

# CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA MADERA DE PINO RADIATA OBTENIDAS A PARTIR DE ENSAYOS CON PIEZAS DE TAMAÑO ESTRUCTURAL: COMPARACION ENTRE DISTINTAS NORMAS DE CLASIFICACION

## INTRODUCCION

LA necesidad de determinar las propiedades mecánicas de la madera de pino radiata por medio de ensayos de piezas de tamaño real surge por las siguientes razones:

1. Desarrollar los sistemas de construcción con madera de esta especie en su doble vertiente: madera laminada y madera maciza.
2. Caracterizar y clasificar la madera con criterios basados en su resistencia mecánica, lo cual facilitará y uniformará el comercio internacional de la misma.
3. Diversas investigaciones al respecto (Littleford, 1976; Madsen, 1978) demuestran que los valores de las características mecánicas obtenidos con ensayos a escala real están más en consonancia con la realidad que los obtenidos con probetas de pequeñas dimensiones y libre de defectos.
4. La aparición de la norma de cálculo de estructuras de madera Eurocódigo número 5, que adopta el método de cálculo de los estados límites, requiere una amplia información sobre las características del material. A tal efecto, el Comité Europeo de Normalización (CEN) ha creado un nuevo comité técnico, denominado «Estructuras de Madera», con el objetivo de elaborar la normativa necesaria para el total desarrollo del mencionado Eurocódigo.

(\*) Departamento de Industrias Forestales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias

Uno de los trabajos a desarrollar por este comité será la elaboración de una norma europea de clasificación de madera aserrada para la construcción, lo que refuerza la necesidad de este tipo de estudios con el pino radiata, máxime cuando España es el único país de Europa en el que se produce madera de esta especie.

## I. PARTES DE QUE CONSTA

El presente trabajo consta de tres partes perfectamente diferenciadas:

1. Determinación de las características físico-mecánicas de la madera de pino radiata a partir de ensayos realizados con piezas de dimensiones reales.
2. Comparación de distintas normas de clasificación de madera para la construcción, aplicadas a la madera de pino radiata, y obtención de las características mecánicas correspondientes a cada norma y calidad.
3. Asignación de las clases resistentes y clases de densidad, que describe el Eurocódigo número 5, a la madera de pino radiata en función de los resultados obtenidos en la primera y segunda parte del trabajo.

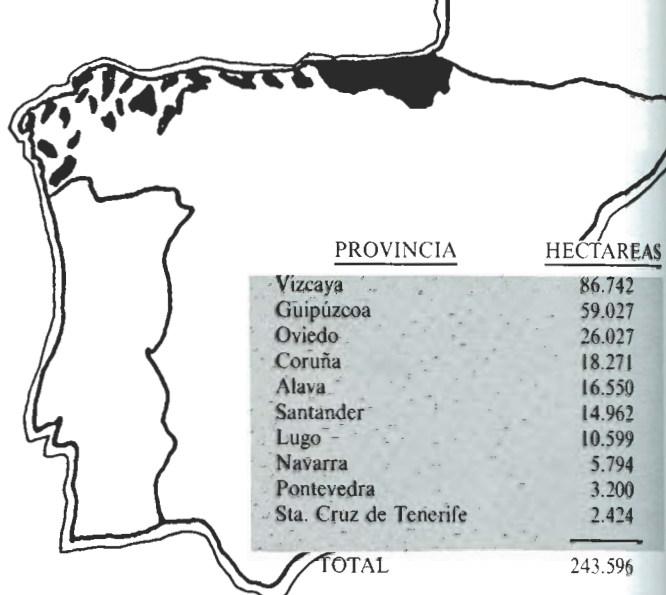
## II. DESARROLLO DEL TRABAJO

Las muestras de madera utilizadas se tomaron de distintos aserraderos del País Vasco, con el objeto de que fueran lo más representativas de la población.

Las piezas muestreadas, una vez sometidas a los ensayos que se describirán con posterioridad, se clasificaron siguiendo un criterio totalmente exhaustivo según las normas:

- Método de clasificación propuesto por el cuaderno número 124 del CTBA, «Les résineux français».
- NZS-3631:1978 (Classification and Grading of New Zealand Timbers).
- Método de clasificación basado en el concepto KAR (ECE recommended standards for stress grading of structural coniferous sawn timber, Timber Bulletin for Europe, vol. XXXIV, suplement 16, Ginebra, nov 1982).

