

clasificación práctica de madera para uso estructural

Victor Rojas*

RESUMEN

Basado en la labor de investigación realizada en el Instituto Tecnológico de Costa Rica sobre "Clasificación y Normalización de Madera para uso Estructural", se presenta un sistema de clasificación visual, que permite la obtención de piezas con garantía de un determinado grado a razón de resistencia. La clasificación en grados define las propiedades de la madera para un diseño confiable en estructuras, cuya seguridad depende de la disponibilidad de estos grados estructurales.

INTRODUCCION

El uso de la madera con fines estructurales está condicionado a una clasificación que permita obtener grados que definan las propiedades de resistencia de un elemento estructural. El objetivo es trabajar con un máximo de confiabilidad y un mínimo de material, contribuyendo así a obtener construcciones seguras con un mejor aprovechamiento del recurso forestal. Visto de esta manera, el sistema de clasificación actúa como un control de calidad en las construcciones de madera, pues se basa en grados que indican si una pieza es aceptable para determinada resistencia, o si debe descalificarse por no reunir las condiciones requeridas para la carga que debe soportar.

Las reglas de clasificación definen el tamaño permisible de los defectos en la madera según la

norma de clasificación ASTM D-245. Los defectos en la madera son factores que permiten graduar una pieza, independientemente de la especie. El clasificador debe ser un buen conocedor de la madera, de sus propiedades y sus características generales.

Los factores que permiten al clasificador analizar una pieza, son en primera instancia aquellos defectos que de una vez descartan a la pieza tales como:

— **Fracturas o quebrantos** que hacen a la madera quebradiza: si una pieza presenta una fractura de inmediato se descalifica, pues no hay oportunidad de sanear esta pieza. Este defecto es más probable encontrarlo en madera perteneciente a la región medular y sobre todo en árboles viejos. Son fracturas de tensión y compresión causadas por la acción del viento que se manifiestan en caídas bruscas de la madera. Si existe una fractura, hay la probabilidad de que haya más, por esta razón no es permisible sanear y se descalifica como elemento para uso estructural.

— **Pudrición:** la pudrición también descalifica la madera para uso estructural. Solo es permisible este defecto en nudos, pero con el daño aislado; más bien nudos huecos como sucede con madera de Laurel (*Cordia alliodora*). En estos casos el clasificador debe cerciorarse de que las paredes del nudo o tejidos que han sufrido el daño estén duros, y que no haya probabilidad de que el daño continúe.

— **Contracciones:** el torcimiento en la madera no afecta la resistencia, pero la hace inservible por su apariencia y deformación que ocasiona desajustes entre los miembros de la estructura; por eso, la madera con contracciones altas debe eliminarse. Este es un defecto producido por liberación de

Este tema fue presentado por el autor ante el Segundo Congreso Nacional de Ingeniería de la Madera, 16-20 Nov. 1981, en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, auspiciado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT).

* Profesor del Departamento de Ingeniería de la Madera del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

esfuerzos durante el secado, y es necesario un programa adecuado en el secado para resolver dicho problema.

— **Medida:** se considera un defecto que la medida de una pieza sea menor que lo especificado en el tanto que reduce la resistencia. Siempre habrá una tolerancia de acuerdo con las dimensiones.

— **Humedad:** este es un factor de mayor atención para madera en servicio. El agua en la madera se encuentra en dos condiciones: como agua libre y como agua atada. El agua libre está en las cavidades celulares y su proceso de evaporación es rápido. El agua atada se encuentra en los elementos que constituyen la pared celular y su evaporación es más lenta. Durante la evaporación del agua libre, la madera no sufre contracciones ni cambia sus propiedades, pero conforme avanza el proceso de secado, ahora de agua atada, aparecen contracciones y hay un aumento en las propiedades mecánicas.

La humedad es un medio propicio para desarrollar hongos e insectos, pero esto no se da si el contenido de humedad es inferior al 20^o/o. En Costa Rica la madera en servicio se seca hasta un contenido de humedad en equilibrio que oscila entre el 15^o/o y el 18^o/o. Sin embargo, para la construcción de muebles y sobre todo para piezas encoladas, se requiere un 12^o/o de contenido de humedad. Para efectos de clasificación estructural un 18^o/o de C.H. es bueno.

DEFECTOS QUE PERMITEN AGRUPAR LA MADERA EN TRES GRADOS ESTRUCTURALES

La inclinación del grano

Es la desviación de la fibra con respecto a los cantos paralelos de una pieza aserrada. Es una característica específica, aunque puede darse por efecto de un aserrado oblicuo y es un defecto en cuanto que determina la resistencia de un elemento en flexión (a mayor inclinación del grano menor es el módulo de ruptura de una pieza). La razón de resistencia en flexión es de 69^o/o para grado 1, 53^o/o para grado 2 y 40^o/o para grado 3.

