



CLASIFICACIÓN POR RESISTENCIA

RESUMEN

La clasificación por resistencia conduce a dividir una población de madera en clases, o grupos, de distinta calidad, sobre la base de un análisis individual de cada pieza estructural. Esta inspección, que puede ser visual o mecánica, tiene en cuenta el nivel de los parámetros considerados y, en función de los límites establecidos para los mismos, origina la asignación de cada elemento a una determinada clase resistente. A diferencia de la clasificación relacionada a aspectos estéticos, la clasificación por resistencia se fundamenta en la influencia que los parámetros ejercen sobre las propiedades mecánicas del material, y la medición de los mismos se realiza con ese objetivo.

Comité Europeo de Normalización, 1997

Existen actualmente en el mundo dos sistemas de clasificación por resistencia de madera aserrada para uso estructural, el visual y el mecánico que serán descritos en el desarrollo de este capítulo.

Características generales de la madera como material estructural

El punto de partida para lograr un correcto uso de este material en estructuras es conocer sus propiedades físicas y mecánicas más importantes. Los métodos de clasificación por resistencia encuentran su fundamento en la correlación existente entre esas propiedades y las características consideradas como variables independientes, con capacidad de predecir la capacidad mecánica. Es decir que la eficiencia de un determinado parámetro, sea de detección visual o mecánica, se verifica por su capacidad para predecir la resistencia, la rigidez y la densidad aparente del material analizado, pues estas propiedades definen la calidad y el comportamiento estructural del mismo.

PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN POR RESISTENCIA

El procedimiento de clasificación por resistencia adoptado para la madera aserrada es el definido por las Normas IRAM 9662 y 9663.

En una primera instancia se realiza una clasificación visual sobre las piezas según Norma IRAM 9662 definiendo clases de resistencia para luego, mediante ensayos, clasificar mecánicamente a las mismas determinando sus propiedades físico-mecánicas.



Probetas en dimensiones reales de utilización

1. TOMA DE MUESTRAS

Las muestras para los ensayos deben ser representativas de la población. Deben representar la procedencia de la madera, las dimensiones y la calidad que será clasificada. Cada muestra debe provenir de una sola procedencia.

Cualquier variación conocida o supuesta de las propiedades mecánicas dentro de la distribución de población y relacionadas con la zona de crecimiento, aserradero, tamaño del árbol o método de transformación deber quedar representada en el conjunto de las muestras seleccionadas y en una proporción similar a su frecuencia en la población.

Se adopta el criterio de que cada muestra contenga como mínimo 60 probetas. Aunque la norma IRAM 9664 establece una cantidad de 40 probetas como muestreo mínimo.

El tamaño de la sección de las probetas debe ser el mismo dentro de una muestra, pero diferente del de las otras muestras. El número de tamaños diferentes debe reflejar el rango de dimensiones al que son aplicables las reglas de clasificación.

2. ENSAYOS

Los ensayos se realizan según norma IRAM 9663; seleccionando una zona crítica en cada pieza de madera.

Esta zona es el entorno en el que se prevé que puede originarse la falla, basándose en un examen visual. La localización de esta sección crítica debe ser tal que pueda ser sometida a ensayo, por ejemplo, no debe estar situada fuera de la zona comprendida entre los puntos de carga en el ensayo a flexión.

La calidad de la pieza de madera se debe determinar por la calidad de su zona crítica.

En los ensayos de resistencia a flexión o para la determinación del módulo de elasticidad la carga se aplica en el borde de la probeta y el borde sometido a tracción se elige al azar después de elegir la zona crítica.

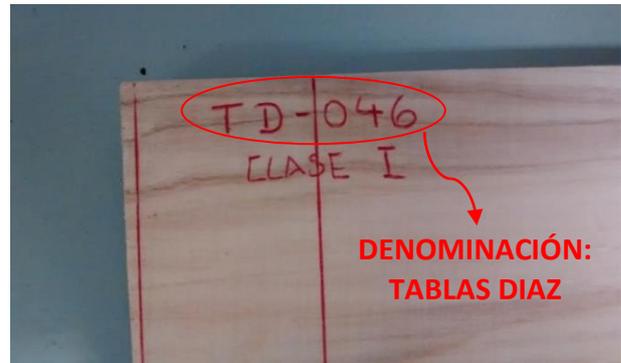
3. ACONDICIONAMIENTO DE ESPECÍMENES

Cada probeta o espécimen es rotulado asignándole un nombre representativo de su procedencia y numerándose en forma correlativa.

Además a cada cara se le asigna una denominación y un sentido de medición de nudos para facilitar el registro de defectos en las planillas de archivo.

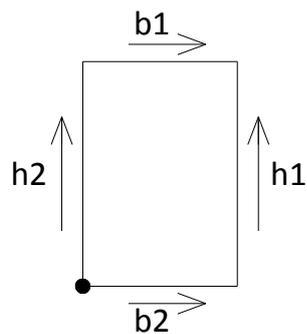


Son ejemplo de las muestras ensayadas:



Figuras 1 a 4 – Denominación de especímenes

EXTREMO IZQUIERDO



EXTREMO DERECHO

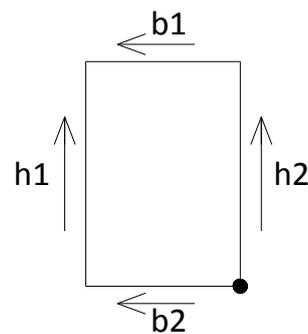


Figura 5 – Sentido de medición de nudos

A cada espécimen se le asigna una planilla de registro de mediciones geométricas, determinación de defectos, y datos característicos del ensayo. Esta ficha por pieza, nos permite en el futuro, que cada pieza individual pueda ser reclasificada por cualquier otra norma visual que se plantee.

4. DETERMINACIÓN DE LAS MEDIDAS DE LAS PROBETAS

Las probetas se miden con calibre digital con precisión del 1%. Si el ancho o el espesor varían dentro de una probeta, estas dimensiones se estiman como la media de tres comprobaciones efectuadas en diferentes puntos de la longitud. Las mediciones no se toman a menos de 150 mm de las cabezas.

Sólo para las mediciones de longitud se utilizan cintas métricas, el resto de las mediciones son tomadas con calibres del tipo digital.

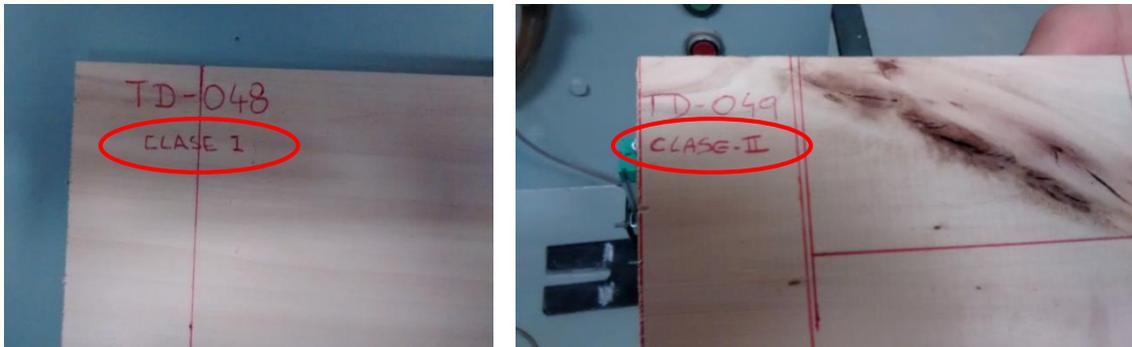
CLASIFICACIÓN VISUAL DE TABLAS POR RESISTENCIA

Se adopta la clasificación visual por resistencia de tablas aserradas destinadas a la fabricación de elementos estructurales laminados encolados definida en la norma IRAM 9662. Ya que la clasificación también se puede aplicar a tablas para uso estructural, cuando se encuentren flexionadas de plano, aunque no formen parte de un elemento laminado encolado.

Esta norma establece los límites de los defectos para clasificar las piezas en las dos clases de resistencia que se consideran y es aplicable a tablas cuyo espesor sea menor o igual a 50 mm (en bruto, sin cepillar) y cuya relación espesor - ancho sea menor o igual a 1:2.

