

MADERA ESTRUCTURAL: ESTRATEGIAS PARA SU CLASIFICACIÓN

JUAN I. FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO; M. RAFAEL DÍEZ BARRA; EVA HERMOSO PRIETO; RAFAEL MIER PÉREZ LABORATORIO DE ESTRUCTURAS UNIDAD MIXTA INIA-AITIM CIFOR-INIA CTRA DE LA CORUÑA KM 7, 28040 MADRID GOLFÍN@INIA.ES WWW.INIA.ES WWW.AITIM.ES

Introducción

En los mercados de la UE y, en general, en los de todos los países de un cierto desarrollo se impone día a día una creciente normalización de los productos. En el caso de la madera estructural se recomienda que los lotes de piezas comercializados cumplan una serie de características que veremos a lo largo de este trabajo y que quedan reflejadas en las etiquetas comerciales que deben acompañar a los paquetes de madera.

Para cumplir las recomendaciones citadas, coexisten en la industria dos estrategias distintas de clasificación de la madera aserrada destinada al mercado estructural: la clasificación visual y la clasificación mediante máquinas.

Ambas estrategias tratan de poner en el mercado lotes de madera homogéneos, de calidad conocida y controlada. En ambos casos la clasificación se hace pieza a pieza y la asignación de resistencia se efectúa para el lote, de manera que a todas las piezas de un mismo lote (de una misma combinación especie-calidad) se les asigna la misma clase de resistencia.

Es necesario señalar que dentro de cada uno de los tipos generales de sistemas de clasificación anteriormente mencionados existen múltiples estrategias posibles ya que, por ejemplo, para la clasificación visual existen casi tantas normas posibles como países y para la clasificación por máquina existen al menos media docena de tipos distintos de máquinas funcionando en el mundo.

En el Laboratorio de estructuras del INIA hemos venido trabajando desde mediados de los años 80 en la caracterización estructural de nuestras maderas y en la definición

de métodos eficaces de clasificación de su calidad, tanto visuales como automáticos.

Fruto de estos trabajos, y después de haber roto en nuestros laboratorios unas 10.000 vigas de 2, 3 y 4 metros de longitud, siempre de acuerdo con la normativa europea de ensayo, hemos podido definir no sólo una norma de clasificación visual resistente de nuestras maderas, la UNE 56.544, sino un método de clasificación mecánica mediante el empleo de máquinas que miden de forma no destructiva el módulo de elasticidad de la madera a ritmos de hasta 90 m/min.

Nuestra norma de clasificación, los valores mecánicos asignados a cada una de las combinaciones especie-calidad y los «valores de paso» de las clasificadoras para generar una clasificación adecuada del material, han sido aprobados por el Comité Europeo de Normalización CEN TC124 e introducidos en las normas europeas EN 1912 y EN 14081-4.

De acuerdo con lo anterior podemos afirmar que tanto nuestra norma de clasificación visual como los valores de resistencia por ella establecidos o las asignaciones mecánicas que se producen como consecuencia de la clasificación automática mediante el uso de máquinas, gozan de la misma seguridad y de los mismos criterios generales que en países de larga tradición en construcción con madera como son Alemania, Francia, Austria, etc.

El objetivo de este artículo es exponer los principios generales de los diversos sistemas de clasificación mecánica de la madera y divulgar los valores de resistencia utilizables para las distintas combinaciones especie-calidad que se dan con maderas de conífera españolas.

Conceptos previos

Desde mediados de los años 60, los estudios realizados sobre la resistencia de la madera en dimensiones reales empiezan a poner de manifiesto que los métodos que hasta entonces existían para definir la calidad y la resistencia de la madera eran inadecuados. Esto obligó a definir una nueva forma de determinar la calidad mecánica de la madera, basada en el empleo de métodos probabilísticos.

En la primera mitad del siglo XX las propiedades mecánicas de la madera se daban tomando como base la resistencia de una madera ideal (tensiones básicas), sin defectos de ninguna clase, a la que luego se le aplicaban coeficientes minoradores en función de las singularidades presentes en la madera (nudos, desviaciones de fibra, gemas, humedad, etc.). A partir de los años 60 en lugar de tensiones básicas se empiezan a emplear los valores característicos, obtenidos en el ensayo de la madera con tamaño real.

De acuerdo con esta nueva forma de ver las cosas, más real y segura, la madera no sólo se ensaya con dimensiones reales sino provista de las «singularidades» (defectos) que le son propios. Esto obligó al diseño de nuevas normas de ensayo y clasificación visual del material, así como al ensayo de amplios lotes de madera, correspondientes a cada una de las combinaciones especie-calidad establecidas por dichas normas de clasificación.