La inclinación del grano influye en la madera

y los términos de reducción son dados por la norma de clasificación ASTM D-245.

Este efecto ha sido investigado y su interpretación en términos de reducción de resistencia se da en el siguiente cuadro.

CUADRO No. 1. Relación inclinación del grano: resistencia de la madera.

Inclinación del grano	RESISTENCIA MAXIMA	
	Flexión o tensión paralela al grano	Comprensión paralela al grano
1 : 20	100 ^o /o	100 ^o /o
1 : 18	85 ^o /o	100 ^o /o
1 : 16	80 ^o /o	100 ^o /o
1 : 15	76 ^o /o	100 ^o /o
1 : 14	74 ^o /o	87 ^o /o
1 : 12	69 ^o /o	82 ^o /o
1 : 10	61 ^o /o	74 ^o /o
1 : 8	53 ^o /o	66 ^o /o
1 : 6	40 ^o /o	53 ^o /o

Estos valores son muy conservadores de acuerdo con la investigación sobre "Variación del módulo de ruptura en cinco especies maderables"⁽¹⁾, en donde la resistencia fue en promedio de:

88,3^o/o para una inclinación del grano 1:10

87,9^o/o para una inclinación del grano 1:8

75,3^o/o para una inclinación del grano 1:6

57,5^o/o para una inclinación del grano 1:4

Para las especies de: (*Vochysia ferruginea*)
 (*Pentaclethra macroloba*)
 (*Alnus acuminata*)
 (*Cordia alliodora*)
 (*Hieronyma alchorneoides*)

El Cuadro No. 1 demuestra que la inclinación del grano es un factor reductor de resistencia. La razón de resistencia de una pieza es la resistencia de la madera sana con inclinación normal del grano. En los tres grados estructurales dicha razón corresponde a 31^o/o para el grado 1; 47^o/o para el grado 2 y 60^o/o para el grado 3.

La inclinación del grano puede detectarse a simple vista en madera cepillada pero generalmente

la madera estructural en Costa Rica no tiene cepillo, entonces se hace necesario el uso de un dispositivo o marcador manual que consiste en una barra doblada en "L" con una punta de acero en un extremo y un manubrio de giro libre en el otro. La punta de acero encaja sobre la fibra y sigue su trayectoria en virtud del giro libre del manubrio.

La medición de la inclinación del grano se hace en ambas caras de la pieza y se dice, por ejemplo, que la inclinación es 1:12 en cuanto que la fibra se incline o aleje del canto paralelo de la pieza 1 en 12 unidades. La verdadera inclinación del grano es la combinación de la inclinación en ambas caras y se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$1/x = \sqrt{(1/A)^2 + (1/B)^2}$$

Así, si una pieza presenta una inclinación del grano de 1/12 por una cara y por 1/8 por la otra cara, su verdadera inclinación será:

$$1/x = \sqrt{(1/12)^2 + (1/8)^2} = 1/6,6$$

Cuando una cara tiene el grano recto, sólo se tomará la inclinación del grano de la cara que lo presente y si las dos caras presentan grano recto se dice que el grano es 1:∞

Nudos

La variabilidad de sus formas dificulta su apreciación, muchas técnicas deben ponerse en práctica para clasificar por nudos, pero toda medición se basa en el método de desplazamiento de área independiente de la forma del nudo. Un nudo reduce la sección transversal efectiva de una pieza y además ocasiona una mayor inclinación de la fibra a su alrededor.

Nudos en cara angosta

El tamaño de los nudos en cara angosta es medido como la distancia entre líneas paralelas que

encierran al nudo. Si un nudo en cara angosta aparece también sobre la cara ancha es medido y graduado como un nudo en cara ancha.

Lo permisible de un nudo en cara angosta es:

- 33°/o del espesor de la pieza para grado 1
- 50°/o del espesor de la pieza para grado 2
- 60°/o del espesor de la pieza para grado 3

Los nudos en cara ancha son medidos en dos categorías:

— los que aparecen en la región central: en donde lo permisible para este defecto es:

- 33°/o de la cara ancha de la pieza para grado 1
- 50°/o de la cara ancha de la pieza para grado 2
- 60°/o de la cara ancha de la pieza para grado 3

— y los que aparecen en regiones marginales: aquí el nudo es más crítico y el porcentaje permisible es:

- 18°/o de la cara ancha para grado 1
- 30°/o de la cara ancha para grado 2
- 38°/o de la cara ancha para grado 3

Nudos de esquina

Son nudos sobre el ángulo recto formado por el canto y peralte de la pieza y se mide entre líneas paralelas en el extremo del canto o por sus diámetros sobre el peralte, cualquiera que sea más restrictivo. Si un nudo de esquina también aparece sobre la cara ancha opuesta su limitación en esta cara es considerada.