Clases de resistencia

Las tablas, se clasifican en dos clases resistentes que se denominan Clase 1 y Clase 2, identificando a la madera de mayor resistencia con la Clase 1. A continuación pueden observarse la designación por esta clasificación en las figuras 6 y 7.



Figuras 6 y 7 – Distintas clases resistentes

1. REQUISITOS

- Defectos para cada clase resistente

En la siguiente tabla se indican los límites para los defectos correspondientes a cada clase resistente. Para efectuar la clasificación se analizan los parámetros de cada pieza, y la asignación a una clase está determinada por la situación más desfavorable.



Defecto		Unidad	Clase 1	Clase 2
Médula		-	No se admite	Se admite
Nudosidad		cm/cm	Menor o igual a 1/3	Menor o igual a 2/3
Dirección de las fibras		cm/cm	Desviación menor que 1:12	Desviación menor que 1:7.
Densidad		kg/m ³	No se aceptan piezas con densidad excepcionalmente baja	
Fisuras	No pasantes	m	El largo no debe ser mayor que 1,0 m ni que 1/4 del largo de la pieza.	El largo no debe ser mayor que 1,50 m ni que 1/2 del largo de la pieza.
	Pasantes	m	Las fisuras pasantes solo se permiten en los extremos y su largo no debe ser mayor que el ancho de la tabla.	El largo no debe ser mayor que 1,0 m ni que 1/4 de la longitud de la pieza. En los extremos, su largo no debe ser mayor que 2 veces el ancho de la tabla.
Combado y encorvado		mm	Menor que 8	Menor que 12
Revirado		mm/mm	Menor que 1 mm por cada 25 mm de ancho.	Menor que 2 mm por cada 25 mm de ancho.
Abarquillado		-	Sin restricciones para el abarquillado	
Arista faltante		mm/mm	Transversalmente menor que 1/4 de la cara o canto donde aparece. Sin restricciones para el largo	Transversalmente menor que 1/3 de la cara o canto donde aparece. Sin restricciones para el largo
Ataques biológicos		-	No se admiten zonas atacadas por hongos causantes de pudrición. Se admiten zonas atacadas por hongos cromógenos. Se admiten orificios causados por insectos con diámetro inferior a 2 mm	
Otros		-	Daños mecánicos, depósitos de resina y otros defectos se limitan por analogía con alguna característica similar.	

Tabla 3 – Criterios para asignar las tablas a las clases resistentes

A. Evaluación visual

Este método se basa en un análisis individual de cada tabla y la asignación a una clase resistente es determinada por la sección más débil de ella. Se aplica a madera con un contenido de humedad de 16%, como máximo, determinada de acuerdo con la IRAM 9532.

B. Tolerancias

Se admite un lote de tablas clasificadas según la norma cuando se encuentren como máximo un 10% de piezas que no cumplan con los criterios establecidos para los parámetros en la clase correspondiente. A su vez, cuando los defectos tengan establecidos límites cuantitativos, en ningún caso se acepta un exceso mayor que el 10% sobre el límite fijado.

Las tolerancias de las medidas reales respecto de las nominales correspondientes se establecen en la siguiente tabla.

Longitud del ancho o del espesor, "l" [mm]	Tolerancia [mm]
$l \leq 100$	+3 -1
$100 < l$	+4 -2

Tabla 4 – Tolerancias de las medidas

C. Determinaciones

Los parámetros contemplados en el presente método se corresponden con características o defectos cuya existencia o magnitud se debe evaluar visualmente en cada tabla.

El correcto registro de estos parámetros es indispensable para obtener una adecuada clasificación visual del elemento analizado. Por esto es esencial llevar un adecuado control de las planillas de registro y realizar todas las anotaciones pertinentes previas al ensayo del espécimen en cuestión.

Seguidamente se describen las consideraciones de los distintos parámetros considerados y la forma en que se los determina.



1. Médula

El tamaño de la médula oscila normalmente entre 1 y 2 mm (Kollmann, 1959), con sección circular, poligonal, o estrellada. Es considerado un defecto porque su constitución es completamente diferente al resto de la madera, presentando características de blandura, escasa resistencia y color que hace incluso despreciar las piezas que la contienen.

PABLO GUINDOS BRETONES. (2011).-

La presencia de médula se registra tanto en el interior de la pieza como en sus superficies; su existencia o su ausencia se expresan en forma cualitativa.

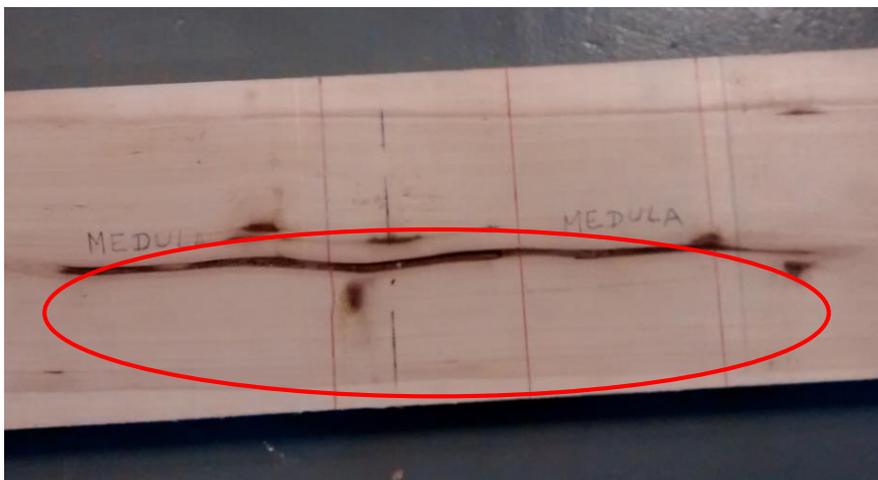


Figura 8 – Médula en la superficie

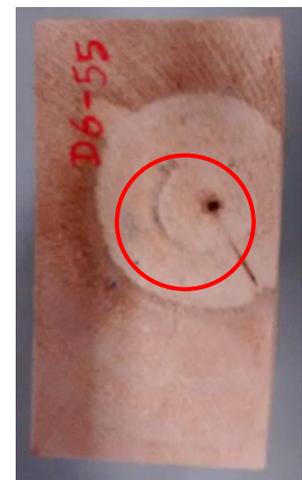


Figura 9 – Médula en el interior

2. Nudosidad

Se define como Nudo al tejido leñoso dejado por el desarrollo de una rama, cuyo aspecto y propiedades son diferentes a los de la madera.

Los nudos producen efectos negativos en la mayoría de las cualidades mecánicas de la madera porque crean discontinuidades y desviaciones en el flujo de fibras. Consecuentemente, se producen en los alrededores de estas singularidades no sólo tensiones paralelas si no también esfuerzos perpendiculares provocando finalmente una rotura muy prematura en relación a la que presentaría la madera libre de defectos. De hecho, si el nudo es muy significativo la pieza no rebasa ni siquiera los límites de elasticidad antes de romperse. Además, tal y como demostraron los estudios de la Dra. Vanessa Baño (2009), cuando los nudos se encuentran en la zona traccionada de los miembros lo más acertado es considerarlos como meros huecos donde no existe ninguna colaboración en la estabilidad global de la pieza, por tanto en esta zona no solo suponen la discontinuidad y desviación local de las fibras, sino también un vacío material en la sección eficaz de la estructura.