El proceso normalizador europeo ha sido laborioso y, a veces, contradictorio pero finalmente ha desembocado en unas normas comunes de cálculo (Eurocódigo 5), de ensayo mecánico (EN 408) y de cálculo de sus resultados (EN 384). Respecto de la clasificación visual de la ma-

dera, se adoptó el criterio de mantener las normas nacionales aunque cumpliendo con unos requisitos generales comunes, establecidos en la norma EN 14081-1.

En el ámbito internacional, los esfuerzos normalizadores para la madera de construcción, aunque con más retraso, parecen dirigirse en la misma dirección, ya que recientemente ha aparecido la norma ISO 9709 que establece los requisitos básicos que deben tener las normas nacionales de clasificación visual resistente, lo que a nivel del CEN ya hace la norma 14081-1. Es importante constatar que no existen disparidades de importancia entre lo establecido por la norma EN y la norma ISO.

De acuerdo con este esquema, en cada país se clasifica la madera con sus propias normas (elaboradas con criterios generales comunes) pero la asignación de la resistencia a cada una de las combinaciones especificidad y el cálculo estructural se hacen considerando normas comunes para todo el espacio europeo.

Respecto de la resistencia, tal y como se decía anteriormente, el valor exigido actualmente por la normativa de cálculo es el característico, entendiendo como tal aquél que garantiza que el 95% de las piezas de un lote de madera tienen igual o más resistencia que el valor característico. En el método anterior, a partir de las tensiones básicas se establecían las tensiones admisibles que incluían los coeficientes de seguridad (del material y de las acciones). Sin embargo en la actualidad, el valor característico no incluye el coeficiente de seguridad y por tanto su valor es mayor; posteriormente en el proceso de cálculo se introducen los coeficientes de seguridad (material y acciones).

Dada la imposibilidad de establecer relaciones fiables entre ambos sistemas, este nuevo enfoque obligó a volver a ensayar la madera bajo nuevas normas y procedimientos, lo que en el caso de España nos ha llevado casi 15 años y 10.000 ensayos a escala real, la mayoría de ellos efectuados en los laboratorios del INIA en Madrid.

La clasificación visual según la norma española UNE 56.544

Lo primero que es fundamental afirmar es que la norma española sigue los mismos postulados que el resto de las normas europeas ya que ha sido formulada siguiendo fielmente

las recomendaciones establecidas al efecto por la norma armonizada europea EN 14081-1. Sus postulados tampoco entran en contradicción con lo establecido en la norma internacional ISO 9079.

Por otra parte, es necesario también considerar que aunque no es imprescindible, la norma española sigue también en gran medida los criterios de la norma europea EN 1310 a la hora de medir y evaluar las singularidades presentes en la madera (nudos, desviación de la fibra, gemas, etc.).

La norma española ha sido, además, contrastada contra la DIN 4074 y sobre varios cientos de piezas. El resultado de la clasificación por ambas normas fue el mismo (diferencias menores del 1%). Las únicas diferencias de trascendencia existentes con respecto a otras normas europeas radican en el sistema para medir y evaluar los anillos de crecimiento.

Según la creencia imperante en Europa (basada en la experiencia con el abeto pero muy poco en el pino), los anillos de crecimiento influyen de forma inversa y significativa en la resistencia, es decir, que conforme una madera de conífera presenta anillos más grandes también suele presentar resistencias y densidades menores. De acuerdo con nuestra experiencia, esta creencia puede resultar cierta si nos referimos a una zona homogénea (por ejemplo, un determinado monte) pero no cuando se está hablando del conjunto de la especie.

La experiencia actualmente existente sobre la madera estructural de cuatro especies de pino distintas (radiata, pinaster, laricio y silvestre) es que, al menos con estas especies y en dimensiones estructurales, el tamaño del anillo no tiene una influencia estadísticamente significativa en la resistencia si se considera la especie en su conjunto.

La explicación a este comportamiento debe buscarse en la gran variabilidad climática existente en España, muy superior a la del resto de Europa, lo cual propicia una muy superior variabilidad en las condiciones de crecimiento y en las propiedades de nuestras maderas.

Hemos podido comprobar, sin embargo, que cuando se presentan anillos de gran tamaño asociados a una fuerte concavidad la madera suele presentar una mayor tendencia a la deformación durante el secado. Esto se explica porque en este caso la presencia de anillos de gran tamaño y concavidad es un buen in-

dicador de presencia de madera juvenil. Este tipo de madera se forma (no siempre) durante los primeros años de vida del árbol y al presentar una estructura anatómica distinta también tiene un comportamiento distinto ante los cambios de humedad (se contrae diez veces más que la madera normal), lo que genera fuertes deformaciones durante el secado.

