mecánicas de madera de *pinaster* sin resinar.

METODOLOGÍA

- Se buscó un monte que en el mismo rodal (misma calidad de estación) tuviera pinos resinados y pinos sin resinar. Se encontró en el **Monte de Tardelcuende**, en la provincia de Soria (España), un rodal que cumplía este requisito.
- Se aserraron 50 tablas, de dimensiones 50x120x3000 mm, de 10 árboles de *Pinus pinaster* Ait. subsp. *mesogeensis*, que tienen entre 50 y 100 años de edad y han sido resinados durante al menos 25 años en plena producción de resina. Además, como referencia, se seleccionaron y aserraron 17 árboles sin resinar del mismo grupo de edad y región para obtener 50 tablas de las mismas dimensiones.
- Las tablas se dejaron secar bajo cubierta hasta obtener una humedad por debajo del (15%) y posteriormente se clasificaron visualmente según la norma **UNE 56544:2011**, en las clasificaciones visuales **ME-1 y ME-2**. Finalmente, se calculó el contenido de humedad, la densidad, la resistencia a la flexión en 4 puntos (fm), el módulo de elasticidad local (EOL) y global (E0g), siguiendo la norma **UNE-EN 408**. A continuación, se aplicaron técnicas estadísticas para determinar las diferencias entre madera resinada y sin resinar así como los valores físico-mecánicos característicos de la muestra. Los trabajos se realizaron durante 2019.



Mapa distribución *Pinus pinaster* en España

1. Foto de corta, troceado y desramado del fuste.

2. Foto ensayo a flexión según EN 408.

3. Foto medición y señalamiento árboles seleccionados



Foto 1.



Foto 2.



Foto 3.

RESULTADOS:

A continuación se muestra la comparativa en las propiedades físico-mecánicas entre madera procedente de árboles resinados y madera de árboles sin resinar.

TABLA 1: RESULTADOS COMPARACIÓN PROPIEDADES FÍSICAS RESINADAS VS NO RESINADAS

Variable	Unidades	No resinadas	Resinadas
Nº de piezas	--	51	42
Contenido de humedad	%	13,3 (1,4)	13,9 (1,2)
Densidad al 12%	Kg/m ³	481 (38)	565 (106)
Resistencia a Flexión	N/mm ²	35,1(10,2)	34,3 (13,7)
Elasticidad Local	kN/mm ²	9,4 (1,9)	9,1 (2,4)
Elasticidad Global	kN/mm ²	9,6 (1,9)	9,1 (1,7)

En la siguiente tabla, se presentan los resultados obtenidos como valores característicos de la muestra, en las propiedades mecánicas resistencia, densidad y elasticidad. Estos valores servirán para incluir la madera procedente de árboles resinados en la Normativa de Madera estructural UNE 56544:

TABLA 2: VALORES CARACTERÍSTICAS SEGÚN LA CLASIFICACIÓN VISUAL

Lote	Sección	ME-1 (Clase visual prestaciones buenas para uso estructural)	ME-2 (Clase visual prestaciones aptas para uso estructural)	Rechazos (Visualmente no permitida para uso estructural)
Pinaster	Nº Piezas aceptadas	39	44	9
	Resistencia flexión (f05,i)	23,84 N/mm ²	17,24 N/mm ²	--
	Modulo de elasticidad E _i	9914,50 N/mm ²	8752,77 N/mm ²	--
	Densidad p05,i	383,28 kg/m ³	381,72 Kg/m ³	--
	Clase resistente por resistencia	C-22	C-16	--

CONCLUSIONES

- El efecto de la resinación en la madera en árboles resinados no produce pérdidas de las propiedades estructurales de la madera (resistencia y rigidez).
- La densidad de la madera aumenta como consecuencia del proceso de resinación, lo cual puede tener aplicaciones positivas para algunos usos industriales que aprecian mayor densidad como, por ejemplo, suelos para exterior.
- La muestra dio un 41,9% de piezas clasificadas visualmente como ME1, un 47,3% como ME2 y un 9,6% como rechazos, porcentajes normales para las maderas empleadas para uso estructural.
- Los valores característicos obtenidos para la muestra están dentro de los valores normales de resistencia y rigidez para la madera de Pinus pinaster en España.

En general, se puede concluir que tanto la resina y la madera no solo son complementarias, sino que el proceso de resinación podría producir una mejora en ciertos productos de madera, donde la **densidad sea un factor** a tener en cuenta.

AGRADECIMIENTOS

- Servicio Territorial de Medio Ambiente de Soria (Junta de Castilla y León).
- Maderas José Félix Sanz de Diego S.L.
- MASOVA S.L.

www.sust-forest.eu

SOCIOS | PATNERIAES | PROCEBROS | PARTNERS



Proyecto cofinanciado por el Programa Interreg Sudoe a través del Fondo Europeo de Desarrollo