Nudos de clavo

Un nudo de clavo puede estar diagonal o transversal a la sección de la pieza y ser visible por sus dos caras. Estos nudos son graduados en sus extremos según su desplazamiento, como un nudo en margen de cara ancha o como un nudo en cara angosta.

Nudos aglomerados

Varios nudos pequeños pueden verse en una zona y aparentar ser uno solo ya que la inclinación del grano se da en torno de éstos. Estos nudos hacen crítica a la sección donde se encuentren y generalmente no son permisibles. En su clasificación estos nudos aglomerados pueden ser considerados como uno solo en su agrupación.

Grietas

Una grieta es la separación de las fibras en sentido radial o tangencial. En el sentido radial la grieta aparece a lo largo de los radios y es muy frecuente. Tangencialmente la grieta es en el sentido de los anillos de crecimiento y es menos frecuente. La zona crítica para una grieta es el centro de la cara ancha en una pieza, aquí los esfuerzos por cortante son mayores y la reducción de resistencia por cortante es proporcional a la profundidad promedio de la grieta.

Las grietas en la cara de una pieza son permisibles hasta el 53% del espesor de la pieza para cualquiera de los tres grados.

Las grietas por cabeza son permisibles hasta 150% de la cara ancha de la pieza para los tres grados.

Huecos por insectos

Los huecos por insectos son permitidos hasta ciertos diámetros para determinado grado y con no menos de 15 cm de separación uno del otro, que no conduzca a galerías. No se permiten huecos en asocio de pudrición. Los huecos por insectos deben ser sanos y son permisibles en los siguientes diámetros:

- 3,17 mm para grado 1
- 6,35 mm para grado 2
- 9,54 mm para grado 3

A continuación, en el Cuadro No. 2, se muestra el tamaño de los defectos permisibles para la clasificación de madera estructural según las normas ASTM D-245 como se ha expuesto.

CUADRO No. 2. Tamaño de los defectos permisibles para la clasificación de madera estructural.

	GRADO 1	GRADO 2	GRADO 3
Nudos en cara angosta	0,33 B	0,50 B	0,60 B
Nudos en cara ancha			
—centrales	0,33 H	0,50 H	0,60 H
—marginales	0,18 H	0,30 H	0,38 H
Grietas en cara	0,53 B	0,53 B	0,53 B
Grietas por cabeza	1,5 H	1,5 H	1,5 H
Huecos por insectos	3,17 mm	6,35 mm	9,54 mm
Inclinación del grano	1/12	1/8	1/6

B = espesor o cara angosta de una pieza

H = peralte o cara ancha de una pieza

CLASIFICACION ESTRUCTURAL DE UNA PIEZA DE LAUREL QUE MIDE: 4,4 cm x 9,5 cm DE SECCION

1. Por combinación de inclinación del grano:
1/6,5 en cara angosta, 1/7 en cara ancha =

$$\sqrt{(1/6,5)^2 + (1/7)^2} = 1/4,7$$

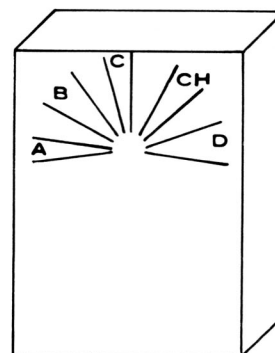
2. Por grieta en cabeza:

$$\frac{28 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}}{4,4 \text{ cm}} = 6,36 \text{ cm}$$

$$\frac{9,5 \text{ DE H}}{100} = \frac{6,36 \text{ cm}}{X}$$

$$X = 67\% < 150\%$$

3. En el tercio central, la pieza presenta cinco nudos que se suman para ver su limitación:



En cara ancha:

$$A = \frac{1}{2} \left(\frac{2,54 \text{ cm} + 1,27 \text{ cm}}{2} \right) = 0,9525 \text{ cm}$$

En cara ancha:

$$B = \frac{1}{2} \left(\frac{1,27 \text{ cm} + 1,905 \text{ cm}}{2} \right) = 0,79375 \text{ cm}$$

En cara angosta:

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{2,4 \text{ cm} + 1,6 \text{ cm}}{2} \right) = 1 \text{ cm}$$

Nudo ch es un nudo de esquina que medido entre líneas paralelas sobre cara angosta es de 1,2 cm y por sus diámetros más pequeños sobre la cara ancha:

$$CH = \frac{1}{2} \left(\frac{0,625 \text{ cm} + 0,375 \text{ cm}}{2} \right) = 0,635 \text{ cm}$$

