

# CARACTERIZACIÓN DE LA MADERA

## CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA DE PINO SILVESTRE PARA USO ESTRUCTURAL

**Santiago Vignote Peña**  
**Universidad Politécnica de Madrid**

**NOMBRE CIENTÍFICO:** *Pinus sylvestris* L.

ORDEN: Coníferas.

FAMILIA: Pinaceae.

SUBFAMILIA: Pinoideae

**SINONIMIAS.**

*P. Rubra* Nill. = *Pinus borealis* Saliab. = *P. Binatifolia* Gilb.

### **NOMBRES COMUNES Y COMERCIALES.**

Pino silvestre.

Pino albar

Pino Baza

Pi blancal, Pi bord (Cataluña)

Pino blanquillo(Guadarrama)

Pino Burgos

Pino Cuenca

Pino Valsaín (Segovia, Guadarrama)

Pino rojal (Levante, Aragón y Cataluña)

Pino rojo

Pino royo (Pirineo de Huesca))

Pino serrano (S<sup>a</sup> de Gredos)

Pino Soria

Leher, leher gorri, Belorita (País Vasco)

Por su procedencia también recibe los nombres: Pino norte, pino riga, pino ruso, pino Suecia.

### **NOMBRES EXTRANJEROS.**

Scots pine, Baltic redwood, Norway fir, Scots fir, wild pine , Scotch pine, Scottish pine (inglés).

Förhe, Weiss, Gemeine kiefer, Wald kiefer (alemán).

Pinheiro silvestre (portugués).

Furu (sueco).

Mänty (finlandés).

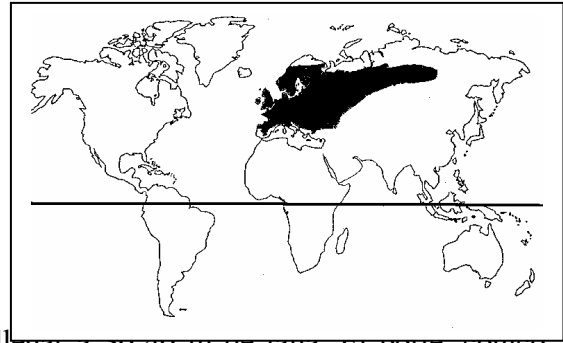
Sosna (ruso).

### **DISTRIBUCIÓN EN EL MUNDO Y EN ESPAÑA**

El silvestre es el pino de mayor área natural y el de mayor difusión en Europa y Asia. Se extiende, en dirección sur-norte desde Sierra Nevada hasta el Norte de Noruega (donde forma el límite septentrional de la vegetación arbórea); y en dirección oeste-este, desde Escocia hasta los Urales, y desde allí hasta las partes más orientales de China y Rusia.

## Esquema nº1: Distribución del pino silvestre en el mundo

En España, existen tres grandes zonas de habitación en las cordilleras Pirenaica, Ibérica y Central, más otra serie de representaciones menores tales como el pinar de Lillo (León) en la Cordillera Cantábrica, S<sup>a</sup> del Maestrazgo (Castellón), S<sup>a</sup> de Baza, S<sup>a</sup> Nevada y otros puntos del NO de España.



### DESCRIPCIÓN DEL FUSTE.

El pino silvestre es un árbol elevado, que puede llegar a 30-40 m de tana. El porte, como piramidal de joven, va deformándose, y los pies viejos suelen tener sin ramas el lado expuesta a los vientos fríos o a la sombra.

El tronco es derecho, cilíndrico y recto, especialmente en espesura, con ramificación escasa, que en las partes bajas desaparece por poda natural quedando reducida al tercio superior. La corteza es delgada, primero gris-verdosa, luego escamoso asalmonada en el tercio superior del fuste y base de las ramas. En los pies adultos y viejos, la parte baja del tronco lleva una corteza más gruesa, con fisuras longitudinales o irregulares que limitan teselas oscuras, pardo-rojizas o pardo-negruczas.

El crecimiento en altura puede dar lugar en sitios buenos a un fuste de 30 m a los 120 años, mientras que en estación mediocre no pasa de 20 m a la misma edad. En general el crecimiento en altura se retarda hacia los 40 años y cesa entre 100 y 120 años, lo que ya nos da un tope para los turnos. Se podría definir un crecimiento volumétrico que varía entre 1.5 y 5 m<sup>3</sup>/ha, siendo lo normal en España 3 m<sup>3</sup>/ha.

### DESCRIPCIÓN DE LAS TROZAS.

El fuste suele presentar una **conicidad** menos acusada que en otras especies de pinos, de 3 a 7 mm. de diámetro por metro de longitud para las mejores procedencias, y de 11 a 12 mm. en el resto de los casos. Por esta razón las trozas que se obtienen son también bastante rectas.

La **nudosidad** también depende de la procedencia y del tratamiento selvícola, pero en España es normal la existencia de pocos nudos en las primeras trozas de los árboles maduros, y nudos bastante abundantes de tamaño mediano a grande en las trozas superiores.

Otros defectos menos frecuentes de las trozas, son el **azulado** (que denota una mala gestión de los aprovechamientos), el **corazón podrido** (frecuente a partir de pies de más de 120-140 años), **madera de compresión** (árboles torcidos e inclinados), **bolsas de resina**, **madera juvenil** (aunque no muy pronunciada), irregularidad de crecimiento,...

### DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA.

La **albura** es muy clara, de color amarillento que ocupa los últimos 50 años de crecimiento, teniendo una anchura de alrededor de 10cm. El **duramen** es de color rosado a marrón rojizo, fácilmente distinguible de la albura. El color de los nudos varía desde marrón oscuro hasta

negruzco.

Los **anillos de crecimiento** se distinguen perfectamente. La madera de otoño marrón destaca sobre la de primavera blanco amarillenta. En el duramen la madera de otoño pasa a color pardo-rojizo muy pronunciado sobre el color rosado a marrón rojizo de la de primavera.

La anchura de los anillos de crecimiento varía desde 1-3 mm. hasta los 7-8 mm.

La **textura** es en general pequeña.

Los **canales resiníferos** son numerosos, poco evidentes, de pequeño a mediano tamaño, aislados o, a veces, en parejas. Se reparten por toda la madera de otoño, o en el límite con la de primavera. En sección transversal aparecen como puntos blancos, y en secciones longitudinales, como líneas marrones finas y cortas.

La **fibra** es en general muy recta.

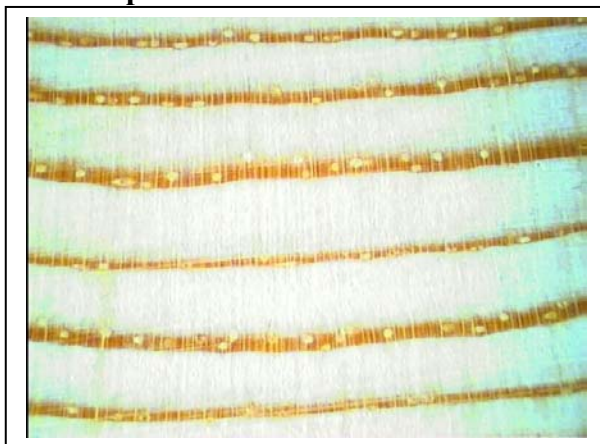
El **grano** puede clasificarse como fino a medio-basto.

El **olor** de la resina es intenso en la madera fresca y persiste algún tiempo después del secado.