PABLO GUINDOS BRETONES. (2011).-

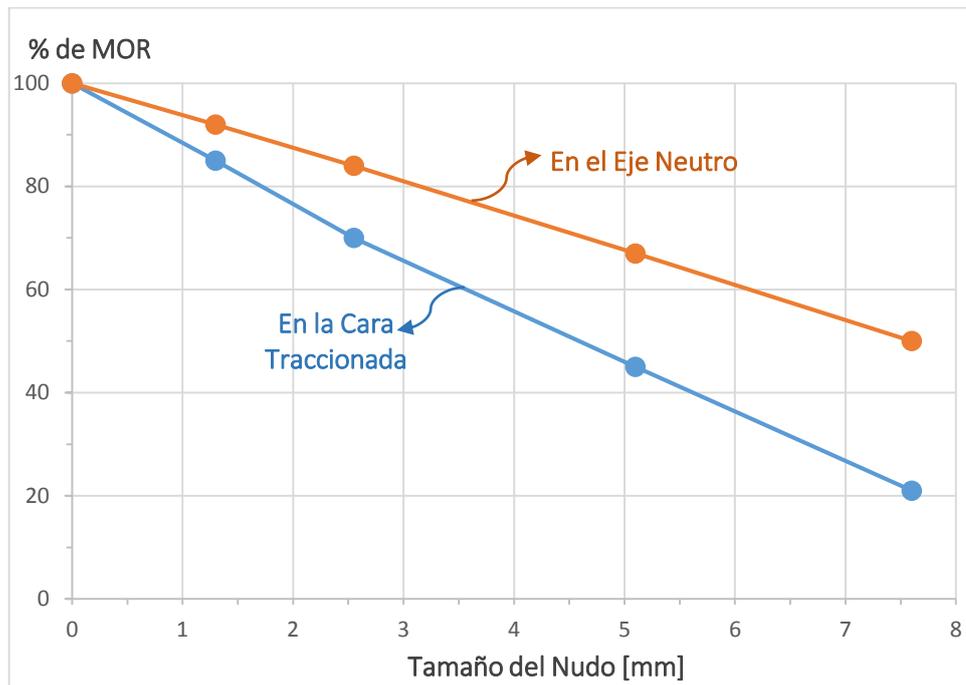


Figura 10 – Efecto del tamaño de los nudos en el M.O.R. en zona traccionada y fibra neutra (Smith et al 2003)

❖ Tipos de nudos:

- Nudo de cara: es aquel que se presenta sobre la cara de la pieza o viga.
- Nudo de canto: es aquel que se presenta sobre el canto de la pieza o viga.
- Nudo pasante (de cara o canto): es aquel nudo que se presenta al menos sobre dos superficies opuestas (ya sean canto o cara).
- Nudo de arista: es aquel nudo que se manifiesta sobre dos superficies contiguas: cara y canto.
- Agrupamiento de Nudos: son aquellos nudos cuya distancia entre centros, medida siempre según el eje longitudinal, es inferior a 150 mm, cuando la pieza presenta una altura de cara superior a este valor, o simplemente el valor de la anchura de la pieza cuando ésta sea inferior a 150 mm.
- Nudo saltadizo: es aquel en el que se ha desprendido parte de la madera perteneciente a la rama (ramificación), quedando únicamente un hueco.

❖ Diferentes tipos de nudos en cara y canto:

- nudos en la arista,
- nudos en el canto,
- nudos en el canto y en la cara,
- y nudos en la cara.

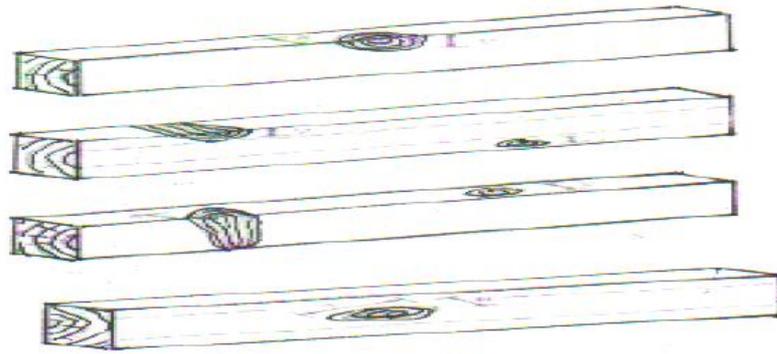


Figura 11 – Tipos de nudos

A efectos de la medición y posterior valoración de la nudosidad según la norma, se asumió que la corteza alrededor de un nudo forma parte de él y debió, junto con el nudo ser medida. Los orificios dejados por los nudos saltadizos se consideraron y se midieron como nudos.

En los nudos individuales, se calcula la nudosidad como el cociente entre la medida del nudo mayor y el ancho de la superficie en la cual se manifiesta. La medida del nudo se expresa como la distancia entre las tangentes al mismo que sean paralelas al eje de la pieza. Para ello se han designado las siguientes denominaciones de distancias de posición y tamaño del nudo:

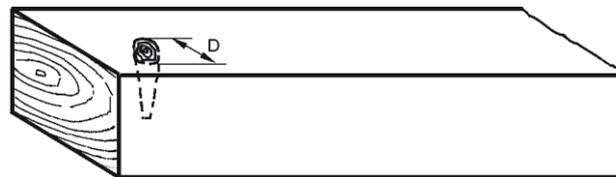


Figura 12 – Medición de un nudo

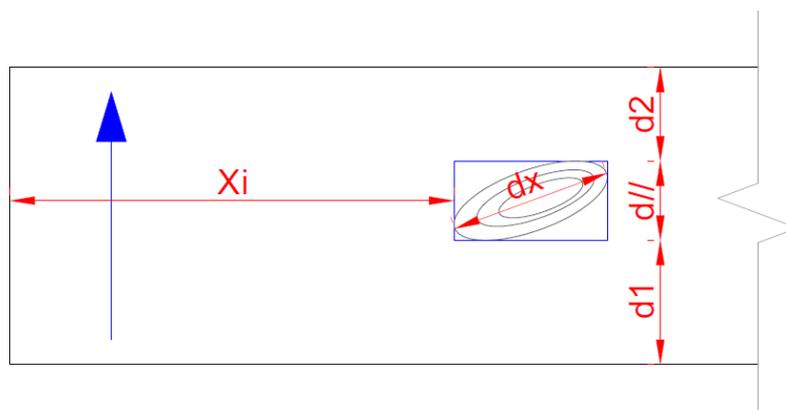


Figura 13 – Esquema de designación de dimensiones adoptado

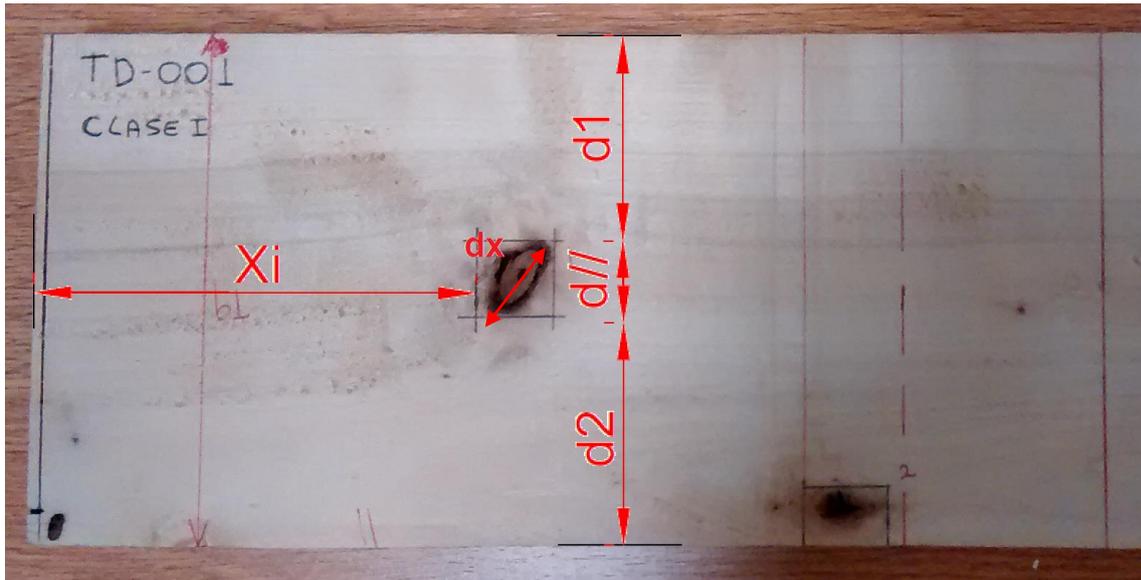


Figura 14 – Ejemplo de medición

Siendo las dimensiones indicadas en la Figura 14:

- Xi: la posición longitudinal del nudo en la tabla
- d1: la distancia desde el borde inferior al nudo
- d//: el tamaño del nudo medido en forma perpendicular al borde
- d2: la distancia desde el borde superior al nudo
- dx: la mayor dimensión del nudo

Se calcula la nudosidad como:

$$N = \frac{d //}{(d1 + d// + d2)}$$

Ahora bien, si un mismo nudo se manifiesta en distintas superficies de la pieza, la nudosidad se calcula en forma independiente en cada una de ellas.

En los nudos de arista, la nudosidad se expresa como el menor valor de los correspondientes a las dos superficies donde se manifiesta.