Para cada norma o método de los citados anteriormente, se obtuvieron las características mecánicas para cada clase y calidad, su rendimiento y su grado de dificultad para aplicar uno u otro método de clasificación.



Mapa de distribución de las masas de pino radiata en España.

## III. DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS MECANICAS

### III.1. Material

Para la realización de los ensayos se utilizaron piezas de madera de dos tamaños. El número de piezas de cada tamaño se describe en la tabla I.

TABLA I. Distribución del número de piezas por tamaño

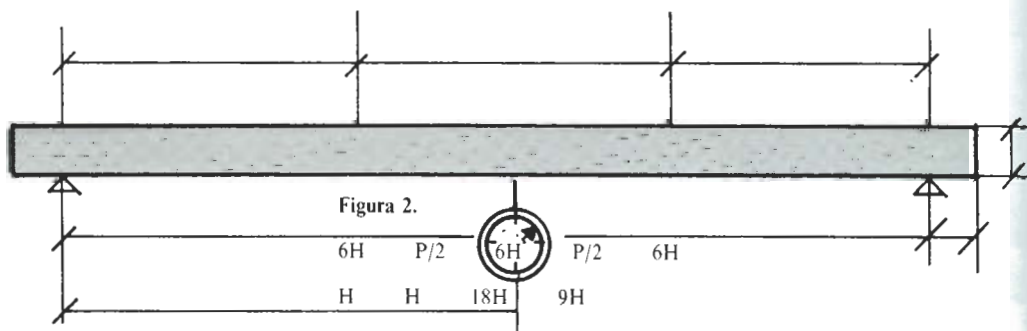
Tamaño grande dimensiones en mm. 50 × 150 × 3.200	Tamaño pequeño dimensiones en mm 40 × 100 × 2.100	Total
315	316	631

### III.2. Descripción de los ensayos

Antes de realizar los ensayos, la madera se acondicionó en cámara a  $65 \pm 5$  por 100 de humedad relativa de aire y  $20 \pm 2^\circ$  centígrados.

Sobre cada una de las probetas se realizó un ensayo de flexión hasta rotura, según la norma ASTM-D196 (equivalente a la ISO-8375), con velocidades de carga de 500 daN/min para las piezas de sección de  $50 \times 150$  y de 400 daN/min para las piezas de sección de  $40 \times 100$ .

Los ensayos se realizaron utilizando una relación entre distancias entre apoyos y canto de la pieza de 18/1 con los puntos de aplicación de la carga, tal como se describe en la figura 2.



En la disposición de las piezas en el momento de realizar el ensayo, se tomó la decisión de colocar el canto que tenía mayores defectos de tal forma que éste estuviera sometido a esfuerzos de tracción, es decir, en el borde inferior.

**TABLA II**

	Tamaño grande 50 × 150 × 3.200	Tamaño pequeño 40 × 100 × 2.100
Separación entre apoyos .....	2.700	1.800
Separación entre puntos de aplicación de la carga .....	900	600

### III.3. Determinación de las propiedades mecánicas

La tensión de rotura a flexión para cada pieza se determinó aplicando la fórmula:

$$\sigma = (P \times L) / (BH^2)$$

siendo:

$\sigma$  = tensión de rotura para las condiciones de acondicionamiento establecidas.

P = carga total correspondiente a la rotura.

L = distancia entre apoyos.

B = anchura de la probeta.

H = canto de la probeta.

El módulo de elasticidad se calculó aplicando la fórmula:

$$E = 23 \times (Q \times L^3) / 108 \times (F \times B \times H^3)$$

siendo:

E = módulo de elasticidad.

Q = carga dentro del límite elástico.

F = flecha medida en el punto medio de la luz correspondiente a la carga Q.

L = distancia entre apoyos.

B = anchura de la probeta.