Por este motivo nuestra norma usa el tamaño del anillo no como un predictor de la resistencia (que es lo que se hace en el resto de Europa) sino como un predictor de la presencia de madera juvenil y, por tanto, del riesgo de deformaciones, estableciendo límites a su tamaño máximo sólo si la madera se clasifica y comercializa en verde.

Para evitar la indeseable presencia de madera juvenil en la madera clasificada y comercializada en verde, nuestra norma también limita la presencia de médula en la primera clase de calidad, como medio de evitar que el usuario que compre una madera superior por sus prestaciones mecánicas (madera de primera calidad) pueda tener un rechazo elevado por deformaciones durante el secado.

Sentadas estas premisas, la norma española UNE 56.544 establece dos clases de calidad distintas: la primera calidad, designada en siglas como ME1 (Madera Estructural de primera), y la segunda calidad o ME2. Toda la madera que no pertenezca a ninguna de las dos clases será considerada como de rechazo y, por tanto, como no apta para el trabajo estructural.

Para clasificar la madera en estas dos clases, la norma establece un conjunto de procedimientos de medida y evaluación de las siguientes singularidades del material:

- Nudos.
- Bolsas de resina.
- Entrecasco.
- Fendas.
- Desviación de la fibra.
- Madera de reacción y juvenil.
- Anillos de crecimiento (sólo cuando se clasifica y comercializa en verde)
- Gemas
- Médula (sólo cuando se clasifica y comercializa en verde).

Otros criterios usados para la asignación de la calidad son la presencia (y su cuantía) de:

- Alteraciones por hongos (azulado, pasmo, pudriciones, etc.).

- Alteraciones por plantas parásitas (muérdago).
 - Alteraciones por insectos xilófagos.
 - Curvatura de cara.
 - Curvatura de canto.
 - Atejamiento o abarquillado.
- Alabeo.

Las singularidades cuya cuantía está asociada al contenido de humedad de la madera (deformaciones, fendas) se referencian a una humedad del 20% (es decir que en una madera al 12% de humedad es previsible una cuantía de fendas y deformaciones mayor que las establecidas en la norma). Esta es la causa por la cual la norma obliga a determinar el nivel de humedad con el que se ha efectuado la clasificación.

Donde la norma resulta más prolija es en la descripción del método a emplear para la medición del tamaño de los nudos. Como norma general, los nudos se medirán perpendicularmente al eje longitudinal de la pieza y en las superficies en las que se manifiesten.

Existen unas cuantas normas generales a tener en consideración respecto de la medición de los nudos:

- Los nudos con diámetro inferior o igual a 10 mm pueden despreciarse, salvo que sean pasantes.
- En el caso de incorporar corteza, la medida del diámetro del nudo deberá incorporarla.
- En el caso de un nudo sano para el que las irregularidades de la fibra fueran presentes alrededor del nudo no fueran claramente diferenciables de éste, la medida del tamaño del nudo deberá incorporarlas.
- Los orificios dejados por los nudos saltadizos se medirán como si fueran nudos.

De acuerdo con esto la medición se hará como sigue:

- Nudos de cara y canto: Se medirán en la dirección transversal y su evaluación se hará en función de su tamaño relativo respecto del tamaño de la superficie en que hacen acto de presencia (cara o canto). Nudos pasantes de cara: Con esta denominación se entienden aquellos que se manifiestan en dos caras opuestas de la pieza. Los nudos pasantes de cara que disten de la arista una distancia superior a su diámetro serán medidos y evaluados como nudos de cara y los que disten menos lo serán - como nudos de margen (figura 1). La dimensión a considerar para los nudos pasantes



FIGURA 1. MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS NUDOS DE CARA, CANTO Y AGRUPADOS

de cara será la máxima de las dos caras.

- Nudos pasantes de canto: Se evaluarán como nudos de canto, tomando como valor de su diámetro el valor máximo de las dos superficies en las que hace acto de presencia.
- Nudos agrupados: Serán nudos agrupados aquellos en los que la distancia entre ellos es menor que la anchura de la pieza o inferior a 150 mm, en el caso de que la anchura de la pieza sobrepase los 150 mm. Se medirán en la dirección transversal de acuerdo con las directrices de la figura 1.
- Nudos de margen: Son aquellos nudos pasantes de cara que distan de la arista una longitud inferior o igual a su diámetro. Se medirán en la cara pero se evaluarán como si fueran de canto, mediante la relación «d/b» y de acuerdo con las limitaciones establecidas para los nudos de canto (figura 2).
- Nudos de arista: Son los que se manifiestan en dos superficies contiguas, cara y canto. El diámetro (d) se determinará en aquella superficie que los corte más perpendicularmente. En todos los casos la evaluación se efectuará mediante la re-

lación «d/b» (b es el grueso de la madera) y usando las especificaciones para los nudos de canto. En caso de duda el diámetro será el mayor valor (el máximo de «d1» y «d2» en la figura 2).