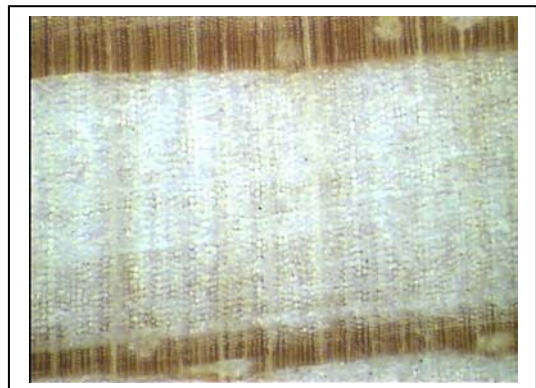
Foto nº12: Aspecto macroscópico de la madera de pino silvestre



Aspecto transversal x10

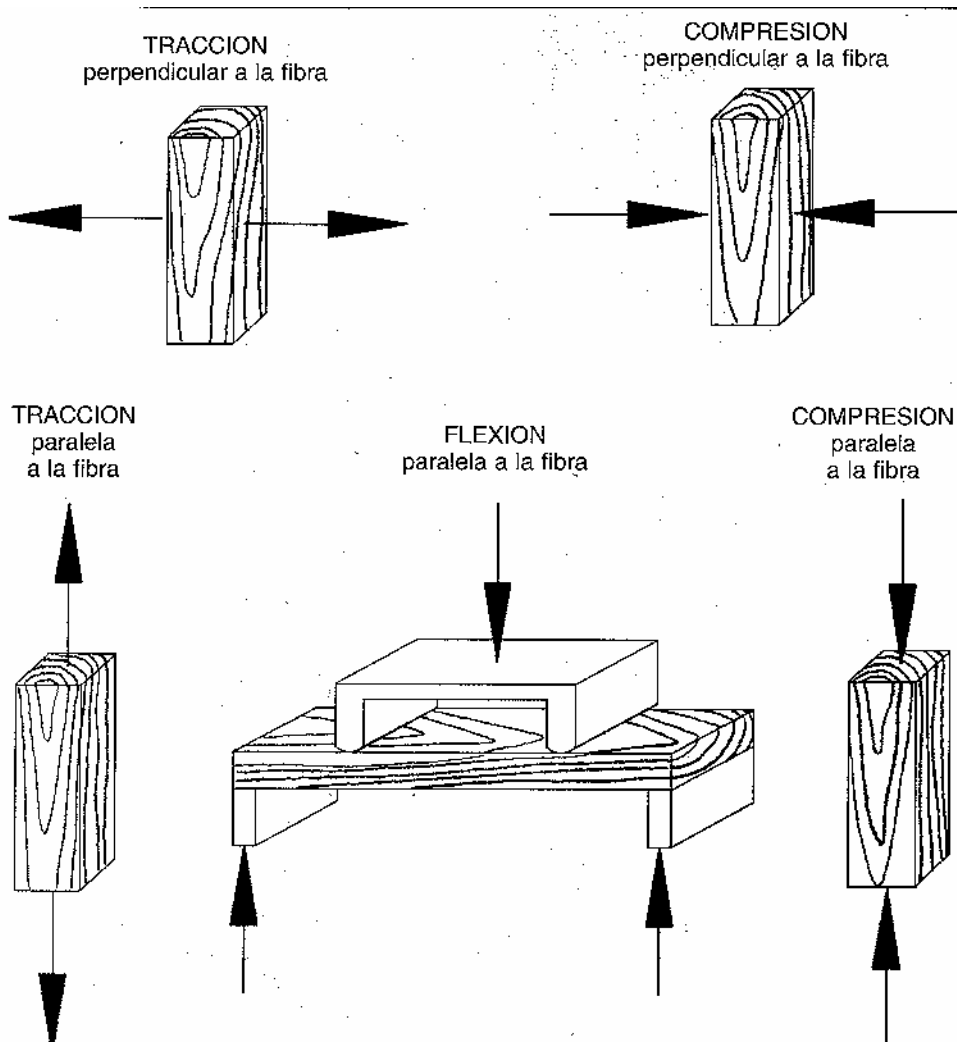


Aspecto transversal x40



## CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS.

Las características físicas y mecánicas de la madera libre de defectos y de muestras de pequeño tamaño son las que se indican a continuación. De todas las formas, la gran amplitud ecológica, hacen interesante la comparación de propiedades físicas y mecánicas entre maderas de distintas procedencias. Por ello, en la siguiente tabla figuran los datos obtenidos por Gutiérrez Oliva, 1.967, con muestras de estaciones en territorio peninsular y, entre paréntesis, datos procedentes de R. Wagenfuhr y C. Scheiber, 1.974, tomados a partir de muestras de mayores latitudes.



## CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

|   | Mínimo          | Medio           | Máximo          | Desv. Típica | Interpretación                   |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|----------------------------------|
| Densidad normal (peso específico aparente) gr/cm <sup>3</sup> | 0.432<br>(0.33) | 0.502<br>(0.5)  | 0.571<br>(0.89) | 0.042        | semipesada<br>(semipesada)       |
| Dureza radial Chalais-meudon(d).                              | 1.75            | 1.88            | 2.01            | 0.184        | blanda                           |
| Cota de dureza (d/m <sup>2</sup> )                            | 6.27            | 6.30            | 6.33            | 0.042        |                                  |
| Dureza tangencial chalais-meudon                              | 1.01            | 1.73            | 2.83            | 0.488        | blanda                           |
| Cota de dureza (d/m <sup>2</sup> )                            | 4.78            | 7.00            | 10.17           | 1.544        |                                  |
| Dureza brinell perpendicular                                  |                 | (1,9)           |                 |              |                                  |
| Dureza brinell paralela                                       |                 | (4,0)           |                 |              |                                  |
| Contracción volumétrica total (c <sub>v</sub> ).              | 10.5            | 12.75<br>(12.1) | 14.6            | 1.137        | media<br>(media)                 |
| Contracción lineal tangencial                                 | 6.82            | 7.05<br>(7.7)   | 7.28            | 0.325        |                                  |
| Contracción lineal radial                                     | 3.85            | 3.855<br>(4.0)  | 3.86            | 0.007        |                                  |
| Contracción lineal axial                                      |                 | (0.4)           |                 |              |                                  |
| Punto de saturación de la fibra.                              | 29              | 36              | 40              | 3.383        | elevado                          |
| Coefficiente de contracción volumétrica (c <sub>cv</sub> ).   | 0.27            | 0.36<br>(0.26)  | 0.43            | 0.046        | algo nerviosa<br>(poco nerviosa) |
| Coefficiente contracción tangencial                           | 0.21            | 0.235           | 0.26            | 0.035        |                                  |
| Coefficiente contracción radial                               | 0.12            | 0.13            | 0.14            | 0.014        |                                  |
| Relación c.c.tang./c.c. radial                                | 1.75            | 1.81            | 1.86            | 0.078        |                                  |
| Higroscopicidad   | 0.0020          | 0.0029          | 0.0035          | 0.00043      | normal                           |

### CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.

|   | Mínimo           | Medio             | Máximo             | Desv. Típica | Interpretación  |
|---|------------------|-------------------|--------------------|--------------|-----------------|
| Flexión estática. Carga de ruptura (f) kg/cm <sup>2</sup> | 811<br>(410)     | 1057<br>(1000)    | 1434<br>(2059)     | 164,88       | baja            |
| Cota de flexión (f/100).                                  | 17.5<br>(7.9)    | 21.32<br>(19.23)  | 28.2<br>(39.6)     | 2,671<br>-   | grande          |
| Cota de rigidez   | 19.3             | 27.1              | 34.5               | 4,246        | elástica        |
| Cota de perpendicular (f/c)                               | 2.2<br>(1.17)    | 2.6<br>(1.82)     | 3.1<br>(2.19)      | 0.255<br>-   | media           |
| Modulo de elasticidad (e).                                | 86500<br>(69000) | 94250<br>(120000) | 102000<br>(201000) | 1096.01      |                 |
| Modulo de elasticidad perpendicular a la fibra.           | (2700)           | (4600)            | (11200)            | -            |                 |
| Flexión dinámica o choque. Trabajo unitario (w)           | 0.14<br>(0.15)   | 0.22<br>(0.40)    | 0.34<br>(1.30)     | 0.058<br>-   | poco resistente |
| Cota dinámica (c <sub>d</sub> =w/d <sup>2</sup> ).        | 0.54<br>(0.55)   | 0.93<br>(1.48)    | 1.33<br>(4.81)     | 0.215<br>-   | media           |

### CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS (Continuación)

|  | Mínimo         | Medio          | Máximo         | Desv. Típica | Interpretación                      |
|--|----------------|----------------|----------------|--------------|-------------------------------------|
| Tracción paralela a la fibra. Resistencia a la rotura $\text{kg/cm}^2$                     |                | 1.020          |                |              |                                     |
| Tracción perpendicular a la fibra. Resistencia a rotura (s) $\text{kg/cm}^2$ . *<br>radial | 22<br>(10)     | 22<br>(30)     | 22<br>(44)     | 0<br>-       | pequeña<br>(mediana)                |
| Cota de calidad ( $c_c = s/100$ ).   | 0.44<br>(0.19) | 0.44<br>(0.58) | 0.44<br>(0.85) | 0<br>-       | adherencia media<br>(muy adherente) |
| Tracción perpendicular a la fibra. Resistencia a rotura $\text{kg/cm}^2$ .<br>Tangencial   | 16<br>(10)     | 19<br>(30)     | 24<br>(44)     | 3,646<br>-   | pequeña<br>(mediana)                |
| Cota de calidad ( $c_c = s/100$ ).   | 0.32<br>(0.19) | 0.38<br>(0.58) | 0.48<br>(0.85) | -<br>-       | adherencia media<br>(muy adherente) |
| Hienda. Resistencia a rotura (f) $\text{kg/cm}$  | 6.08           | 8.76           | 11.66          | 1,437        | pequeña                             |
| Cota de laminabilidad = cota estática ( $c_l = f/100$ )                                    | 0.12           | 0.17           | 0.23           | -            | muy laminable                       |
| Compresión paralela a la fibra. Carga de ruptura (c) $\text{kg/cm}^2$                      | 333<br>(350)   | 406<br>(550)   | 482<br>(940)   | 53,475<br>-  | mediana<br>(superior)               |
| Cota de calidad estática<br>( $c_c = c/100$ )  | 7.0<br>(6.73)  | 8.1<br>(10.58) | 9.5<br>(18.08) | 0.751<br>-   | mediana<br>(superior)               |
| Compresión perpendicular a la fibra. Carga de ruptura(c) $\text{kg/cm}^2$ .<br>Tangencial  | 69             | 81             | 93             | 16,971       |                                     |
| Cota de calidad ( $c_c = c/100$ ).   | 1.3            | 1.5            | 1.7            | 0.283        |                                     |
| Compresión perpendicular a la fibra. Carga de ruptura (c) ( $\text{kg/cm}^2$ ).<br>Radial  | 63             | 77             | 91             | 19,799       |                                     |
| Cota de calidad ( $c_c = c/100$ ).   | 1.2            | 1.45           | 1.7            | 0.354        |                                     |
| Esfuerzo cortante $\text{kg/cm}^2$ .   | (61)           | (100)          | (146)          |              |                                     |

## RESISTENCIA CARACTERÍSTICA

Los valores de resistencia anteriormente indicados son los valores medios de muestras de pequeña dimensión, sin defectos, con una humedad del 12%, y sometidos a ensayos de corta duración (entre 3 y 5 min), Pero la realidad es que en una estructura de madera se utilizan piezas de madera de dimensiones importantes, con defectos y humedades variables, estando la madera sometida a cargas de todo tipo, desde instantáneas como puede ser el viento, a permanentes, como pueden ser las cargas debidas al propio peso. Además en estructuras se debe utilizar los valores de resistencia que garanticen las solicitaciones de las cargas con una probabilidad del 95%.

### 1.- Influencia del tamaño de la pieza

Diversos autores, y últimamente el INIA, investigando sobre 1.278 muestras estructurales de pino silvestre obtuvo que la resistencia a rotura a flexión (MOR) en función del Módulo de elasticidad (MOE), depende del tamaño de la pieza según la siguiente expresión:

$$MOR = 3,88 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{50}{Anchura} \right)^{0,035} \cdot \left( \frac{150}{Altura} \right)^{0,188} \cdot MOE$$

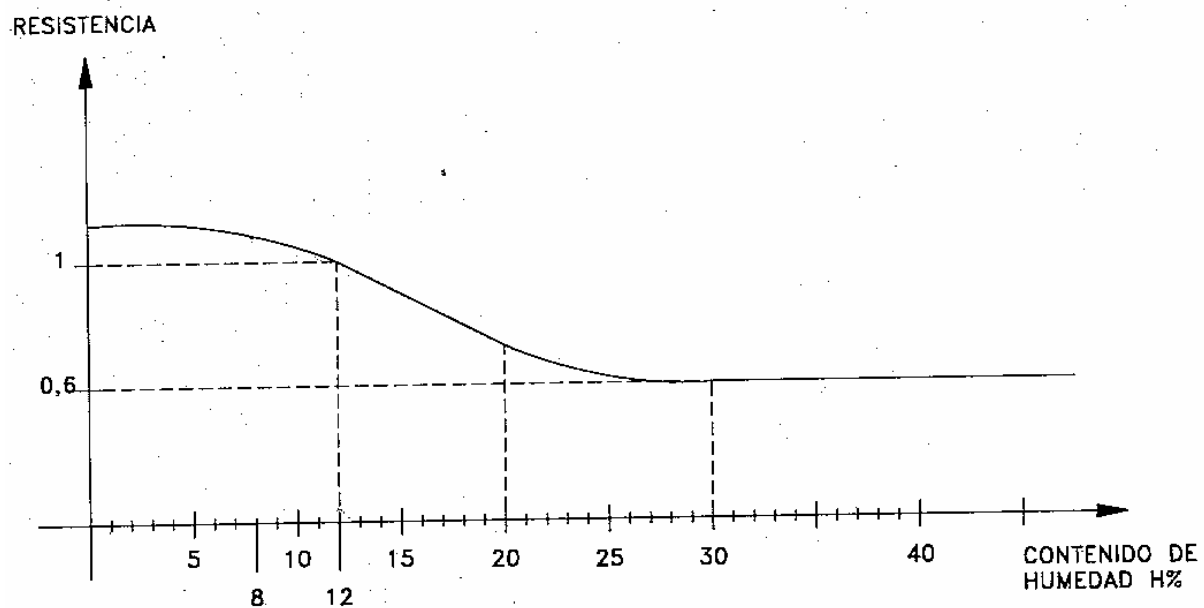
Esto quiere decir, que a medida que aumenta el volumen de la pieza disminuye el valor de resistencia de la pieza, fundamentalmente con la altura de la pieza.

Realmente esta influencia es diferente según la calidad de la madera, estando más influenciada cuanto peor es dicha calidad.

### 2.- Influencia de la humedad

En el gráfico se indica la influencia de la humedad en la resistencia de la madera, tomando como valor de referencia el de resistencia al 12% de humedad.

Puede comprobarse como para una madera con más del 30%, la resistencia es sólo el 60% de la que posee al 12%.