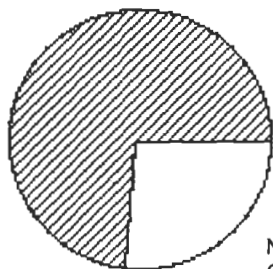
H = canto de la probeta.

### III.4. Análisis de resultados

#### III.4.1. Tensión de rotura a flexión

Para cada clase y tamaño, se determinaron los valores de centralidad y dispersión de la muestra.

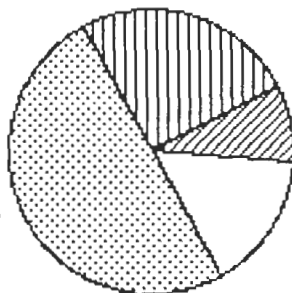
BS -73.4%



NO CLASIFI  
CADA -26.6%

S6 -52.3%

S8 -23.8%



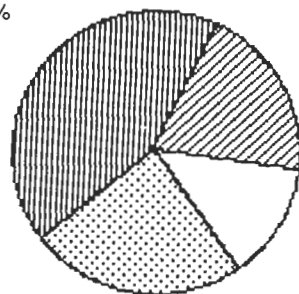
NO CLASIFI  
CADA -15.5%

Figura 5.

S6 -24.5%

S8 -41.5%

S10 -8.4%



S10 -10.8%

NO CLASIFI  
CADA -15.5%

### III.4.2. Módulo de elasticidad

Para cada clase y tamaño, se determinaron los valores de centralidad y dispersión de la muestra.

### III.4.3. Determinación de los valores característicos

Se entiende por valor característico,  $f_k$ , de una determinada propiedad mecánica el valor por encima del cual se encuentra el 95 por 100 de la población, admitiendo que los resultados se distribuyan según una distribución normal o Campana de Gauss.

Las tensiones características se obtienen a partir de los valores medios y de las desviaciones típicas mediante la siguiente expresión:

$$f_k = x - k_{95} \times$$

siendo:

$x$  = media.

$k_{95}$  = coeficiente asociado al nivel de confianza del 95 por 100 ( $k_{95} = 1.645$ ).

= desviación típica.

Las variaciones de las tensiones características de flexión, debidas al efecto del tamaño de la pieza, oscilan entre el 10 por 100 y el 17 por 100, mientras que el módulo de elasticidad se mantiene más o menos constante. Estas variaciones se encuentran en total concordancia con las expresadas en distintas normas de cálculo, tales como: el Código Canadiense CSA 086-1970, que considera una reducción de tensiones del 15 por 100 en piezas de sección de  $50 \times 200$  respecto a piezas de sección de  $50 \times 100$ ; el Código Británico CP 112, o el propio Eurocódigo número 5.

### III.4.4. Corrección del efecto tamaño de la pieza y su influencia en la tensión característica a flexión

Los valores característicos que se darán posteriormente se referirán a una altura de sección en flexión estandarizada de 200 mm, tal como lo define el Eurocódigo número 5. Así pues, el factor de modificación del tamaño de la pieza,  $k_h$ , que se utilizará en este trabajo, referido a un canto de 200 mm, tiene por expresión:

$$k_h = (200/h)^{0.2}$$

siendo  $h$  la altura del canto expresada en milímetros.

Además de la resistencia a flexión y el módulo de elasticidad, en el cálculo de estructuras de madera intervienen otras características mecánicas, tales como:

- Tracción paralela a las fibras.
- Compresión paralela a las fibras.
- Esfuerzo cortante.
- Compresión perpendicular a las fibras.
- Tracción perpendicular a las fibras.
- Módulo de elasticidad transversal.

Algunas de estas propiedades presentan dificultades técnicas para obtenerlas a través de ensayos con probetas de grandes dimensiones; o bien, las obtenidas con probetas de pequeñas dimensiones no ofrecen resultados fiables. Por este motivo, se han seguido los criterios que a continuación se exponen:

1. Para la tracción paralela a la fibra se tomará como valor característico el 60 por 100 del valor de la flexión característica.