El nudo D es medido en cara ancha, su tamaño es:

$$D = \frac{1}{2} \left(\frac{0,625 \text{ cm} + 0,375 \text{ cm}}{2} \right) = 0,635 \text{ cm}$$

Suma de nudos en cara ancha

$$A = 0,9525$$

$$B = 0,7937 \quad \frac{9,5}{100} = \frac{3,01}{X}$$

$$CH = 0,635$$

$$D = \frac{0,635}{3,01} \quad X = 31,7\%$$

$$P = \frac{58 (4,4) (9,5)^2}{150}$$

$$P = \frac{153,54 \times 2,3}{353,15 \text{ kg/cm}^2}$$

Fallo mecánico 445 F

Suma de nudos en cara angosta

$$1 \text{ cm} + 1,2 = 2,2 \text{ cm}$$

$$\frac{4,4}{100} = \frac{2,2}{X}$$

$$X = 50\%$$

Se observa una calificación para grado 3, pero esta pieza no puede clasificar por el defecto de nudos aglomerados, aún cuando el fallo mecánico superó al cálculo visual. Además el efecto de la inclinación del grano 1:4,7 descalifica la pieza.

CLASIFICACION ESTRUCTURAL DE UNA PIEZA DE LAUREL QUE MIDE 4,4 cm x 9,5 cm.

Presenta una inclinación del grano 1:16 por cara ancha E ∞ por cara angosta. Además un nudo de esquina que puede ser graduado por cara ancha así:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{3,175 \text{ cm} + 1,27 \text{ cm}}{2} \right)$$

$$\text{NUDO} = 1,1 \text{ cm.}$$

$$\frac{9,5 \text{ cm cara ancha}}{100} = \frac{1,1 \text{ cm de nudo}}{X}$$

$$X = 11,6\%$$

$$11,6\% < 18\% \text{ Entonces Grado 1}$$

Cálculo de resistencia por clasificación visual

$$P = \frac{100 (4,4 \text{ cm}) (9,5 \text{ cm})^2}{150 \text{ cm}}$$

$$P = \frac{264,72 \times 2,3}{608,8 \text{ Kg/cm}^2}$$

Fallo de la máquina 814 kg/cm²

CLASIFICACION ESTRUCTURAL DE UNA PIEZA DE LAUREL DE 4,6 cm x 9,5 cm. QUE PRESENTA UN NUDO EN CARA ANCHA

Medición del nudo $\frac{1}{2} (1,27 \text{ cm}) = 0,635 \text{ cm}$

$$\frac{9,5 \text{ cm de H}}{100} = \frac{0,635 \text{ cm}}{X}$$

$X = 6,6\%$

Resistencia esperada para grado 1 según clasificación visual

$$P = \frac{100 (0,6 \text{ cm}) (9,5 \text{ cm})^2}{150 \text{ cm}}$$

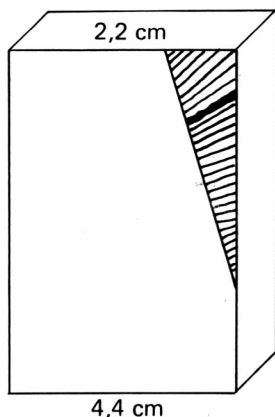
$$P = \frac{276,76}{\times 2,3} = 636,5 \text{ Kg/cm}^2$$

Fallo mecánico 1300 kg/cm²

La diferencia entre el fallo mecánico y lo esperado es un factor de resistencia muy bueno.

CLASIFICACION ESTRUCTURAL DE UNA PIEZA DE LAUREL DE 4,4 cm x 9,5 cm, CUYA INCLINACION DEL GRANO ES ∞ Y PRESENTA EN UN EXTREMO UN NUDO DE CLAVO, CUYA MEDIDA POR CANTO ES

$$\frac{2,2}{4,4} = 50\%$$



Este nudo en extremo no está en zona crítica, por lo tanto debe superar al grado 2 su resistencia.

$$P = \frac{77 (4,4 \text{ cm}) (9,5)^2}{150 \text{ cm}}$$

$$P = \frac{203,84}{\times 2,3} = 468,83 \text{ kg/cm}^2$$

Fallo mecánico 1130 kg/cm²

Se observa que el fallo mecánico superó a la clasificación visual por no estar el nudo en zona crítica.

LITERATURA CONSULTADA

1. Hoyle, R., Tuk, J. y Monge, F. "Variación del módulo de ruptura en cinco especies maderables". *Tecnología en marcha*. v.3 (2): 17-22
2. ASTM. "Structural grades and related allowable properties for visually graded lumber D-245-74" **1981 Annual book of ASTM Standards**. Pennsylvania, 1981.