- Nudos superficiales: Son aquellos nudos alargados que se manifiestan en una cara sin llegar a afectar a la arista. Se les conoce también bajo la denominación de nudos en espiga, caracterizados porque presentan una relación entre sus dimensiones mayor y menor superior a 4. Si un nudo de esta clase llegase a afectar a la arista estaríamos ante un nudo de arista en espiga. Estos nudos no se evalúan si no hacen acto de presencia en el canto. Si lo hicieran, se evaluarían como nudos de arista. Este grupo incluye también a los llamados nudos en bigote, muy comunes en especies verticiladas como el pino radiata. Estos nudos no son sino dos nudos en espiga enfrentados.

Para el resto de las singularidades la norma establece reglas muy sencillas, ya que las bolsas de resina y el entrecasco se evalúan tomando en consideración su longitud, las fendas considerando fundamentalmente su profundidad (figura 3) y la desviación de la fibra evaluando su inclinación respecto de la arista (figura 4).

Las gemas se evalúan (figura 5) por su longitud, expresada como fracción de la longitud total de la pieza; y por su anchura, medida en el canto o en la cara como diferencia relativa, entre el valor nominal y el real de la anchura del canto o de la cara en el punto de máxima diferencia.

Las deformaciones de la madera por curvaturas (figura 6) y alabeos se evalúan haciendo uso de una regla de dos metros de longitud ubicada en el punto de máxima defor-

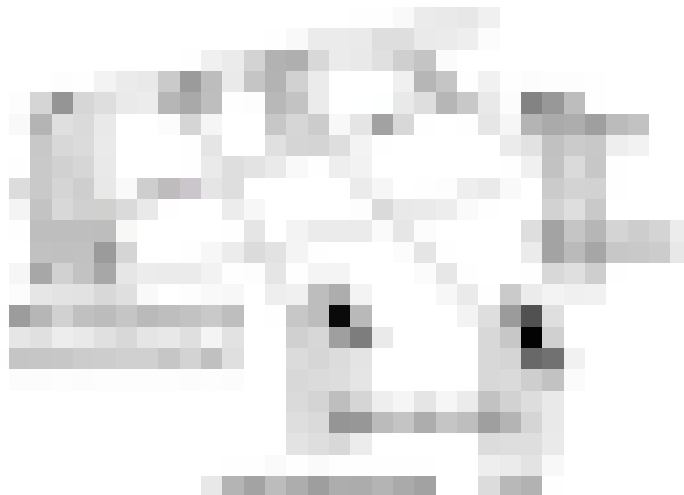


FIGURA 2. MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS NUDOS DE ARISTA, DE MARGEN Y SUPERFICIALES



FIGURA 3. MEDICIÓN DE LAS FENDAS



FIGURA 4. MEDICIÓN DE LA DESVIACIÓN DE LA FIBRA

mación y midiendo la separación regla-madera. El atejado se evalúa midiendo la deformación máxima en el centro de la cara.

Un aspecto que es fundamental entender es que una norma de clasificación visual resistente, como la UNE 56.544, clasifica las piezas una a una pero asigna la resistencia al lote. Esto significa que considerado un lote de madera de una determinada especie y calidad, que sale del aserradero, ese lote en su conjunto tendrá una determinada resistencia (la establecida en la norma).

Pero si en dicho lote y con posterioridad a la clasificación resistente se procediera a extraer piezas de madera de forma no aleatoria (por ejemplo seleccionando las de mejor

aspecto para destinarlas a carpintería o a usos más selectos) el lote restante podría no tener ya dicha resistencia característica. Por dicho motivo los almacenistas y aserradores no deben permitir bajo ningún concepto que se realicen clasificaciones posteriores sobre la madera previamente clasificada desde el punto de vista resistente.

La explicación de lo anterior es sencilla ya que como la norma da como resistencia de cualquier combinación especie-calidad el valor característico (el 5º percentil) de la resistencia de todas las piezas del lote, si con posterioridad a la clasificación resistente quitamos las piezas de mejor aspecto estamos quitando en definitiva las de mayor resistencia, motivo por lo cual el valor característico del lote residual descenderá tanto más conforme más piezas se hayan extraído. El límite inferior de resistencia del lote dependerá de la resistencia de las piezas peores del lote (las que se situaban por debajo del 5º percentil en el lote inicial).