Este criterio es el que se adopta en la norma británica BS 5268, y es considerado un valor conservador. Se fundamenta en el siguiente razonamiento: la rotura a flexión de una pieza de madera sin defectos se produce cuando la deformación de las fibras traccionadas alcanza la deformación de rotura, y esto ocurre a tensiones superiores de tracción a la aparente de flexión. Sin embargo, la rotura de una pieza a tracción es más brusca que en flexión, y los defectos normales existentes en la madera hacen reducir la resistencia a la tracción en mayor proporción que la de flexión.

2. Para la compresión paralela a las fibras se tomará como valor característico el de la tensión característica a flexión.

Este criterio es el adoptado en los estudios franceses del CTBA (cuaderno número 124), mientras que en otros estudios o códigos de cálculo se da como valor característico de compresión paralela a la fibra el 90 por 100 del valor característico de flexión. La justificación de este proceder se apoya en el hecho de que aunque la tensión de rotura a compresión paralela a las fibras en probetas limpias de defectos es inferior a la de flexión aparente, sin embargo, en la madera con defectos la penalización que sufre la flexión es superior a la de compresión.

3. Para el esfuerzo cortante se tomará el 10 por 100 del valor característico obtenido en el ensayo de flexión; este criterio se ha adoptado por el Eurocódigo número 5 y por distintos estudios realizados por el Trada.

4. Para la tracción perpendicular a la fibra y la compresión perpendicular a la fibra se adopta el criterio del Eurocódigo número 5, donde se definen en función de la densidad característica de la madera, como se verá más adelante.

## IV. COMPARACION ENTRE DISTINTAS NORMAS DE CLASIFICACION DE MADERA DE CONSTRUCCION APLICADAS AL PINO RADIATA

Las piezas de madera de pino radiata (631 en total) utilizadas en los ensayos que se han descrito anteriormente se clasificaron en el laboratorio con criterios muy exhaustivos. Las normas utilizadas fueron las siguientes:

- Norma neozelandesa NZS 3631:1978.
- Método francés propuesto en el cuaderno número 124 del CTBA.
- KAR\* | ECE recommended Standards.
- KAR |

(En el Anexo I se resumen los criterios de clasificación de las normas citadas.)

En el método de clasificación KAR (Knot Area Ratio) se consideró una doble posibilidad:



CLASIFICACION POR LA NORMA  
NEOZELANDESA NZS 3631: 1978  
NZ2

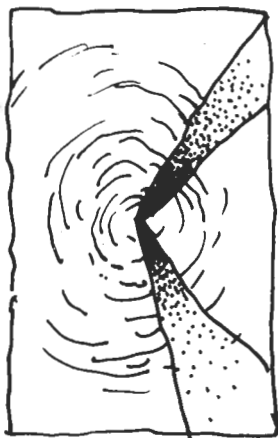
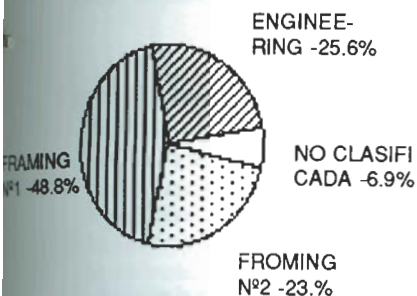


Figura 4.

1. El KAR\*, en el que no se tuvo en cuenta la anchura media de los anillos.
2. El KAR, en el que se aplicaron literalmente todas las peculiaridades del método.

Para cada pieza se representó a escala real la sección de la misma y, sobre ella, se dibujaron las proyecciones de los nudos correspondientes a la sección de la pieza que se consideró más desfavorable por la cuantía de los defectos que contenía (figura 4).

La norma neozelandesa NZS 3631:1978 establece tres clases estructurales, a saber: Engineering, Framing número 1 y Framing número 2.

Las recomendaciones francesas del cuaderno número 124 del CTBA establecen una clase de madera para uso estructural denominada BS (Bois Structure). Si en la clasificación se introduce el factor de densidad, se distinguen dos clases:

- Clase S (Superieur), correspondiente a la madera clasificada con criterio visual y especificaciones de la clase BS, pero con una densidad media superior al valor «d».
- Clase B (Bass), correspondiente a la madera clasificada con criterio visual y especificaciones de la clase BS, pero con densidad media inferior al valor de «d».