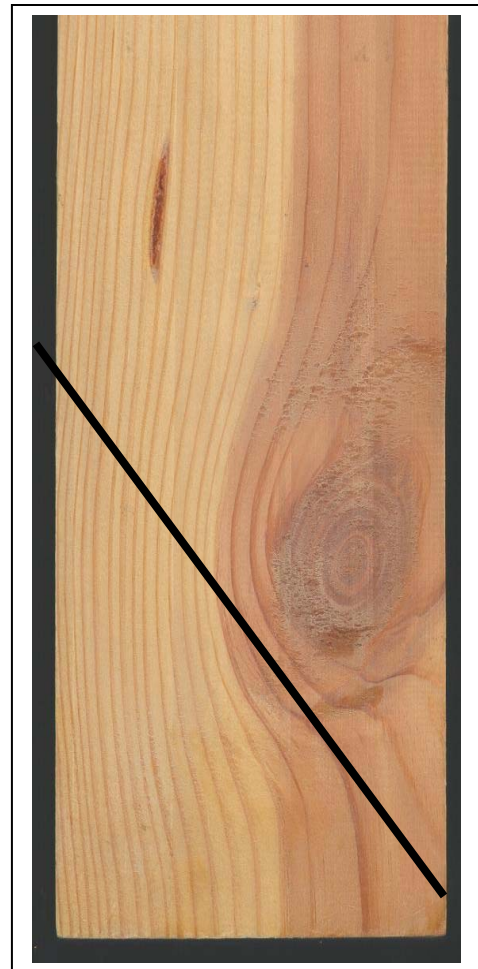


### 3.- Defectos de la madera

Son muchos los defectos que afectan a la resistencia de la madera. Los más importantes son los siguientes:

- **Inclinación de la fibra**

Como se desprende de las propiedades físico-mecánicas, la madera se comporta como un material fuertemente anisótropo, muy resistente en dirección paralela a las fibras y muy poco en dirección perpendicular a la fibra. Cuando por la razón que sea se produce una alteración de la dirección de la fibra en una determinada pieza, y esta no trabaja en la dirección de la carga, la resistencia en ese punto es el resultado de la componente entre la resistencia de la madera en dirección de la fibra y la perpendicular a esta, y con ello una pérdida importante de resistencia, sobre todo a tracción, dado que la relación entre la resistencia a tracción paralela y perpendicular es de alrededor de 50, mientras que a la compresión es poco más de 5 veces.



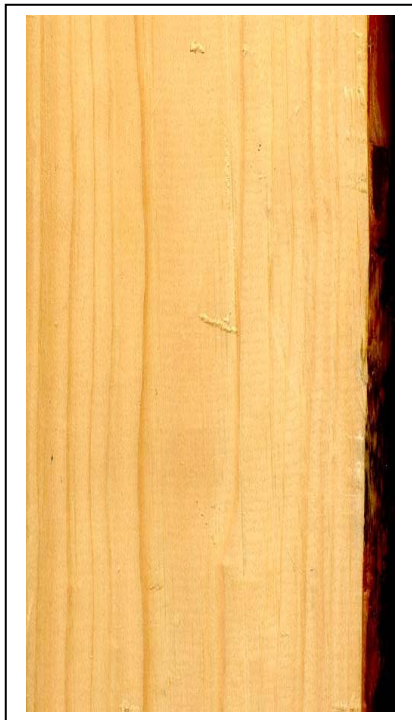
- **Nudos**

Los nudos son el resultado de una rama. El hecho de que la rama se inserte con un cierto ángulo, generalmente próximo a los 90°, supone desviación de la fibra y con ello pérdida de resistencia según los aspectos indicados anteriormente.

- **Gema:**

Es un defecto de despiece de la madera aserrada, en el que existe una falta de sección en una determinada parte de la pieza. En lugar de tener la arista del canto viva, tiene la parte

externa de la troza. El defecto en este caso es la pérdida de sección, que por supuesto lleva la pérdida de resistencia, en la misma medida que la falta de madera.



- Fendas y acebolladuras  
Son roturas de la madera que suponen la pérdida de resistencia, fundamentalmente a compresión y a tracción perpendicular a la fibra.
- Otros defectos  
Son muchos los defectos que influyen en la resistencia, como son la madera juvenil (que se aprecia por la existencia de médula, o de la anchura de los anillos), la madera de compresión....

#### 4.- Duración de la carga

La madera es un material elástico-plástico, es decir que frente a una carga reacciona deformándose, pero si cesa la carga cesa la deformación. Hasta ese punto es un material elástico, su plasticidad se hace patente cuando se deja la carga durante un determinado tiempo, pues la deformación va aumentando con el tiempo. En el gráfico se expresa la relación de resistencia de la madera con el tiempo.

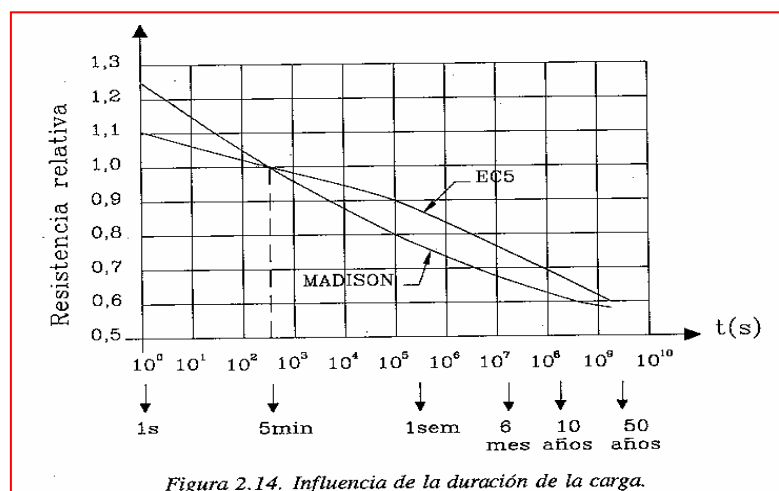
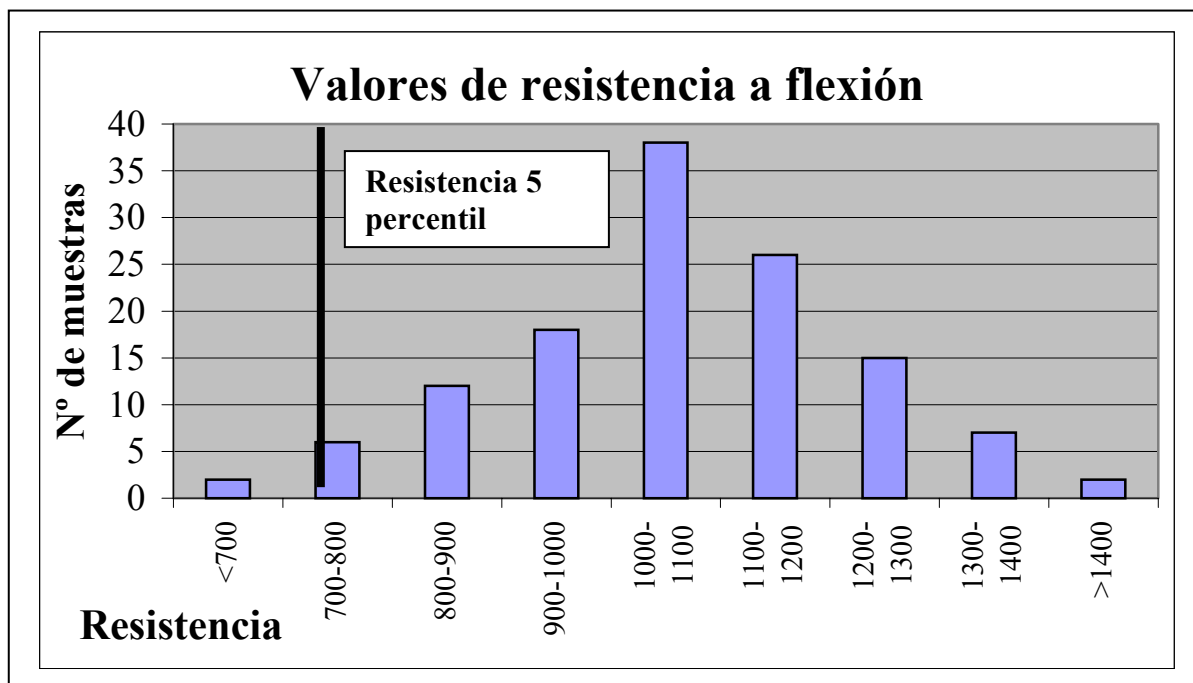


Figura 2.14. Influencia de la duración de la carga.