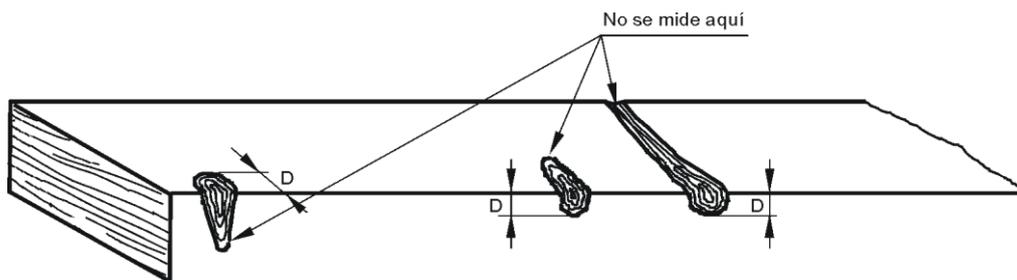


Figura 15 – Medición de nudo de artista



Los nudos que se manifiesten sobre una cara o sobre un canto en la misma sección transversal o en una longitud de la tabla igual a su ancho, se consideran como un agrupamiento de unidos. Si los mismos no se solapan al proyectarlos sobre la sección transversal, la nudosidad se expresará como el cociente entre la suma de las medidas individuales de los nudos que conforman el agrupamiento y el ancho de la cara o del canto donde se manifiestan. En el caso de que existan solapamientos, las medidas solapadas se consideran una sola vez.

Son algunos nudos representativos de los encontrados en las muestras analizadas los de las Figuras 16 a 21.



Figuras 16 a 21 – Distintos tipos de nudos

Los nudos son el principal criterio para la evaluación visual de la madera según su resistencia ya que su presencia supone una desviación de las fibras adyacentes a él y la consiguiente reducción de resistencia local del espécimen.

Cuando la presencia de nudos es importante y la calidad de la madera baja, rara vez la madera no presenta linealidades en su comportamiento cuando es sometida a esfuerzos de tracción o flexión, por lo que su estudio hasta la rotura se aproxima a la de un material elástico lineal de rotura frágil.

3. Inclinación del grano (Dirección de las fibras)

La dirección de las fibras se mide con relación al eje longitudinal de la pieza. Su desviación se expresa como cociente entre la medida que se aparta del eje y el largo de la pieza sobre la cual se efectúa la medida.

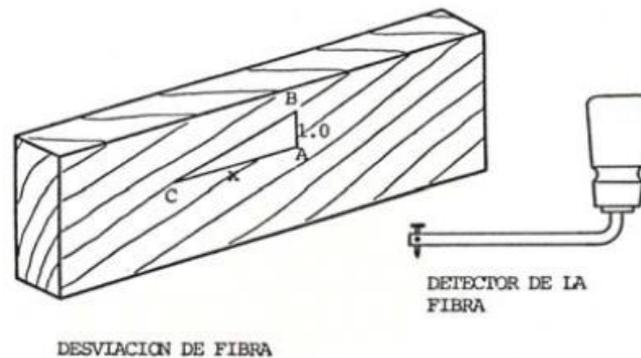


Figura 22 – Inclinación del grano

Se considera solamente la dirección general de las fibras. Desviaciones locales, como las que ocurren alrededor de los nudos, no se tienen en cuenta.

4. Densidad

La densidad aparente se determina con referencia al contenido de humedad de la pieza, de acuerdo con la IRAM 9544. Se evalúa post-ensayo a flexión sobre una fracción del espécimen.

5. Fisuras

Se registra el largo de las fisuras en la dirección del eje longitudinal de la pieza. Se debe distinguir entre fisuras pasantes (rajadura), o sea que se manifiestan sobre dos superficies opuestas de la pieza, y las no pasantes (grieta).

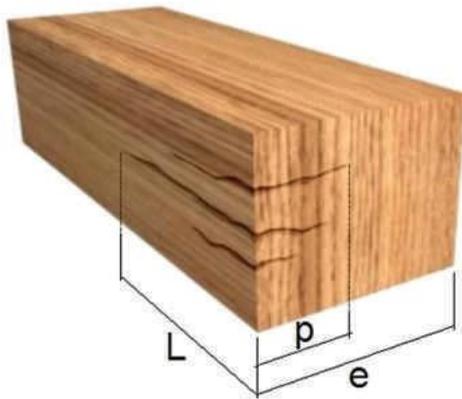


Figura 23 – Grieta
(fisura no pasante)

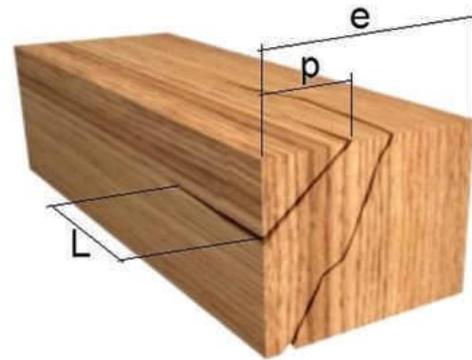


Figura 24 – Rajadura
(fisura pasante)

Las fisuras no pasantes que no penetran más que la mitad del espesor pueden ser ignoradas. En el caso de fisuras del mismo tipo, se debe considerar la suma de sus longitudes.

6. Alabeos

En todos los casos los alabeos se expresan en milímetros. Se distinguen los alabeos siguientes.

- ❖ **Combado y encorvado.** Para las flechas de cara y de canto se registra la deformación mayor (d) que exista en un largo (L) de 2,0 m con respecto al eje longitudinal. Para piezas con largo menor a 2,0 m se registra la deformación existente en todo el largo de las mismas.

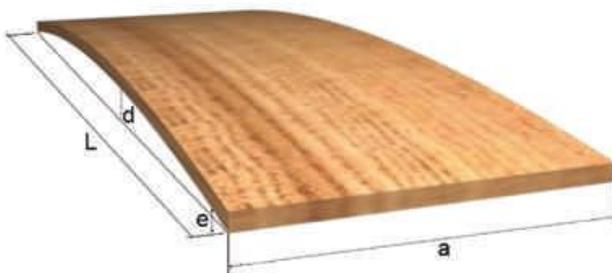


Figura 25 – Combado

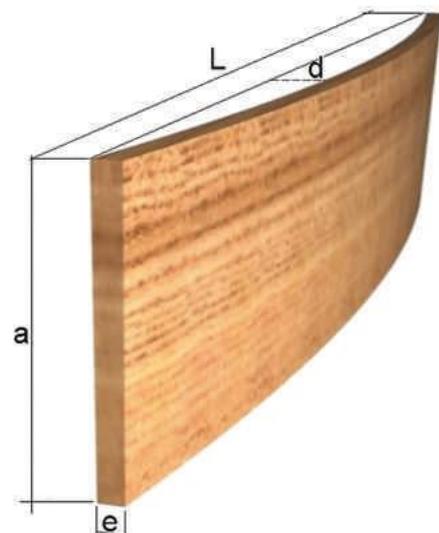


Figura 26 – Encorvado

- ❖ **Revirado.** Se mide como la deformación máxima (d) de la superficie, sobre un largo de 2,0 m de la pieza.

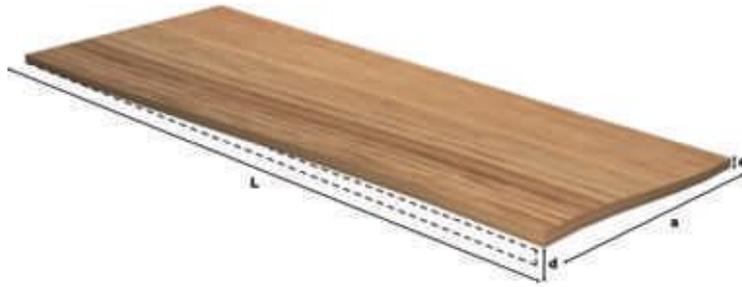


Figura 27 – Revirado

- ❖ **Abarquillado.** Se mide como la deformación máxima (d) sobre el ancho (a) de la pieza.