La norma española UNE 56.544 sirve para clasificar visualmente por resistencia cualquier sección y longitud de madera de las cuatro especies de pino en ella contemplada (pinaster, radiata, laricio y silvestre) aunque y considerando todos los



FIGURA 6. MEDICIÓN DE LA CURVATURA DE CARA

criterios de medición anteriormente comentados, la norma establece especificaciones distintas según sea el grado de humedad con el que la madera es clasificada y/o comercializada (Tabla 1). Si la madera es mecanizada con posterioridad a la clasificación, la norma también establece los límites para los cuales la clasificación sigue siendo válida (Tabla 2).

Respecto de las clases de resistencia a las que se asignarían las distintas combinaciones especie-calidad, la norma considera en su anexo A (normativo) una tabla de asignaciones aprobada por el Comité CEN TC124 e incluida en la norma europea EN 1912 (Tabla 3).

Desde un punto de vista informativo la norma también aporta una tabla (Anexo C) con los valores de resistencia, elasticidad y densidad correspondiente a las clases de resistencia que figuran en la Tabla de asignación anteriormente citada. Esta tabla es un resumen de la establecida en la norma europea EN 338 (Tabla 4).

La norma se completa con tres anexos informativos más, uno (Anexo B) dedicado al uso del trazador (para medir la desviación de la fibra) y del xilohigrómetro (aparato para medir la humedad de la madera), otro (Anexo D) destinado a describir los criterios a seguir para la inspección de la madera con posterioridad a su clasificación y otro más (Anexo E) sobre control de calidad del proceso.

Otro aspecto novedoso de la norma es el marcado de la madera clasificada, ya que se establece un modelo de marca, común para todos los países europeos, que garantiza un nivel de información muy completo para el usuario. También se establece en la norma la documentación aneja que debe acompañar en todo momento a cualquier lote de madera que se comercialice clasificada con esta norma.

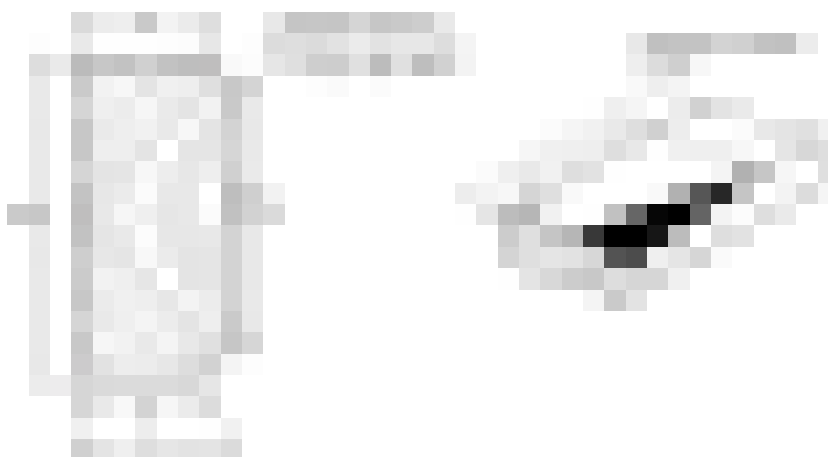


FIGURA 5. MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS GEMAS.

Tabla 1
Especificaciones para la clasificación de piezas de sección rectangular

CRITERIOS DE CALIDAD	ME-1	ME-2
NUDOS DE CARA	$d < 1/5$ de «h»	$d < 1/2$ de «h»
NUDOS DE CANTO	$d < 1/2$ de «b» y $d < 30$ mm	$d < 2/3$ 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 contracción (2)(3)	$f < 2/5$	$f < 3/5$
- Acebolladuras		
- Rayo		
- Heladura	No permitidas	
- Abatimiento		
BOLSAS DE RESINA y ENTRECASCO	Se admiten si su longitud es menor que 80 mm	
MADERA DE COMPRESION	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
DESVIACION DE LA FIBRA	1:10 (10%)	1:6 (16,7%)
GEMAS		
- longitud	<1/4 de «L»	<1/3 de «L»
- Anchura y espesor	$G < 1/4$	$G < 1/3$
MEDULA (1)	Admitida	Admitida
	No admitida si se clasifica en húmedo	
ALTERACIONES BIOLÓGICAS		
- Muérdago (V. album)	- No se admite	
- Azulado	- Se admite	
- Pudrición	- No se admite	
- Galerías de insectos xilófagos	- No se admiten	
DIMENSIONES Y TOLERANCIAS	Según las especificaciones de UNE EN 336	
DEFORMACIONES MÁXIMAS (2)(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»)	2 mm (por cada 25 mm de «h»)
- Atejado o abarquillado	1/25 de «h»	1/25 de «h»
(1) Estas características sólo se considerarán cuando se comercializa en húmedo		
(2) Estas características no se considerarán cuando la clasificación se efectúa en húmedo		
(3) Referidas a un 20% de contenido de humedad. Las fendas de contracción sólo se considerarán si su longitud es mayor que la menor de las dimensiones siguientes: 1/4 de la longitud de la pieza y 1 m.		
(4) Referidas a un 20% de contenido de humedad. 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.		
NOTA: Para secciones cuya relación h/b $\leq 1,5$, las cuatro superficies serán consideradas como caras.		