### 5.- Resistencia garantizada

El hecho de que exista una gran dispersión en los valores de resistencia, con desviaciones típicas de alrededor del 15 al 20%, supone que, ante la necesidad de garantizar las sollicitaciones de las cargas con una probabilidad del 95%, se debe aplicar la estadística a los valores de resistencia, utilizando como característicos los que garanticen esa resistencia.



Todo este conjunto de efectos ha hecho necesario realizar un estudio de la resistencia característica de piezas estructurales de pino silvestre. Las muestras ensayadas tienen secciones de 100x40; 100x50; 150x40; 150x50; 150x70 y 200x70 mm.

Para simplificar los valores obtenidos, se han agrupado la madera en 2 calidades estructurales, para lo que se ha tomado la base de la norma UNE-EN 518 “Madera para uso estructural. Clasificación. Especificaciones para las normas de clasificación visual” realizando la norma UNE 56524 de 1.997 en la que se define las calidades ME-1 y ME-2, que en esencia es la siguiente:

$a$ : anchura de la tabla;  $e$ : grueso de la tabla;  $L$ : Longitud de la pieza

| CRITERIOS DE CALIDAD  |                              | ME-1  | ME-2   |
|---|------------------------------|---|--|
| Diámetro de los nudos sobre la cara   |                              | $\Phi \leq a/5$ y $\Phi \leq 30$ mm   | $\Phi \leq a/2$ para $a \leq 150$ mm<br>$\Phi \leq 80$ mm, para $a > 150$ mm |
| Diámetro de los nudos sobre el canto  |                              | $\Phi \leq e/3$ y $\Phi \leq 30$ mm   | $\Phi \leq 2e/3$   |
| Diámetro de nudos axiales   | De canto a canto             | $\Phi \leq e/3$   | $\Phi \leq e/2$  |
|   | De cara a cara               | $\Phi \leq a/5$ y $\Phi \leq 30$ mm   | $\Phi \leq a/3$  |
| Anchura máxima anillo crecimiento (solo si se clasifica en verde)   |                              | $\leq 4$ mm   | Sin limitación   |
| Fendas  | Que no atraviesen a la pieza | $\leq 1$ m y $L/4$  | $\leq 1,5$ m y $L/2$   |
|   | Que atraviesen a la pieza    | Sólo permitidas si son de testa y longitud $\leq a$   | $\leq 1$ m ó $L/4$<br>Si son de testa, longitud $\leq 2a$                    |
| Acebolladuras   |                              | No permitidas   | No permitidas  |
| Bolsas de resina  |                              | No se admiten   | Se admiten si su longitud $< 80$ mm  |
| Entrecasco  |                              | No se admite  |  |
| Madera de reacción  |                              | Admisible en $1/5$ de la sección o de la superficie externa de la pieza   | Admisible en $2/5$ de la sección o de la superficie externa de la pieza      |
| Desviación de la fibra  |                              | 1:10 (10%)  | 1:6 (16,7%)  |
| Gemas   | * Longitud<br>* Anchura      | No admitidas  | $\leq L/3$ y $\leq 100$ cm.<br>$\leq e/3$                                    |
| Medula  |                              | No admitida   | Admisible  |
| Alteraciones biológicas<br>* Muérdago ( <i>Viscum album</i> )<br>* Azulado<br>* Pudrición<br>* Galerías de insectos xilófagos |                              | No se admite<br>Se admite<br>No se admite<br>No se admiten ataques activos. Caso de ataques inactivos, se admitirán orificios aislados de hasta 2 mm de diámetro. |  |

Definidas estas calidades, se tomó una muestra de 1.661 maderas procedentes de las siguientes zonas: Sierra de Guadarrama; Montes Universales; Sistema Ibérico; Alto Ebro; Pirineo Navarro, clasificándolas y ensayándolas de acuerdo a la norma EN 408 Métodos de ensayo de las propiedades mecánicas y físicas.

El resultado de clasificación permitió obtener 371 muestras de calidad ME-1; 907 muestras ME-2 y 383 muestras rechazadas por falta de calidad.

El resultado de la caracterización mecánica, resistencia a flexión  $f_k$  y módulo de elasticidad local  $E_L$  (sin intervención de esfuerzos cortantes) y la densidad característica (densidad al 5% percentil)  $\rho_k$  de las distintas zonas geográficas y calidades fueron los siguientes:

| Calidad visual<br>Región  | ME-1                       |                |            | ME-2                       |                |            |
|---------------------------|----------------------------|----------------|------------|----------------------------|----------------|------------|
|                           | Variable                   | Valor          | Clase      | Variable                   | Valor          | Clase      |
| Alto Ebro                 | $f_k$ kg/cm <sup>2</sup>   | 329            | C30        | $f_k$ kg/cm <sup>2</sup>   | 181            | C18        |
|                           | $E_l$ kg/cm <sup>2</sup>   | 128.940        |            | $E_l$ kg/cm <sup>2</sup>   | 111.170        |            |
|                           | $\rho_k$ kg/m <sup>3</sup> | 468,5          |            | $\rho_k$ kg/m <sup>3</sup> | 416,0          |            |
| Pirineo Navarro           | $f_k$ kg/cm <sup>2</sup>   | 330            | C30        | $f_k$ kg/cm <sup>2</sup>   | 256            | C24        |
|                           | $E_l$ kg/cm <sup>2</sup>   | 127.610        |            | $E_l$ kg/cm <sup>2</sup>   | 110.220        |            |
|                           | $\rho_k$ kg/m <sup>3</sup> | 473,9          |            | $\rho_k$ kg/m <sup>3</sup> | 471,3          |            |
| Sistema Ibérico           | $f_k$ kg/cm <sup>2</sup>   | 330            | C30        | $f_k$ kg/cm <sup>2</sup>   | 181            | C18        |
|                           | $E_l$ kg/cm <sup>2</sup>   | 121.630        |            | $E_l$ kg/cm <sup>2</sup>   | 101.270        |            |
|                           | $\rho_k$ kg/m <sup>3</sup> | 435,2          |            | $\rho_k$ kg/m <sup>3</sup> | 426,3          |            |
| S <sup>a</sup> Guadarrama | $f_k$ kg/cm <sup>2</sup>   | 308            | C30        | $f_k$ kg/cm <sup>2</sup>   | 202            | C22        |
|                           | $E_l$ kg/cm <sup>2</sup>   | 135.980        |            | $E_l$ kg/cm <sup>2</sup>   | 116.360        |            |
|                           | $\rho_k$ kg/m <sup>3</sup> | 423,2          |            | $\rho_k$ kg/m <sup>3</sup> | 415,1          |            |
| Montes Universales        | $f_k$ kg/cm <sup>2</sup>   | 272            | C27        | $f_k$ kg/cm <sup>2</sup>   | 193            | C18        |
|                           | $E_l$ kg/cm <sup>2</sup>   | 124.130        |            | $E_l$ kg/cm <sup>2</sup>   | 10509          |            |
|                           | $\rho_k$ kg/m <sup>3</sup> | 408,8          |            | $\rho_k$ kg/m <sup>3</sup> | 411,6          |            |
| <b>TOTAL</b>              | $f_k$ kg/cm <sup>2</sup>   | <b>272</b>     | <b>C27</b> | $f_k$ kg/cm <sup>2</sup>   | <b>181</b>     | <b>C18</b> |
|                           | $E_l$ kg/cm <sup>2</sup>   | <b>121.630</b> |            | $E_l$ kg/cm <sup>2</sup>   | <b>101.270</b> |            |
|                           | $\rho_k$ kg/m <sup>3</sup> | <b>408,8</b>   |            | $\rho_k$ kg/m <sup>3</sup> | <b>411,6</b>   |            |