Este segundo criterio se adopta en especies que tienen una variabilidad de densidad acusada tales como el género chopo, para el que se utilizan valores de  $d \geq 400 \text{ kg/m}^3$  para la clase estructural S y valores de  $d \leq 400 \text{ kg/m}^3$  para la clase estructural B.

En el pino de Oregón (Douglas fir) se utiliza un valor de  $d \geq 525 \text{ kg/m}^3$  para la clase estructural S, y comprendido entre  $430 \leq d \leq 525 \text{ kg/m}^3$  para la clase estructural B.

Las recomendaciones europeas (método KAR) establecen tres clases resistentes: S10, S8 y S6.

Los resultados obtenidos en esta clasificación se representan en la figura 5 y en las tablas siguientes.

#### IV.1. Comentarios a los resultados obtenidos con las distintas normas de clasificación

La evaluación de la operatividad y validez práctica de una norma de clasificación de madera con fines estructurales se sustenta en los siguientes criterios:

1. Su facilidad de aplicación en los aserraderos y fábricas de estructuras.
2. El rendimiento en madera clasificada con respecto al total de madera producida.
3. Que las clases o grados de madera establecidos por la norma aplicada proporcionen un nivel de resistencia mecánica apropiado a usos estructurales posteriores.

(\*) Cuando, en lo sucesivo, se refiera a rendimiento, éste estará calculado considerando el total de madera obtenido en la selección previa realizada en el momento del muestreo, y no el total de madera producido en el aserradero. Con lo cual los rendimientos resultarán algo superiores a la realidad, aunque, en todo caso, la comparación es posible.

**TABLA III.** Valores característicos para cada clase según el método de clasificación de la norma zeolandesa NZS 3631:1978 en MPa

Propiedad mecánica	Calidades			
	Engineering	Framing n.º1	Framing n.º2	No clasificada
Flexión estática .....	30,0	17,2	12,5	9,4
Tracción paralela a la fibra .....	18,0	10,3	7,5	5,6
Compresión paralela a la fibra .....	30,0	17,2	12,5	9,4
Módulo de elasticidad medio .....	12.400	10.700	9.700	9.300
Módulo de elasticidad característico .....	8.700	7.500	6.900	7.300
Esfuerzo cortante .....	3,0	1,7	1,2	0,9
Densidad kg/m <sup>3</sup> .....	451	422	417	414

**TABLA IV.** Valores característicos para cada clase según el método de clasificación del cuaderno 124 del CTBA en MPa

Propiedad mecánica	Clases de uso no estructural			Clases resistentes
	Clase 1.º	Clase 2.º	No clasificada	BS
Flexión estática .....	25,5	14,4	13,4	21,3
Tracción paralela a la fibra .....	15,3	8,6	8,0	12,7
Compresión paralela a la fibra .....	25,5	14,4	13,4	21,3
Módulo de elasticidad medio .....	12.200	10.700	9.400	12.000
Módulo de elasticidad característico .....	8.600	7.400	6.700	8.550
Esfuerzo cortante .....	2,5	1,4	1,3	2,1
Densidad kg/m <sup>3</sup> .....	440	442	414	457

**TABLA V.** Valores característicos para cada clase según el método de clasificación KAR en MPa

Propiedad mecánica	Calidades			
	S10	S8	S6	No clasificada
Flexión estática .....	37,2	23,2	15,7	10,7
Tracción paralela a la fibra .....	22,3	14,0	9,5	6,4
Compresión paralela a la fibra .....	37,2	23,2	15,7	10,7
Módulo de elasticidad medio .....	13.400	12.000	10.600	9.400
Módulo de elasticidad característico .....	9.700	8.500	7.100	6.850
Esfuerzo cortante .....	3,7	2,3	1,5	1,1
Densidad kg/m <sup>3</sup> .....	474	444	424	412

**TABLA VI.** Valores característicos para cada clase según el método de clasificación KAR\* en MPa

Propiedad mecánica	Calidades			
	S10	S8	S6	No clasificada
Flexión estática .....	31,3	21,5	13,6	10,8
Tracción paralela a la fibra .....	18,7	12,9	8,2	6,5
Compresión paralela a la fibra .....	31,3	21,5	13,6	10,8
Módulo de elasticidad medio .....	12.300	11.500	10.200	9.400
Módulo de elasticidad característico .....	8.700	7.800	6.900	6.800
Esfuerzo cortante .....	3,1	2,1	1,3	1,1
Densidad kg/m <sup>3</sup> .....	440	430	428	410