Tabla 2

Reducción dimensional máxima permitida en piezas ya clasificadas				
DIMENSIONES «t»				
(Espesor o anchura de cara)	t < 50 mm	50 < t < 100 mm	100 < t < 150 mm	t > 150 mm
Reducción máxima del espesor				
o anchura de cara	1,5 mm	3,0 mm	5,0 mm	6,0 mm

Tabla 3

Asignación de las combinaciones especie-calidad a clases resistentes

Especies	Clase de calidad	
	ME-1	ME-2
Pino insignis	C24	C18
Pino pinaster	C24	C18
Pino silvestre	C27	C18
Pino laricio	C30	C18



FIGURA 7. EJEMPLO DE MARCA ESTABLECIDO POR LA NORMA UNE 56.544

La clasificación automática mediante el empleo de máquinas clasificadoras

Todos los métodos de clasificación automática actualmente en vigor se basan en la evaluación no destructiva del módulo de elasticidad de la madera (dada su buena y conocida relación con la resistencia), acompañada en ocasiones con medidas complementarias de la nudosidad, densidad, desviación general de fibras, etc., realizadas por hombres o por máquinas.

Para evaluar el módulo de elasticidad, y de ese modo inferir de forma aproximada la resistencia de una madera, existen métodos de tipo mecánico (aplicando una fuerza conocida y midiendo la deformación o viceversa) o de tipo físico, haciendo uso de técnicas de ultrasonidos.

Entre las máquinas de tipo mecánico más conocidas se encuentra la denominada como Cook-Bolinder (figura 8), cuyo principio operativo consiste en hacer pasar la madera de cara entre dos rodillos separados entre sí 900 mm, sometiéndola a una deformación conocida y midiendo la fuerza que es necesario aplicar para producir dicha deformación. Esta fuerza, que se mide cada diez centímetros a lo largo de la pieza y en dos pasadas, es un indicador directo del módulo de elasticidad mínimo y, por tanto, de la resistencia última a flexión de la madera.

Esta máquina presenta la ventaja, frente a otras también del mismo tipo como la Computermatic, de que su medida es prácticamente independiente del estado superficial de la madera (labrado o rugoso) y de que la medida de la fuerza es más sencilla que la de la deformación.

En las fábricas de madera laminada es corriente empezar a encontrarse con máquinas que en realidad son una suma de equipos ya que constan de una máquina del tipo Cook-Bolinder en cabeza seguida de un escáner por radiaciones ionizantes (Rayos X), que detectan los nudos (para sanear las piezas) y miden la densidad.

Otra técnica alternativa es el uso de los ultrasonidos, tanto por el método de transmisión (basado en la medición de la velocidad de paso de una onda ultrasónica) como por el de resonancia (basado en la excitación vibratoria del material y posterior medición de la frecuencia de resonancia natural de la madera). Desgraciadamente, ya que es muy sencilla y económica, esta técnica

todavía está en estado experimental y sólo se aplica o bien en laboratorio o bien en la evaluación de la resistencia de estructuras puestas en obra.

Los trabajos llevados a cabo por el INIA en este campo durante los últimos siete años, se han basado en la puesta a punto de los parámetros de clasificación de una máquina del tipo Cook-Bolinder (parámetros ya conocidos para los pinos silvestre y laricio y que han sido aprobados por el Comité CEN TC124/WG2 para su inclusión en la norma EN 14081-4) y en la evaluación de la potencialidad y bases científicas para la aplicación de la técnica de ultrasonidos en la predicción de la capacidad resistente residual de vigas de madera y en la clasificación de la madera estructural en rollo.

Centrándonos en el uso de máquinas del tipo Cook-Bolinder es necesario decir que su uso debe ser circunscrito a la clasificación de madera aserrada seca (10-15%) de hasta 80 mm de grueso. Estas máquinas pueden llegar a clasificar a ritmos de hasta 90 m/min y la madera sale de ellas perfectamente clasificada y marcada con todos los elementos exigidos por la norma prEN 14081-1.

Su uso por un aserradero supone un notabilísimo incremento en el rendimiento total obtenido, tal y como puede apreciarse en los datos adjuntos (tabla 5) (referidos al caso del pino laricio pero también obtenidos para el del pino silvestre).