### CLASES RESISTENTES

Para simplificar la gran variabilidad de especies de madera y clases de calidad, así como las combinaciones de ambas, se definen las clases resistentes, como las agrupaciones de especies y calidades que tengan niveles de resistencia semejantes. Las clases resistentes que se establecen, (norma UNE-EN 338 de 1.995) se basan en los valores de la resistencia a la flexión en N/mm<sup>2</sup> estableciendo la siguiente modulación 14; 16; 18; 22; 24; 27; 30; 35; y 40 en coníferas y 30; 35; 40; 50; 60 y 70 en frondosas.

| PROPIEDADES (N/mm <sup>2</sup> )\CLASE       | C14  | C16  | C18  | C22  | C24  | C27  | C30  | C35  | C40  | D30  | D35  | D40  | D50  | D60  | D70  |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Flexión                                      | 14   | 16   | 18   | 22   | 24   | 27   | 30   | 35   | 40   | 30   | 35   | 40   | 50   | 60   | 70   |
| Tracción paralela                            | 8    | 10   | 11   | 13   | 14   | 16   | 18   | 21   | 24   | 18   | 21   | 24   | 30   | 36   | 42   |
| Tracción perpendicular                       | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,7  | 0,9  |
| Compresión paralela                          | 16   | 17   | 18   | 20   | 21   | 22   | 23   | 25   | 26   | 23   | 25   | 26   | 29   | 32   | 34   |
| Compresión perpendicular                     | 4,3  | 4,6  | 4,8  | 5,1  | 5,3  | 5,6  | 5,7  | 6,0  | 6,3  | 8    | 8,4  | 8,8  | 9,7  | 10,5 | 13,5 |
| Cortante                                     | 1,7  | 1,8  | 2    | 2,4  | 2,5  | 2,8  | 3    | 3,4  | 3,8  | 3    | 3,4  | 3,8  | 4,6  | 5,3  | 6    |
| Modulo de elasticidad paralelo medio         | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 12   | 13   | 14   | 10   | 10   | 11   | 14   | 17   | 20   |
| Módulo de elasticidad paralelo 5° percentil  | 4,7  | 5,4  | 6    | 6,7  | 7,4  | 8    | 8    | 8,7  | 9,4  | 8    | 8,7  | 9,4  | 11,8 | 14,3 | 16,8 |
| Módulo de elasticidad perpendicular medio    | 0,23 | 0,27 | 0,3  | 0,33 | 0,37 | 0,4  | 0,4  | 0,43 | 0,47 | 0,64 | 0,69 | 0,75 | 0,93 | 1,13 | 1,33 |
| Módulo cortante                              | 0,44 | 0,5  | 0,56 | 0,63 | 0,69 | 0,75 | 0,75 | 0,81 | 0,88 | 0,6  | 0,65 | 0,7  | 0,88 | 1,06 | 1,25 |
| Densidad característica en Kg/m <sup>3</sup> | 290  | 310  | 320  | 340  | 350  | 370  | 380  | 400  | 420  | 530  | 560  | 590  | 650  | 700  | 900  |

|                                     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Densidad media en Kg/m <sup>3</sup> | 350 | 370 | 380 | 410 | 420 | 450 | 460 | 480 | 500 | 640 | 670 | 700 | 780 | 840 | 1080 |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|

Así, según los valores obtenidos de  $f_k$  y  $E_L$  permiten clasificar cada clase de calidad y procedencia en la clase resistente de la columna correspondiente, y el conjunto de toda la especie y calidad en las clases C27 y C18, para los cuales los valores característicos son los siguientes:

| PROPIEDADES (Kg/cm <sup>2</sup> )CLASE RESISTENTE | C27     | C18    |
|---|---------|--------|
| Flexión   | 270     | 180    |
| Tracción paralela                                 | 160     | 110    |
| Tracción perpendicular                            | 4       | 3      |
| Compresión paralela                               | 220     | 180    |
| Compresión perpendicular                          | 56      | 48     |
| Cortante  | 28      | 20     |
| Modulo de elasticidad paralelo medio              | 120.000 | 90.000 |
| Módulo de elasticidad paralelo 5° percentil       | 80.000  | 60.000 |
| Módulo de elasticidad perpendicular medio         | 4.000   | 3.000  |
| Módulo cortante                                   | 7.500   | 5.600  |
| Densidad característica en Kg/m <sup>3</sup>      | 370     | 320    |
| Densidad media en Kg/m <sup>3</sup>               | 450     | 380    |

Un análisis comparativo de clasificación con respecto a los países de nuestro entorno, son las siguientes:

| \Clase resistente           | Defecto                                | C14                          | C16  | C18  | C24                              | C27   | C30                               |
|-----------------------------|--|------------------------------|--|--|----------------------------------|---|-----------------------------------|
| Norma                       |  |                              |  |  |                                  |   |                                   |
| Países Nórdicos (INSTA 142) | Nombre<br>Cara<br>Canto<br>Desv. fibra | <b>T0</b><br>½<br>1/1<br>1/3 |  | <b>T1</b><br>2/5 y <75<br>4/5<br>1/5       | <b>T2</b><br>¼ y <50<br>½<br>1/7 |   | <b>T3</b><br>1/6<br>1/3<br>1/10   |
| Francia NFB 52001           | Nombre<br>Cara<br>Canto<br>Desv. fibra |                              | <b>ST-III</b><br>½ y <80<br>½ y <30<br>1/6 | <b>ST-II</b><br>1/3y <60<br>½ y <30<br>1/6 |                                  | <b>ST-I</b><br>1/6 y <30<br>½ y <30<br>1/14 |                                   |
| Alemania-Austria DIN 4074   | Nombre<br>Cara<br>Canto<br>Desv. fibra |                              | <b>S-7</b><br>½<br>1/3<br>1/5              |  | <b>S-10</b><br>1/3<br>1/3<br>1/8 |   | <b>S-13</b><br>1/5<br>1/3<br>1/14 |
| España                      | Nombre<br>Cara<br>Canto                |                              |  | <b>ME-2</b><br>½ y <80<br>2/3              |                                  | <b>ME-1</b><br>1/5 y <30<br>2/3 y <30       |                                   |