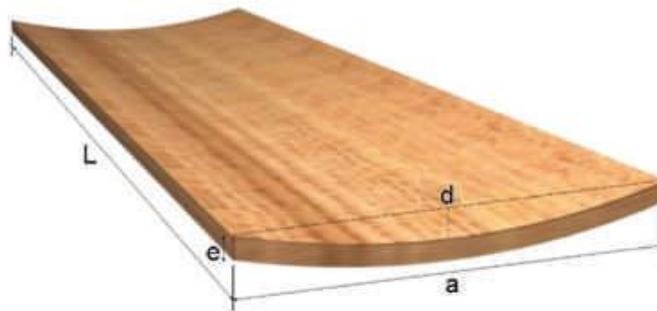


Figura 28 – Abarquillado

7. Arista Faltante

Se registra el mayor ancho de arista faltante transversal y perpendicularmente al eje de la pieza y se expresa como una fracción decimal del ancho de la cara y el canto donde aparece.

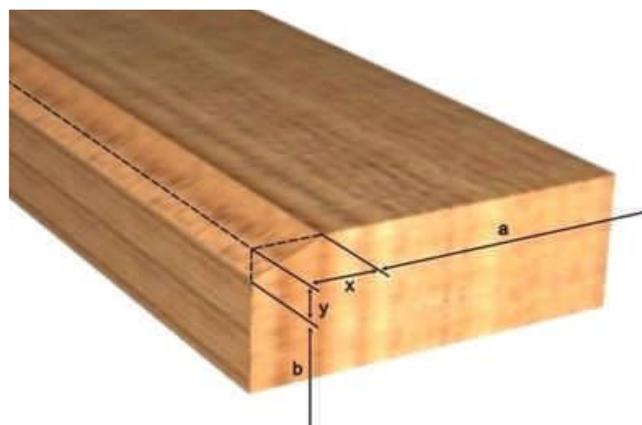


Figura 29 – Arista faltante



Son ejemplos de especímenes con presencia de arista faltante en muestras ensayadas los de las figuras 30 y 31.



Figuras 30 y 31 – Ejemplos de Arista faltante

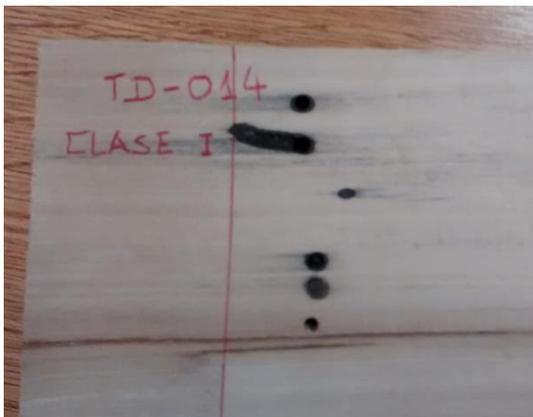
8. Ataques Biológicos

Se registra cualitativamente la presencia de zonas atacadas por hongos destructores de la madera, causantes de pudrición, y por hongos cromógenos, causantes de azulado y enmohecimiento.

Se registra la presencia de orificios originados por ataques de insectos. Particularmente ataque por taladrillo (*Platypus sulcatus*), causante de significativa pérdida de resistencia en la madera de álamo, en cualquiera de sus clones, debido a una disminución considerable de la sección en donde se generan las canalizaciones por el insecto.

El ataque se expresa por la medida del diámetro mayor, expresado en milímetros.

Son ejemplos de especímenes con presencia de perforaciones por ataque biológico de insectos los de las figuras 32 a 34.



Figuras 32 a 34 – Ataque biológico por taladrillo



CLASIFICACIÓN MECÁNICA DE TABLAS POR RESISTENCIA

Se adopta la clasificación mecánica por resistencia de tablas aserradas mediante la determinación de las propiedades físico-mecánicas definida en la norma IRAM 9663.

Esta norma que se basa en la norma EN 408, establece métodos para la determinación en laboratorio de diversas propiedades físicas y mecánicas de la madera en sus dimensiones reales de empleo.

Los valores obtenidos en cualquier determinación de las propiedades de la madera dependen de los métodos de ensayo aplicados. Por tanto es deseable que estos métodos estén normalizados, con el fin de que los resultados obtenidos por diferentes centros de ensayos puedan compararse.

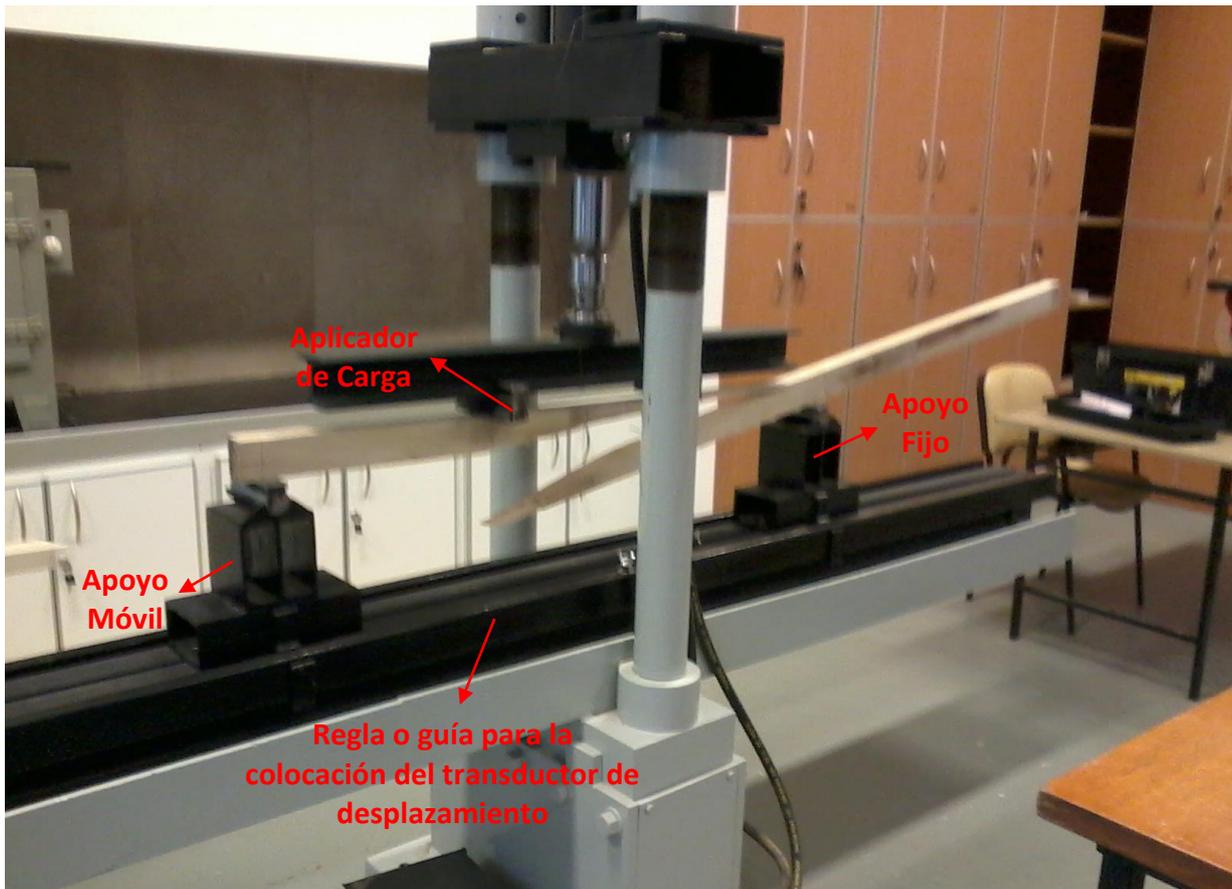
Pocedimiento para madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural

EQUIPO UTILIZADO:

Se utiliza una prensa hidráulica conectada a un Data Logger que registra los valores de la celda de carga y a la vez los desplazamientos obtenidos en el transductor. Estos datos son enviados por el Data Logger a una computadora de la cual se descargan las ternas de tiempo-carga-desplazamiento para poder determinar Módulo de Elasticidad a flexión y el Módulo Resistente (MOE y MOR respectivamente).



Figuras 35 – Prensa hidráulica



Figuras 36 – Sistema de aplicación de cargas

DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD LOCAL EN FLEXIÓN

1. Probeta

La longitud de la probeta debe ser como mínimo igual a 19 veces la altura de la sección. Cuando esto no es posible se informa la distancia entre apoyos aplicada en el ensayo.