Estos criterios, aplicados a las normas de clasificación utilizadas en este trabajo, nos permiten obtener las conclusiones siguientes:

#### IV.1.1. Norma neozelandesa NZS 3136:1987

- Se aplica con relativa facilidad cuando el personal clasificador haya sido adiestrado y preparado convenientemente.
- El rendimiento en madera clasificada, con respecto al total obtenido en la preclasificación, es el más alto de los obtenidos en comparación con las otras normas utilizadas. Comparando los resultados de la figura 5, se comprueba que, de las 631 piezas muestreadas, sólo 38 han quedado como no clasificadas, lo que supone un rendimiento del 94 por 100 frente al 73 por 100 de la norma francesa y al 84 por 100 de los métodos KAR y KAR\*.
- Las resistencias a flexión para las tres clases establecidas en esta norma (tabla III) son de 30,0, 17,2 y 12,5 MPa, lo cual las hace perfectamente aplicables a usos estructurales.

#### IV.1.2. Norma francesa

- Es el método más fácil de aplicar de todos los utilizados; aunque, en nuestra opinión, la caracterización de ciertos tipos de nudos, tales como los nudos de espiga, queda un tanto indefinida, con lo cual los resultados obtenidos pueden ser dispares en función de los criterios adoptados por cada clasificador.
- El rendimiento de madera clasificada con respecto al total de la obtenida en la preclasificación es del 73 por 100, el más bajo de los cuatro métodos utilizados.
- El hecho de utilizar una sola clase resistente (BS), que corresponde a dos clases visuales (clase 1.ª y clase 2.ª), introduce una dispersión importante en los valores de las características mecánicas, puesto que de tensiones características de flexión de 25,5 y 14,4 MPa para las clases visuales 1.ª y 2.ª, respectivamente, (tabla IV) se pasa a una tensión característica de 21,3 MPa para la clase resistente BS.

#### IV.1.3. Métodos KAR y KAR\*

Se analizarán los dos métodos conjuntamente, ya que la diferencia entre ambos solamente estriba en la medición o no del espesor medio de los anillos de crecimiento.

- El método KAR en sí, es el que mejor valora el defecto con relación a la sección de la pieza, aunque su puesta en práctica es la más lenta y complicada de todos los métodos utilizados, exigiendo personal altamente cualificado y con un nivel de adiestramiento importante.
- Los rendimientos en madera clasificada con respecto al total de madera preclasificada son del 84 por 100, valor intermedio entre el proporcionado por el método NZS y el método de las recomendaciones francesas.
- En cuanto a las diferencias entre el método KAR y el KAR\*, éstas son altamente significativas; pues, aun guardando un cierto paralelismo, las resistencias características para las distintas clases S10, S8 y S6 de ambos métodos, el número de piezas de la clase S10 en el KAR\* es de 119, frente a las 53 de la misma clase para el KAR. Estas 66 piezas de diferencia han pasado directamente a la clase S6, por tener una anchura media de anillos superior a 6 mm. Del mismo modo y por la misma causa, en la clase S8 el número de piezas en el KAR\* es de 262, frente a las 150 de la misma clase en el KAR. Estas 112 piezas de diferencia han pasado a la clase S6, por tener una anchura de anillos superior a los 6 milímetros.

En cuanto al rendimiento total de madera clasificada, ambos métodos, el KAR y el KAR\*, arrojan resultados iguales, ya que para la clase S6 el tamaño medio de los anillos se amplía a 10 milímetros.

La anchura media de los anillos de crecimiento en la madera de pino radiata, determinada a distintas alturas del tronco, se refleja en la tabla VII.



TABLA VII. Anchura media de los anillos de crecimiento medidos a distintas alturas del tronco

Altura en el tronco en m .....	1,0	7,3	15,1
Anchura media de los anillos en mm .....	6,6	6,6	6,1

Estos valores corroboran la incidencia negativa que supone la limitación de la anchura del anillo a 6 mm para las clases S10 y S8 en el método KAR.