En la tabla 5 puede apreciarse claramente cómo el porcentaje de rechazos se reduce drásticamente respecto del obtenido con la clasificación visual, pasando del 26,9% al 0,7%. Otro detalle de gran trascendencia económica que se observa es que este mayor porcentaje de madera clasificada se ubica en la clase de mayor valor, la primera, pasando el porcentaje de primeras del 21,3% al 51,1%. Todo esto hace que el retorno económico de la clasificación, evaluado respecto del óptimo (obtenido en función de la resistencia real de la madera evaluada en laboratorio), pase del 53,2%, obtenido mediante el uso de una clasificación visual, al 84,7% obtenido mediante la clasificación automática.

Otro detalle que es fácil de apreciar en la tabla 5 es que el método de máquina todavía tiene una posibilidad de mejora hasta ganar el diferencial del 15,3% que tiene respecto de la evaluación real, u óptima.

Tabla 4.

Valores de resistencia y elasticidad para las clases de resistencia consideradas en la norma UNE 56.544 para las distintas combinaciones especie-calidad en ella contempladas

Clases resistentes	C30	C27	C24	C18	C16
Propiedades resistentes (valores característicos dados en N/mm²)					
Flexión	30	27	24	18	16
Tracción paralela	18	16	14	11	10
Tracción perpendicular	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3
Compresión paralela	23	22	21	18	17
Compresión perpendicular	2.7	2.6	2.3	2.2	2.2
Cortante	3.0	2.8	2.5	2.0	1.8
Propiedades de rigidez (valores medios y característicos dados en N/mm²x10³)					
Módulo Elast. paralelo medio	12	11.5	11	9	8
Módulo Elast. paralelo 5°p.	8.0	7.7	7.4	6.0	5.4
Módulo Elast. perpend. medio	0.40	0.38	0.37	0.30	0.27
Módulo de cortante medio	0.75	0.72	0.69	0.56	0.50
Densidad (kg/m³)					
Densidad característica	380	370	350	320	310
Densidad media	460	450	420	380	370



FIGURA 8. ESQUEMA DE UNA MÁQUINA COOK-BOLINDER



FIGURA 9. MÁQUINA COOK-BOLINDER INSTALADA EN LOS LABORATORIOS DE INIA

Consideraciones finales

De todo lo anteriormente comentado se deduce que en España ya poseemos los instrumentos técnicos y normativos necesarios para la implantación operativa de procesos de clasificación de la madera que nos permitan abastecer al mercado, tanto europeo como nacional, con productos estructurales de madera bajo estándares europeos (incluso dentro de poco bajo marcado CE), lo que sin duda redundará en una mejora de la rentabilidad y competitividad del sector del aserrío.

En este proceso de implantación de técnicas de clasificación de la madera así como en los posteriores de certificación de la calidad y de evaluación de prototipos y diseños, los industriales, prescriptores y usuarios cuentan con el apoyo de la recientemente creada Unidad conjunta de I+D establecida entre el INIA y el AITIM, la cual tiene sus laboratorios en los locales del Laboratorio de Estructuras de Madera del INIA (Ctra. de la Coruña Km. 7, 28040 Madrid) y sus oficinas en la sede social de AITIM (C/ Flora 3, 28013 Madrid).

Esta Unidad, capacitada para el ensayo, con sus propios medios, de estructuras de madera sólida y laminada de hasta 7,5 metros de longitud no sólo está orientada hacia la comprobación de la fiabilidad estructural de estructuras y soluciones constructivas sino que tiene como línea permanente de trabajo la realización proyectos de I+D+i conducentes al desarrollo, evaluación y, en su caso, optimización de nuevos métodos de clasificación no destructiva de la madera, y todo ello con el ánimo de poner en manos de la industria y de los directores de obra las mejores tecnologías posibles para la estimación eficaz y objetiva de la calidad resistente de la madera ■