2. Procedimiento operatorio

La probeta se debe cargar en flexión sobre dos puntos simétricos con una luz igual a 18 veces la altura, tal como se indica en la figura 37. Si la probeta y el dispositivo de ensayo no permiten aplicar exactamente estas condiciones, se admite modificar la distancia entre los puntos de carga y los apoyos hasta una longitud no mayor de 1,5 veces la altura de la probeta. La luz y longitud de la misma puede modificarse en una cantidad no superior a tres veces la altura como máximo, siempre conservando en el ensayo las condiciones de simetría.



La probeta debe quedar simplemente apoyada.

Entre la probeta y los apoyos o los puntos de aplicación de la carga, se pueden introducir unas pequeñas placas de acero de ancho no mayor que la mitad de la altura de la probeta, con objeto de reducir el aplastamiento de la madera en esas zonas.

Si es necesario, se pueden introducir topes laterales para evitar el pandeo lateral de la probeta. Estos topes deben permitir la deformación de la probeta sin resistencia de rozamiento significativa.

La carga se debe aplicar con una velocidad constante. La velocidad de avance del cabezal de carga no debe superar los $(0,003 d)$ mm/s.

La carga máxima aplicada no debe superar el 40% de la carga máxima estimada y no debe dañar la probeta excepto si este ensayo se realiza conjuntamente con el de determinación del módulo de rotura.

La carga máxima estimada $P_{\text{máx,est}}$ del material ensayado se debe obtener con los resultados de diez probetas como mínimo, de la especie, tamaño y calidad adecuadas o partiendo de datos de ensayos preexistentes.

El dispositivo de carga utilizado debe permitir la medición de la fuerza con una precisión del 1% de la carga aplicada a la probeta, o para cargas inferiores al 10% de la carga máxima, con una precisión del 0,1% de la carga máxima aplicada.

Debe tomarse como deformación w la media de las mediciones en ambas caras en el eje neutro, y debe medirse en el punto medio de un segmento de longitud igual a cinco veces la altura de la probeta.

El dispositivo de medición debe ser capaz de medir las deformaciones con una precisión del 1%, o para flechas inferiores a 2 mm, con precisión de 0,02 mm.

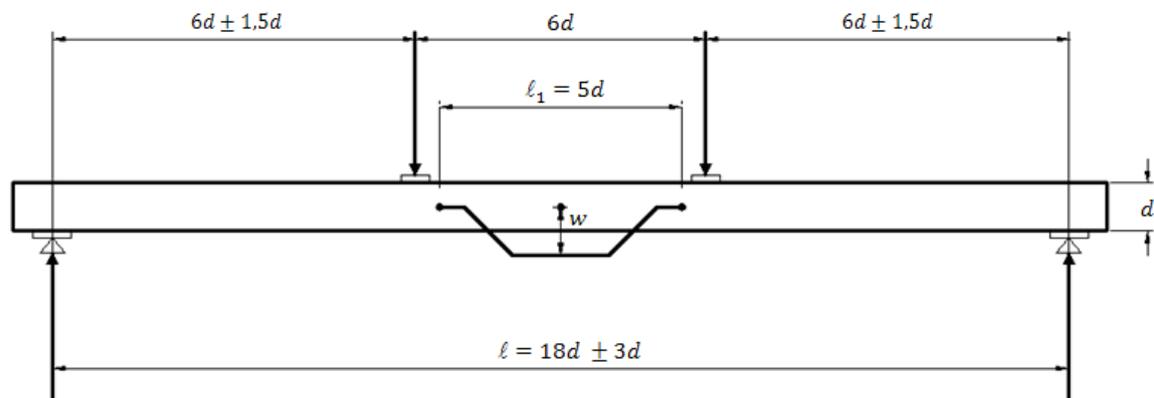


Figura 37 – Dispositivo de ensayo para la medición del módulo de elasticidad local en flexión

3. Expresión de los Resultados

Del conjunto de valores carga/deformación obtenidos del ensayo de determinación del módulo de elasticidad local, se utiliza el tramo de valores comprendidos entre $0,1 P_{\text{máx,est}}$ y $0,4 P_{\text{máx,est}}$.

Para las determinaciones del módulo de elasticidad, se toma el tramo más largo del conjunto de valores que da un coeficiente de correlación de 0,99 o mejor, con la condición de que se encuentre incluido en el tramo comprendido entre $0,2 P_{\text{máx,est}}$ y $0,3 P_{\text{máx,est}}$; calculándose el módulo de elasticidad local con la fórmula siguiente:

$$E_{m,\ell} = \frac{a l_1^2 (P_2 - P_1)}{16 I (w_2 - w_1)}$$

siendo:

- $P_2 - P_1$ el incremento de carga en Newton en la recta de regresión con un coeficiente de correlación de 0,99 o mejor, y
- $w_2 - w_1$ el incremento de deformación en milímetros correspondiente a $P_2 - P_1$.

El módulo de elasticidad local $E_{m,1}$ debe calcularse con una precisión del 1%.

Si no se puede encontrar una parte del gráfico con un coeficiente de correlación de 0,99 o mejor que incluya el tramo comprendido entre $0,2 P_{\text{máx,est}}$ y $0,3 P_{\text{máx,est}}$, se verifica el dispositivo de carga y se toman las medidas adecuadas para eliminar los errores provocados por muestras deformadas. Si sigue sin alcanzarse el 0,99, se rechaza la muestra.

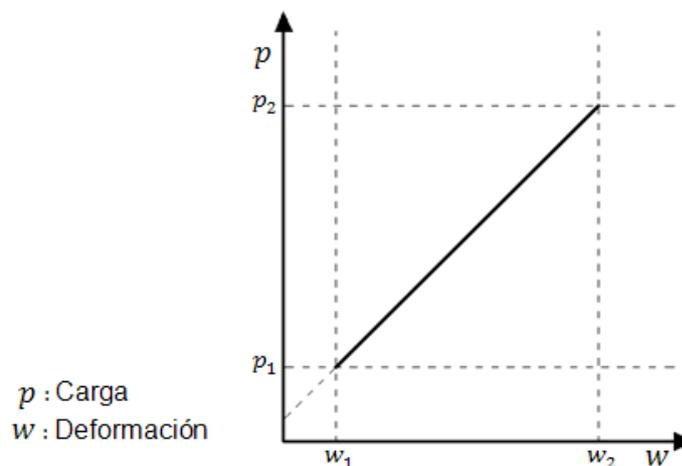


Gráfico 1 – Recta carga-deformación dentro de los márgenes de deformación elástica



DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD GLOBAL EN FLEXIÓN

1. Probeta

La longitud de la probeta debe ser como mínimo igual a 19 veces la altura nominal de la sección. Cuando esto no sea posible, en el informe de ensayo debe reflejarse la luz aplicada.

2. Procedimiento operatorio

La probeta se debe cargar en flexión sobre dos puntos simétricos con una luz igual a 18 veces la altura tal como se indica en la figura 37. Si la probeta y el dispositivo de ensayo no permiten aplicar exactamente estas condiciones, se admite modificar la distancia entre los puntos de carga y los apoyos hasta una longitud no mayor de 1,5 veces el canto de la probeta. La luz y longitud de la misma pueden modificarse en una cantidad no superior a tres veces la altura como máximo, siempre conservando en el ensayo las condiciones de simetría.

La probeta debe quedar simplemente apoyada.

Entre la probeta y los apoyos o los puntos de aplicación de la carga, se pueden introducir unas pequeñas placas de acero, de ancho no mayor que la mitad de la altura de la probeta, con objeto de reducir el aplastamiento de la madera en esas zonas.

Si es necesario, se pueden introducir topes laterales para evitar el pandeo lateral de la probeta. Estos topes deben permitir la deformación de la probeta sin resistencia de rozamiento significativa.

La carga se debe aplicar con una velocidad constante. La velocidad de desplazamiento del cabezal de carga no debe superar los $(0,003 d)$ mm/s.

La carga máxima aplicada no debe superar $0,4 P_{\text{máx,est}}$ y no debe dañar la probeta, excepto si este ensayo se realiza conjuntamente con el de determinación del módulo de rotura.

La carga máxima estimada $P_{\text{máx,est}}$ del material ensayado se debe obtener con los resultados de diez probetas como mínimo, de la especie, tamaño y calidad adecuada o partiendo de datos de ensayo preexistentes.