Por otra parte, en la madera de pino radiata se da la circunstancia de que la relación entre las densidades de la madera de primavera y la madera de verano dentro de un mismo anillo es, según Harris, de 1,8; mientras que en la mayoría de las coníferas, tales como picea y pinos amarillo del sur, es de 2,3, pudiendo llegar a 5 en el pino de Oregón.

Esta peculiaridad de la madera de pino radiata justifica que la incidencia del tamaño del anillo en la resistencia mecánica no sea tan significativa, hecho que se evidencia al comparar la resistencia mecánica de las clases S10 y S8 del método KAR\* con las mismas clases del método KAR (tablas V y VI).

Por todo lo anteriormente expuesto, el método KAR, además de la dificultad de su aplicación, penaliza ostensiblemente a las maderas de crecimiento rápido, y en particular a la madera de pino radiata.

V. ASIGNACION DE CLASES RESISTENTES A LAS DISTINTAS NORMAS DE CLASIFICACION EMPLEADAS

El Eurocódigo número 5 establece, desde el punto de vista estructural, diez clases resistentes, C1, C2,...C10, y cinco clases de densidad, cuyos valores característicos mínimos que tienen que cumplir se representan en las tablas VIII y IX.

TABLA VIII. Clases resistentes: valores característicos y valores medios del módulo de elasticidad en MPa

Propiedad mecánica	Clases resistentes									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Flexión estática .....	12.0	15.0	19.0	21.5	24.0	28.5	38.0	48.0	60.0	75.0
Tracción paralela a la fibra .....	7.0	9.0	11.5	13.0	14.5	17.0	24.0	30.0	38.0	48.0
Compresión paralela a la fibra .....	13.0	15.0	17.5	19.0	21.5	26.0	30.0	38.0	48.0	60.0
Esfuerzo cortante .....	1.7	1.9	2.0	2.1	2.3	2.7	3.8	4.8	6.0	6.0
Módulo de elasticidad $\times 10^3$ .....	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.5	17.0	22.0	27.0

TABLA IX. Clases de densidad: valores característicos en kg/m<sup>3</sup>

Clases de densidad	D300	D400	D500	D600	D800
Densidad característica .....	300	400	500	600	800

Para que una madera, clasificada por una determinada norma, quede asignada a una clase resistente debe cumplir lo establecido en la tabla X. Cx significa que el valor característico es mayor o igual que el valor característico descrito en la tabla VIII para la clase Cx.

TABLA X. Condiciones que se deben cumplir para asignar un tipo de madera a una clase resistente

Clase resistente	Cx	Cx	Cx
Flexión estática .....	Cx	Cx	Cx + 1
Tracción paralela a la fibra .....	Cx	Cx	Cx
Compresión paralela a la fibra .....	Cx	Cx - 1	Cx - 1
Módulo de elasticidad .....	Cx	Cx + 1	Cx - 1

Asimismo, para las clases de densidad se tendrá que cumplir que el valor de la densidad característica sea superior o igual a los valores establecidos en la tabla IX.

Los resultados obtenidos para las cuatro normas de clasificación utilizadas: norma neozelandesa NZS 3136:1978, método francés del cuaderno número 124 del CTBA, KAR\* y KAR; según lo descrito en las tablas III, IV, V y VI, se dan en la tabla XI.

TABLA XI. Clases resistentes y clases de densidad de la madera de pino radiata según distintos métodos de clasificación visual

Norma de clasificación visual	Clases resistentes						Clases de densidad	
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	D300	D400
Norma neozelandesa	F2			F1		ENG	ENG	F1 F2
Norma francesa .....				BS				BS
KAR* .....	S6			S8		S10		S10 S8 S6
KAR .....		S6		S8		S10		S10 S8 S6

Los valores característicos para la tracción perpendicular a la fibra y la compresión perpendicular a la fibra en función de la clase de densidad, dados por el Eurocódigo número 5, son los expresados en la tabla XII.