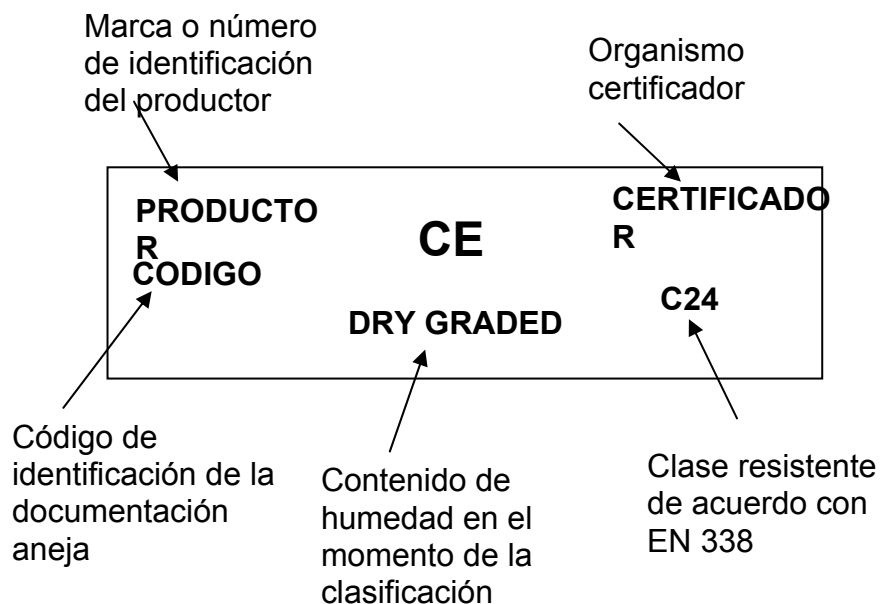
|  |             |  |     |  |      |  |
|--|-------------|--|-----|--|------|--|
|  | Desv. fibra |  | 1/6 |  | 1/10 |  |
|--|-------------|--|-----|--|------|--|

## MARCADO DE LA MADERA

Para identificar perfectamente cada pieza de madera está en trámite de normalización el marcado de la madera de la siguiente forma:

- Denominación completa y dirección registrada del productor
- Código de especie de madera (de acuerdo UNE EN 13556):  
PNSY: Pino silvestre
- La clase de calidad (ME-1 ó ME-2) y la norma de clasificación empleada (UNE 56.544)
- Resistencias a la flexión, compresión y tracción (No necesaria si se ha marcado la madera con la clase resistente o se cita la clase de resistencia de EN 338)
- Modulo de elasticidad en flexión (No necesaria si se ha marcado la madera con la clase resistente o se cita la clase de resistencia de EN 338)
- Clase de durabilidad, de acuerdo con EN 350-2 ó “Durabilidad NPD” (No performance determined)
- Clase de reacción al fuego o clase F (sólo en documentos de acompañamiento)
- Número del certificado EU de conformidad (sólo en documentos de acompañamiento)
- Firma del responsable de la clasificación (sólo en documentos de acompañamiento)

Un ejemplo de marca (de acuerdo con prEN 14081-1) es el recogido en la figura adjunta:



## DURABILIDAD.

La durabilidad de esta madera queda establecida en la norma EN 350-2 de 1.994, según el siguiente cuadro:

| DURABILIDAD    | ALBURA         | DURAMEN                       |
|----------------|----------------|-------------------------------|
| HONGOS*        | 5 (no durable) | 3-4 (de media a poco durable) |
| TERMITA        | Sensible       | Sensible                      |
| POLILLA        | Durable        | Durable                       |
| CARCOMA FINA   | Sensible       | Sensible                      |
| CARCOMA GRUESA | Sensible       | Sensible                      |

\*La madera expuesta en contacto con el suelo tendría una durabilidad efectiva de 3 a 7 años

Si se tiene en cuenta las clases de riesgo de ataques existentes:

| Clase de riesgo | Condición de exposición        | Tipos de elementos  |
|-----------------|--------------------------------|---|
| A               | Sin riesgo de humedad          | En general todos los elementos de interior de viviendas: carpintería, muebles.....                      |
| B               | Riesgo de humedad accidental   | Ídem, en proximidades de desagües o pérdidas de fontanería, ...   |
| C               | Riesgo de humedad intermitente | Elementos de interior situados en zonas de condensaciones: Carpintería de exterior. Muebles de exterior |
| D               | Riesgo de humedad permanente   | Elementos en contacto con el suelo o con agua   |
| E               | Humedad marina permanente      | Elemento en contacto con el agua marina   |

Siguiendo la norma EN 460 de 1.994, la necesidad de tratamiento preventivo protector se produce en los siguientes casos:

| Clase de riesgo | Tipo de madera |         |         |
|-----------------|----------------|---------|---------|
|                 | Duramen        |         | Albura  |
| 1               | 0              | 0       | 0       |
| 2               | 0              | (0)     | (0)     |
| 3               | (0)            | (0)-(x) | (0)-(x) |
| 4               | (x)            | x       | x       |
| 5               | (x)            | x       | x       |

0: No es necesario tratamiento

(0): Sería necesario tratar en casos un poco especiales, como piezas difíciles de sustituir

(x): Sería recomendable un tratamiento protector, aunque no obligatorio

x: El tratamiento protector es imprescindible

Es decir, que solo sería imprescindible el tratamiento en las clases de riesgo 4 y 5, es decir, madera en contacto con el suelo o con agua marina.



## IMPREGNABILIDAD.

Seguindo con la norma EN 350-2 de 1.994, la impregnabilidad es la siguiente:

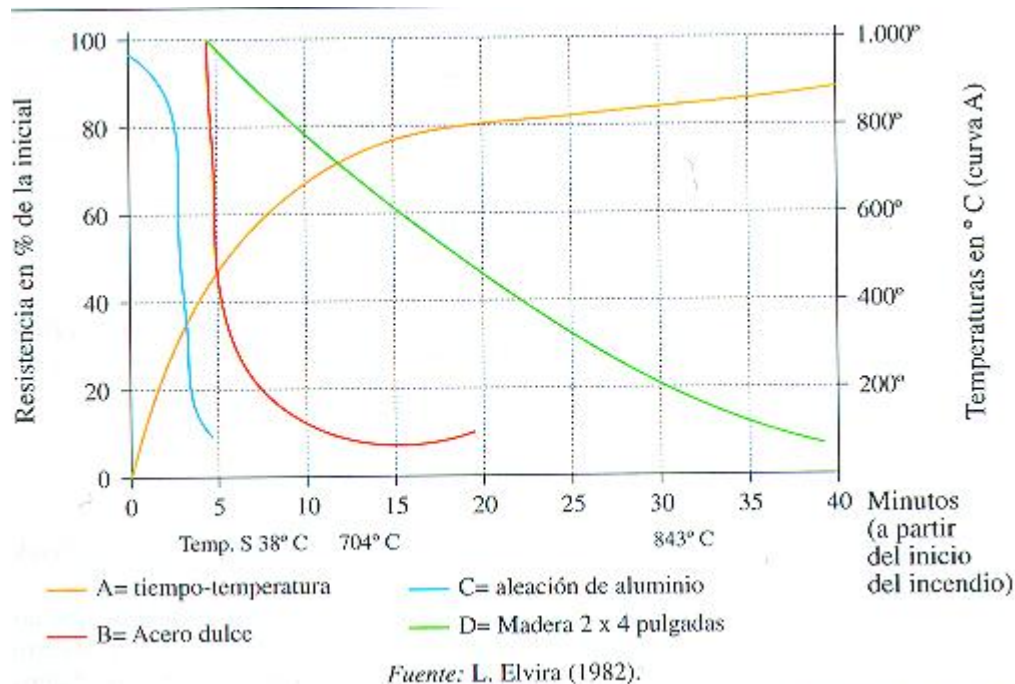
- Albura 1: Impregnable, es decir, que puede ser impregnada a presión sin dificultad.
- Duramen 3 a 4: Poco impregnable a no impregnable. En este caso, la impregnación bajo presión en autoclave, después de 3 a 4 horas de tratamiento sólo conseguiría penetraciones de alrededor de 3 mm.

Según el siguiente cuadro, en las situaciones de clase de riesgo 4 y 5, el tratamiento apenas es efectivo, por la escasa penetración que se consigue.