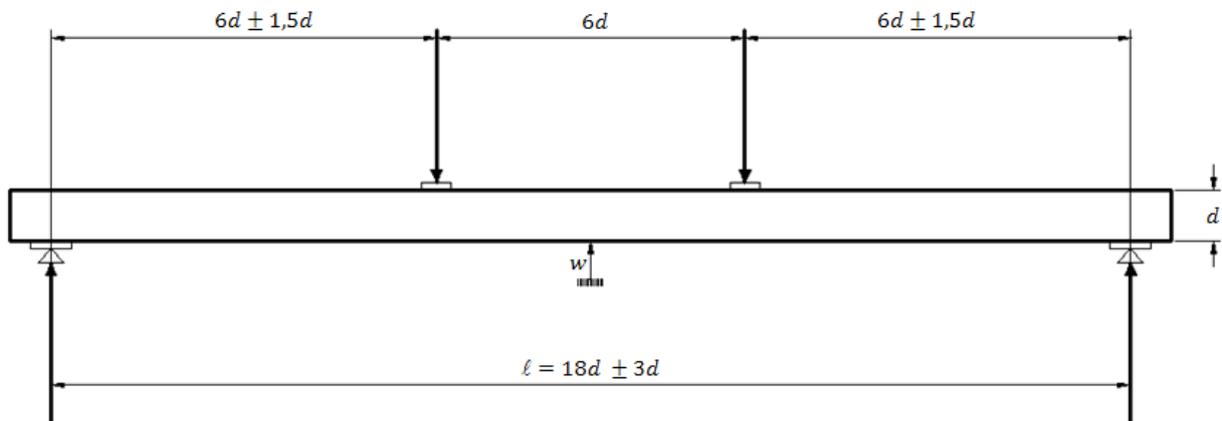


Figura 38 – Dispositivo de ensayo para la medición del módulo de elasticidad global en flexión

El dispositivo de carga utilizado debe permitir la medición de la fuerza con una precisión del 1% de la carga aplicada a la probeta o, para cargas inferiores al 10% de la carga máxima, con una precisión del 0,1% de la carga máxima aplicada.

La deformación w debe medirse en el centro de la luz y en el centro del borde traccionado o comprimido. Cuando w se mide en el eje neutro, debe tomarse la media de las mediciones realizadas en ambas caras de la probeta.

El dispositivo de medición debe ser capaz de medir las deformaciones con una precisión del 1%, o para deformaciones inferiores a 2 mm, con precisión de 0,02 mm.

Si la configuración del ensayo difiere de lo descrito anteriormente en cualquier aspecto, debe informarse de dichas diferencias y deben determinarse factores de corrección.

La deformación w incluye cualquier aplastamiento local que pueda darse en los apoyos y en los puntos de carga, y la deformación de los propios apoyos.

Se admiten otros métodos de ensayo basados en el módulo de elasticidad dinámico, siempre que se establezca y documente correctamente la correlación entre el módulo de elasticidad dinámico medido y el módulo de elasticidad global.



3. Expresión de los resultados

Del conjunto de valores carga/deformación obtenidos del ensayo de determinación del módulo de elasticidad global, se utiliza el tramo de valores comprendidos entre $0,1 P_{m\acute{a}x,est}$ y $0,4 P_{m\acute{a}x,est}$.

Para las determinaciones del módulo de elasticidad, se toma el tramo más largo del conjunto de valores que da un coeficiente de correlación de 0,99 o mejor, con la condición de que se encuentre incluido en el tramo comprendido entre $0,2 P_{m\acute{a}x,est}$ y $0,3 P_{m\acute{a}x,est}$; calculándose el módulo de elasticidad global con la fórmula siguiente:

$$E_{m,g} = \frac{3a\ell^2 - 4a^3}{2bd^3 \left(2 \frac{w_2 - w_1}{P_2 - P_1} \right)}$$

siendo:

- $P_2 - P_1$ el incremento de carga sobre la línea de regresión en Newton, con un coeficiente de correlación de 0,99 o mejor; y
- $w_2 - w_1$ el incremento de deformación correspondiente a $P_2 - P_1$ en milímetros (ver la gráfico 1).

El módulo de elasticidad debe calcularse con una precisión del 1%.

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN

1. Probetas

Para la determinación de la resistencia a la flexión, la probeta debe tener normalmente una longitud mínima de 19 veces el alto de la sección. Cuando esto no sea posible, se debe anotar en el informe de ensayo la luz de la probeta.

Para la determinación de la resistencia a la flexión en madera con empalmes por unión dentada, la probeta debe tener una longitud mínima equivalente a 16 veces la altura de la sección. Cuando esto no sea posible se debe anotar en el informe de ensayo la luz de la probeta.

2. Procedimiento operatorio

Para la determinación de la resistencia a la flexión la probeta se debe cargar en flexión simétricamente en dos puntos sobre una luz igual a 18 veces la altura (ver la figura 38).

Si la probeta y el equipo de ensayo no permiten alcanzar exactamente estas condiciones, la distancia, entre los apoyos y los puntos de aplicación de la carga, puede variar hasta una cantidad no mayor que 1,5 veces la altura de la probeta. La longitud de la misma y la luz del ensayo pueden variarse hasta una cantidad no superior a tres veces la altura de la probeta, siempre que se mantenga la simetría del ensayo.

La probeta debe estar simplemente apoyada.

Entre la probeta y los apoyos o los puntos de aplicación de la carga, se pueden introducir unas placas de acero, de ancho no mayor que la mitad de la altura de la probeta, con el objeto de reducir el aplastamiento de la madera en esas zonas.

Se deben introducir topes laterales para evitar el vuelco o pandeo lateral de la probeta de tal forma que estos permitan la deformación de esta sin provocar resistencia significativa de rozamiento.

La carga se debe aplicar con una velocidad constante del cabezal de carga hasta la rotura. La velocidad de avance del cabezal de carga no debe ser mayor que $(0,003 d)$ mm/s. La rotura de la probeta debería alcanzarse en un tiempo de (300 ± 120) segundos.

Deben reflejarse en el informe de ensayo las roturas que no sean provocadas por esfuerzos de flexión.

Debe anotarse la carga máxima de flexión ($P_{\text{máx}}$).

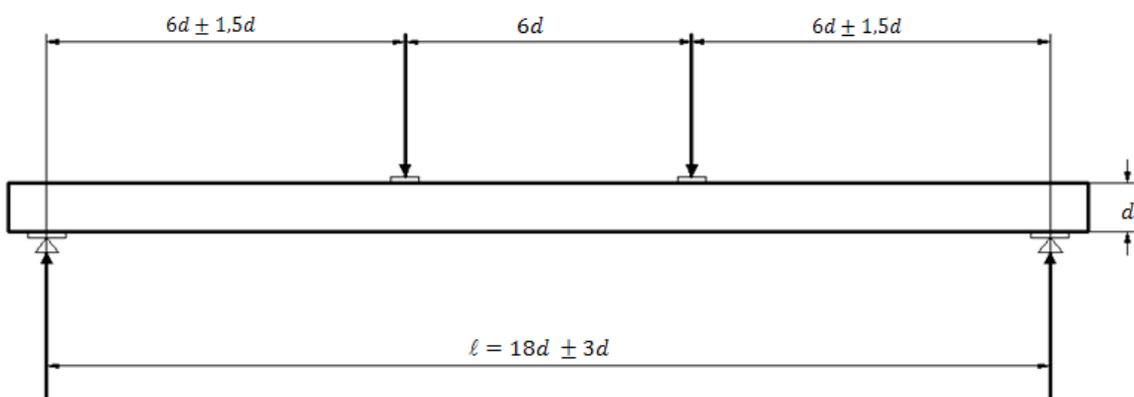


Figura 39 – Dispositivo de ensayo para la medición de la resistencia a la flexión



El equipo de carga utilizado para permitir la medición de la carga con una precisión del 1% de la carga aplicada a la probeta, o para cargas inferiores al 10% de la carga máxima aplicada, con una precisión del 0,1% de la carga máxima aplicada.

3. Expresión de los resultados

La resistencia a flexión se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$F_m = \frac{3 P_{m\acute{a}x} a}{bd^2}$$

La resistencia a la flexión se debe calcular con una precisión del 1%.