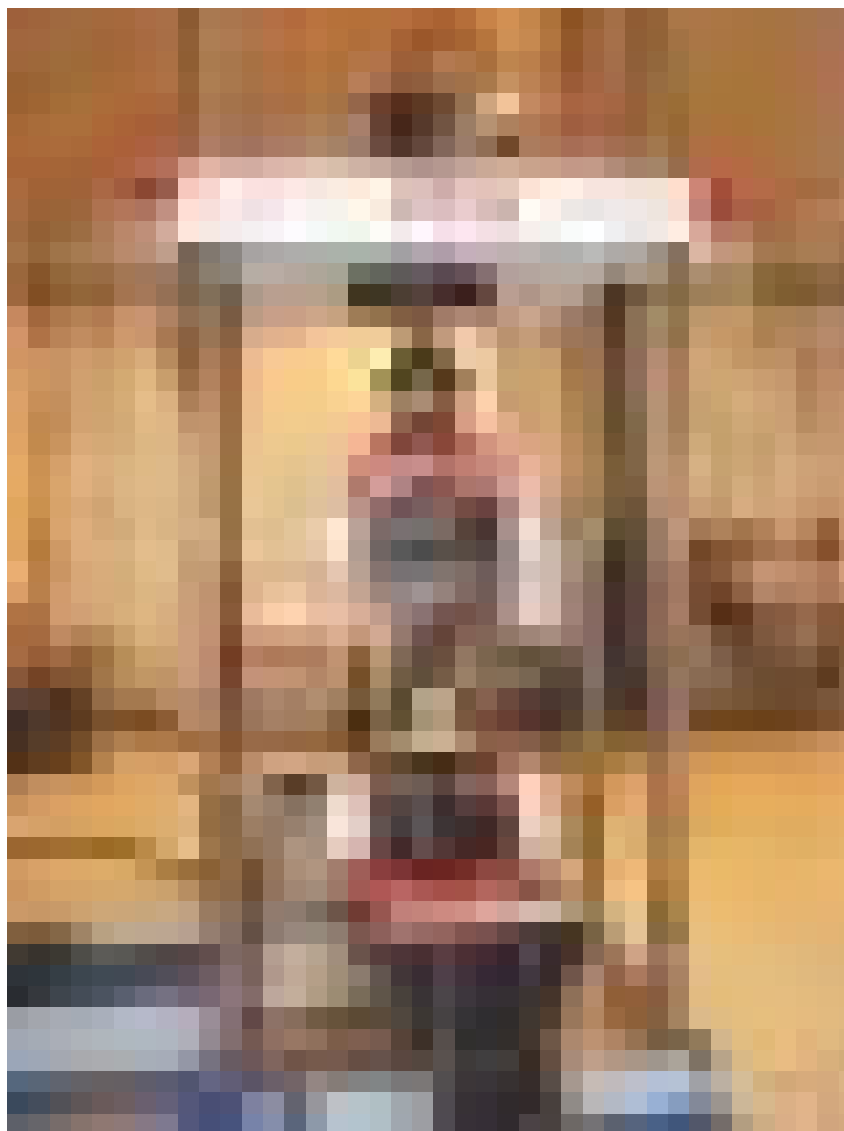


FIGURA 11. MÁQUINA DE 60 T PARA EL ENSAYO A TRACCIÓN, COMPRESIÓN Y FLEXIÓN DE MADERA ESTRUCTURAL DE HASTA 7,5 M DE LONGITUD, INSTALADA EN INIA

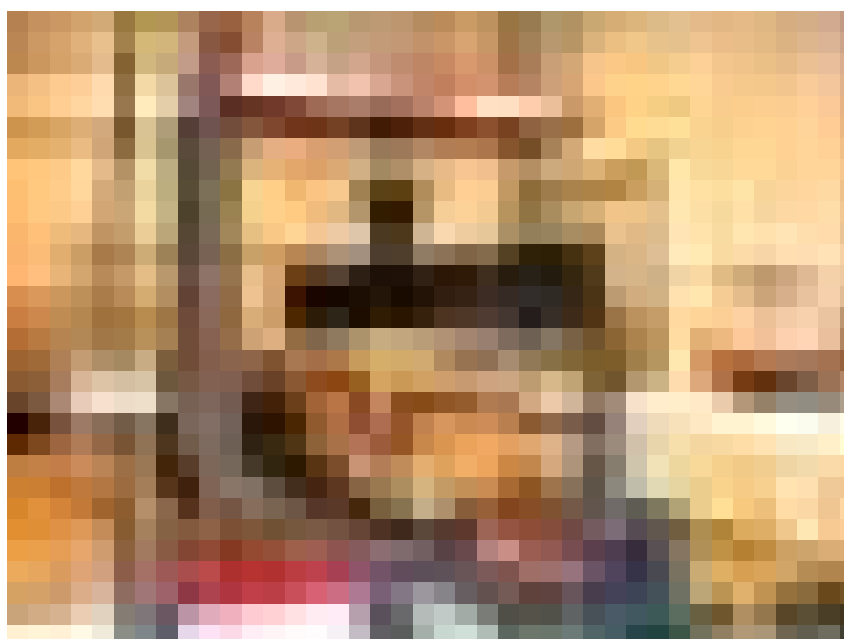


FIGURA 10. MÁQUINA DE 15 T PARA EL ENSAYO A FLEXIÓN DE MADERA ESTRUCTURAL DE HASTA 7,5 M DE LONGITUD, INSTALADA EN INIA