## DEGRADACIÓN POR EL FUEGO

La madera es el combustible más tradicional, eso hace que la idea que se tenga de la madera es que es un material muy peligroso en los incendios, pero esto es sólo verdad en parte, pues la madera es uno de los materiales más resistente al fuego, aunque su reacción al fuego se la califica de M3 y M4, es decir de medianamente inflamable a inflamable.

Esquema nº3: Resistencia al fuego de diversos materiales empleados en la construcción



La madera expuesta al fuego arde en su superficie rápidamente, formándose una capa carbonosa que impide que el oxígeno necesario para la combustión pase al interior de la madera. Esto hace que la combustión, tras unos primeros momentos muy intensos se ralentice, profundizando a velocidades del orden de 0,7 mm/min. Este hecho, unido a que la

madera gana resistencia al perder la humedad, hace que la madera resista mucho tiempo antes de romperse.

## MADERA LAMINADA DE PINO SILVESTRE

El pino silvestre es una de las especie más utilizadas en la fabricación de madera laminada y esta reconocidamente aceptada para su utilización.

La madera de pino silvestre deberá estar seca entre el 8y el 15%, no admitiéndose variaciones de humedad superiores al 4%. Las láminas serán de hasta 45mm de espesor y de hasta 10.000 mm<sup>2</sup> de área de sección (9.000 en ambientes algo húmedos), deberán estar empalmadas y cepilladas con una tolerancia de 0,1mm, encoladas con colas de termoendurecibles (aminoplásticas) o fenólicas y prensadas con presiones de 6 kg/cm<sup>2</sup> (para laminas <0,35) o de 0,8 (para el resto de espesores) a temperaturas >20°C.

Con estas condiciones de fabricación la clase resistente a que corresponde pueden ser las siguientes

### 1.- Caso de láminas de calidad homogénea

| PROPIEDADES (N/mm <sup>2</sup> )\CLASE       | GL24h | GL28h | GL32h | GL36h |
|--|-------|-------|-------|-------|
| Flexión                                      | 24    | 28    | 32    | 36    |
| Tracción paralela                            | 16,5  | 19,5  | 22,5  | 26    |
| Tracción perpendicular                       | 0,4   | 0,45  | 0,5   | 0,6   |
| Compresión paralela                          | 24    | 26,5  | 29    | 31    |
| Compresión perpendicular                     | 2,7   | 3     | 3,3   | 3,6   |
| Cortante                                     | 2,7   | 3,2   | 3,8   | 4,3   |
| Modulo de elasticidad paralelo medio         | 11,6  | 12,6  | 13,7  | 14,7  |
| Módulo de elasticidad paralelo 5° percentil  | 9,4   | 10,2  | 11,1  | 11,9  |
| Módulo de elasticidad perpendicular medio    | 0,39  | 0,42  | 0,46  | 0,49  |
| Módulo cortante                              | 0,72  | 0,78  | 0,85  | 0,91  |
| Densidad característica en Kg/m <sup>3</sup> | 380   | 410   | 430   | 450   |

La resistencia de la viga de madera laminada se obtiene a partir de la resistencia de las láminas siguiendo las siguientes formulas:

Resistencia a flexión=7+1,15·Resistencia a tracción de la lámina

Módulo de elasticidad=1,05·Módulo de elasticidad de la lámina

Densidad característica=1,1·Densidad característica de las láminas

De acuerdo con estas formulas, una viga de madera laminada fabricada con láminas de calidad C18, permitiría obtener una calidad de viga de madera laminada GL20h, si se hiciese con láminas de calidad C24 se obtendría una calidad GL24h y si se hiciese con calidad C30 se obtendría una calidad GL28h.

Según esto podría pensarse que se pierde resistencia en las vigas de madera laminada, pero eso no es verdad, todo lo contrario, porque la probabilidad de que 2 defectos coincidan es menor cuanto más láminas tenga la viga. Por eso las vigas fabricadas con madera de poca calidad ganan en resistencia. Las vigas fabricadas con láminas de gran calidad parece que pierden resistencia, pero ello es debido al factor k, de altura del canto de madera, que ocurriría igual con madera laminada.

En el caso de que las láminas fuesen de diferentes calidades, la clasificación de clases resistentes sería la siguiente:

## 2.- Caso de láminas de calidad heterogénea

| PROPIEDADES (N/mm <sup>2</sup> )\CLASE             | GL24h | GL28h | GL32h | GL36h |
|--|-------|-------|-------|-------|
| <i>Flexión</i>                                     | 24    | 28    | 32    | 36    |
| <i>Tracción paralela</i>                           | 14    | 16,5  | 19,5  | 22,5  |
| <i>Tracción perpendicular</i>                      | 0,35  | 0,4   | 0,45  | 0,5   |
| <i>Compresión paralela</i>                         | 21    | 24    | 26,5  | 29    |
| <i>Compresión perpendicular</i>                    | 2,4   | 2,7   | 3     | 3,3   |
| <i>Cortante</i>                                    | 2,2   | 2,7   | 3,2   | 3,8   |
| <i>Modulo de elasticidad paralelo medio</i>        | 11,6  | 12,6  | 13,7  | 14,7  |
| <i>Módulo de elasticidad paralelo 5º percentil</i> | 9,4   | 10,2  | 11,1  | 11,9  |
| <i>Módulo de elasticidad perpendicular medio</i>   | 0,32  | 0,39  | 0,42  | 0,46  |
| <i>Módulo cortante</i>                             | 0,59  | 0,72  | 0,78  | 0,85  |
| <i>Densidad característica en Kg/m<sup>3</sup></i> | 350   | 380   | 410   | 430   |

En este caso, si se utilizase láminas exteriores de calidad C27 con calidades interiores C18 se obtendría una calidad GL24c. Si la combinación fuese C30 con C24 la calidad sería GL28

## Referencias y Bibliografía

AENOR 1.998 “Recopilación de normas UNE. Tomo 9. Madera para construcción.

Arriaga F et al; 1.994 *Guía de la madera para la construcción el diseño y la decoración*. Editado AITIM, pp 36-47

Elvira, L y Jiménez Peris F. J.; 1.982 *Comportamiento al fuego de materiales y estructuras* Ed. INIA, Madrid, 285 págs.

A. Gutiérrez Oliva, 1.967 *Características físico-mecánicas de las maderas españolas* Ed. IFIE, Madrid, 103 págs.

Fernández-Golfín J.I.; Díez M.R.; 1.998 "*Influencia de diversos factores en la calidad de la madera de uso estructural de P. sylvestris L.* Investigación Agraria Serie Recursos Forestales, nº1-2 pp 41-51

Hermoso, E. et al; 2.002 "*Madera estructural de pino silvestre: caracterización mecánica*" Ed. INIA, Investigación Agraria: Serie recursos Forestales, Vol 11 (2).

Hermoso, E. et al; 2.002 "*Análisis del factor altura Kh en la madera aserrada estructural de pino silvestre*" Ed. INIA, Investigación Agraria: Serie recursos Forestales, Vol 11 (2).

Larson P.R et al 2.001 "*Formation and properties of juvenil wood in southern pines : A synopsis*" USDA Forest Service, 26 pág

Vignote, S.; Jiménez, F.J. 2.000 "*Tecnología de la madera*" Ed. Mundi-Prensa, Madrid

Vignote Peña S. et al, 2.002 "*Características de las principales maderas utilizadas en Bizkaia: Tecnología y aplicaciones*" Ed Diputación Foral de Bizkaia, 273 págs

R. Wagenfuhr y C. Scheiber: 1.974: *Holzatlas* Ed. Fachbuchverlag, Leipzig, 690 págs.