Deben anotarse la forma de rotura y las características de crecimiento en la sección de rotura de cada probeta.

DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE LAS PROBETAS

La humedad de las probetas se debe determinar sobre una rebanada tomada en ellas de acuerdo con la IRAM 9532. Para la madera estructural se debe tomar una rebanada de la sección completa, libre de nudos y bolsas de resina.

La sección se debe tomar tan cerca como sea posible de la zona de rotura.

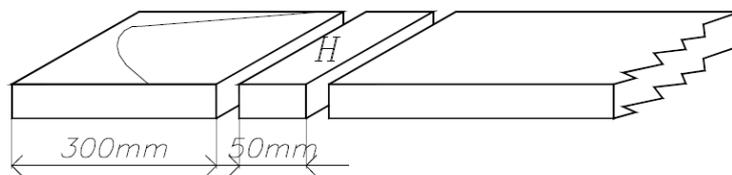


Figura 40 – Extracción de una muestra de humedad

Debido a que el árbol en pie contiene savia, la madera recién extraída de él generalmente posee un alto contenido de humedad. El contenido de humedad es la masa de agua presente en una pieza de madera, expresada como un porcentaje de la masa de la pieza anhidra.



La madera es un material higroscópico. Absorbe o entrega agua según sean las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente que la rodea. En una primera etapa la madera se encuentra con sus cavidades y paredes celulares llenas de agua (savia). Esta propiedad hace que el contenido de humedad de la madera sea variable, dependiendo del ambiente en que se encuentre. Al iniciarse un proceso de pérdida de humedad, la madera entrega al ambiente el agua libre contenida en sus cavidades, hasta alcanzar un punto denominado como “punto de saturación de la fibra”, que corresponde a un estado en el cual se ha eliminado el agua libre y las paredes celulares permanecen saturadas.

El contenido de humedad en el punto de saturación de la fibra o simplemente “punto de saturación de la fibra” (PSF), depende de diversos factores y varía para las diferentes especies; sin embargo, se acepta un 28 % - 30% como promedio para la madera en general. Por debajo del punto de saturación de la fibra y al continuar el proceso de evaporación, la madera cede el agua contenida en sus paredes celulares, hasta alcanzar un punto en el cual el proceso se detiene. Este punto se conoce como “Humedad de Equilibrio” de la madera y depende, fundamentalmente, de la especie, la temperatura y la humedad relativa del ambiente. La pérdida de humedad por debajo de este estado de equilibrio sólo podrá conseguirse por medio de tratamientos especiales de secado en hornos o estufas. De esta manera es posible obtener la sequedad completa o “madera anhidra”.

Medición del Contenido de Humedad

Existen dos métodos para la determinación de la humedad en la madera y ellos son:

- ❖ **Método Directo o Destructivo:** En los cuales la humedad se separa de los otros componentes inherentes de la madera. Ejemplo: Método de Secado en estufa, Método de destilación.
- ❖ **Método Indirecto o no Destructivo:** En los cuales las mediciones son efectuadas a través de dispositivos tipo tester.

Método de secado en estufa:

- Horno eléctrico
- Temperatura de 103 ± 3 ° C
- Tiempo de secado hasta peso constante, aproximadamente 20 a 60 horas, según la especie, tamaño y contenido de humedad inicial.
- Balanza de precisión 0,01 gramos.



VENTAJAS	DESVENTAJAS
El método es atractivamente simple	Es un método destructivo
Da resultados exactos	Existe demora en la obtención del resultado
Es aplicable a especies con alto contenido de resinas o aceites volátiles a baja temperatura	El contenido de humedad corresponde a una pequeña muestra de la pieza, que puede ser no representativa.
No requiere de instrumentos muy costosos	El resultado debe ser calculado.

Tabla 5 – Cuadro comparativo de ventajas y desventajas del secado en estufa

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Es un método no destructivo.	Trabajan en un rango
Puede ser usado en terreno y en madera "in situ"	Sobre elevados valores no es preciso, solo indica que la madera está verde.
Es aplicable a especies con alto contenido de resinas o aceites volátiles a baja temperatura	No puede ser aplicada en maderas impregnadas.
Son pequeños, portátiles y livianos	---
Entregan el resultado inmediatamente.	---

Tabla 6 – Cuadro corporativo de ventajas y desventajas del medidor de humedad

En la práctica se utiliza el método de la estufa debido a que la norma no permite el uso de testers y además así aseguramos tener los valores correctos de humedad y densidad analizados.

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LAS PROBETAS

La densidad de las probetas se debe determinar a partir de una rebanada de la misma. Para la madera estructural la rebanada se debe tomar de la sección completa y debe estar libre de nudos y bolsas de resina.

La sección se debe tomar tan cerca como sea posible de la zona de rotura; pudiéndose destinar la misma rebanada que se usó para la determinación de la humedad.

Se procura, además, prever que la toma de esta muestra no sea próxima a los extremos de la pieza debido a que en esta zona la humedad puede ser mayor debido a la higroscopia de la madera.



ANALISIS DE DATOS

1. Determinación del percentil 5 de la muestra

Para cada muestra, se debe obtener el valor F_{05} del percentil 5 clasificando todos los resultados de ensayo de una muestra en orden creciente. El quinto percentil es el valor por debajo del cual se encuentra el 5% de los resultados. Si este valor no se corresponde con un resultado de ensayo real (es decir si el número de resultados de ensayo no es divisible por 20), se requiere la interpolación entre dos resultados de ensayo adyacentes.

2. Determinación del valor medio del módulo de elasticidad de la muestra

El valor medio del módulo de elasticidad \bar{E} de la muestra se debe calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{E} = \Sigma E_i / n$$

siendo: E_i el i -ésimo valor del módulo de elasticidad, desde 1 hasta n (en Newton por milímetro cuadrado).

3. Condiciones de referencia

❖ **Contenido de humedad**

El contenido de humedad de referencia debe ser el correspondiente a una temperatura de 20°C y una humedad relativa del 65%.

Para la mayor parte de las especies, esta humedad es del orden del 12%.

❖ **Resistencia a la flexión**

Las condiciones de referencia se corresponden con un canto de 150 mm y a un dispositivo de ensayo normalizado, con aplicación de la carga a tercios de la luz y con una luz total igual a 18 veces el canto de la probeta.

4. Factores de corrección

❖ **Generalidades**

El percentil 5 o el valor medio de cada muestra deben corregirse respecto a las condiciones de referencia normalizadas como se indica a continuación.



❖ Contenido de humedad de las muestras

Los valores de las probetas no ensayadas en las condiciones de referencia, cuyo contenido de humedad este comprendido entre el 8% y el 18% deben ajustarse al 12% (o a otro valor de contenido de humedad para el cual se haya demostrado mediante ensayo que es más adecuado como valor de referencia para la especie) como se indica a continuación. Si se dispone de otros factores más adecuados obtenidos mediante ensayo deben entonces utilizarse en lugar de estos. En este ajuste, las probetas cuyo contenido de humedad sea mayor del 18% deben corregirse desde un contenido de humedad del 18% y no desde su contenido de humedad real.

Para la resistencia a flexión y a tracción: no es necesaria corrección.

Para la resistencia a compresión paralela a la fibra: corrección del 3% por cada variación del 1% del contenido de humedad.

Para el módulo de elasticidad: corrección del 1% por cada variación del 1% del contenido de humedad.

Para la resistencia a compresión paralela a la fibra y el módulo de elasticidad: las correcciones deben realizarse de forma que las propiedades aumenten si los datos se corrigen desde un contenido de humedad mayor y viceversa.

❖ Medidas de la pieza y longitud de ensayo

El percentil 5 de la resistencia a flexión y a tracción debe corregirse a un canto de referencia o una anchura de 150 mm, dividiendo por:

$$k_d = \left(\frac{150}{d} \right)^{0,2}$$

Cuando el dispositivo de ensayo en flexión no sea conforme a la norma IRAM 9663-1 (es decir luz, $\ell = 18 d$ y distancia entre puntos de carga $a_f = 6 d$) el percentil 5 de la resistencia a flexión deberá corregirse dividiendo por:

$$k_l = \left(\frac{48 d}{\ell_{et}} \right)^{0,2}$$

donde

$$\ell_{et} = \ell + 5 a_f$$

donde

a_f y ℓ tienen respectivamente los valores establecidos para el ensayo.