TABLA XII. Valores característicos de compresión perpendicular a la fibra y de tracción perpendicular a la fibra en función de la clase de densidad en MPa

	Clases de densidad				
	D300	D400	D500	D600	D800
Tracción perpendicular .....	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8
Compresión perpendicular a la fibra .....	6.0	7.0	8.0	11.0	13.0



- Crubile, Ph., et al.: «Eurocode n.º 5 Common unified rules for timber structures», Commission of the European Communities, Luxembourg, 1987.
- Littleford, T. W.: «The effectiveness of stress grading softwoods in Canada», Proceedings IUFRO XVI World Congress, Oslo, 1976.
- Madsen, B.: «Duration of load tests for wet lumber in bending», Structural Research Series Rpt. n.º 4, University of British Columbia, Vancouver, 1972.
- «Structural wood and limit states design», Structural Research Series Rpto. n.º 10, University of British Columbia, Vancouver, 1975.
- Mettem, C. J.: «Structural Timber and Technology», Timber Research and Development Association, 1986.
- Walford, G. B.: «In-grade testing of radiata pine for the Japanese market», NZFS, FRI, FP Division Timber Engineering Report n.º 23 (unpublished), 1978.
- ANON: «National timber grading rules», NZS 3631:1978, Standards Association of NZ, Wellington, 1978.
- «Code of practice for timber design», NZS 3603:1981, Standards Association of NZ, Wellington, 1981.
- «Static tests of timbers in structural sizes», ASTM D198-67, American Society for Testing Materials, 1973.
- «Wood handbook», Agriculture handbook n.º 72. Sec. 6-8, Forest Products Laboratory, USDA, Madison, 1974.
- «Tentative method for evaluating allowable properties for grades of structural lumber», ASTM D2915-70T, American Society for Testing Materials, 1970.
- «Visually stress graded radiata pine for structural purposes», AS 1490-1973, Standards Association of Australia, 1973.
- «ECE recommended standards for stress grading of structural coniferous sawn timber», Timber bulletin for Europe, vol XXXIV, Supplement 16, Gneva, 1982.
- «CP 112: Part 2 o The structural use of timber Metric units», British Standards Institution, 1971.
- «BS 5268: Part 2: Structural use of timber. Code of practice for permissible stress design, materials and workmanship», British Standards Institution, 1984.
- «Les Resineux Franais», Chaier n.º 124 du Centre Technique du Bois et de L'ameublement, Paris, 1984.

## ANEXO 1

## DEFECTOS MAXIMOS PERMITIDOS PARA CADA CLASE Y NORMA DE CLASIFICACION

## Norma neozelandesa NZS 3631:1978

En la cuantificación del defecto se tiene en cuenta la situación de mismo dentro de la pieza, distinguiéndose una zona central de 3/4 de la anchura de la pieza y dos zonas marginales de 1/8 de la anchura de la pieza.

## Clase Engineering

Entre otros, se permiten los siguientes defectos:

Bolsas de resina	15 mm de ancho por 150 mm de longitud o un área equivalente.
Fendas	600 mm de longitud máxima.
Nudos:	(1) Sobre la cara: como nudos de margen.
De arista	(2) Sobre el canto: como nudos de canto.
De cara centrales	3/10 de la anchura de la pieza.
De canto	1/3 del espesor del canto.
De margen	1/5 de la anchura de la pieza.
De espiga	1/6 de la sección transversal de la pieza.

No se admite médula.

## Clase Framing n.º 1

---

Entre otros, se permiten los siguientes defectos:

<u>Bolsa de resina</u>	200 mm de ancho por 200 mm de longitud o su área equivalente.
<u>Fendas</u>	No restringido.
<u>Nudos</u>	Todos los nudos excepto los de espiga: (1) En piezas que excedan de 150 mm de ancho, 1/3 de la sección de la pieza. (2) En piezas que no excedan de 150 mm de ancho, 1/4 de la sección de la pieza. De espiga: 1/4 de la sección de la pieza.
<u>Médula</u>	12 mm de anchura en piezas de los tamaños siguientes: (1) Menos de 10 mm de anchura y 50 mm de espesor. Todos los cantos libres de médula al menos en un 75 por 100 de su longitud. (2) Menos de 200 mm de anchura y 50 mm de espesor, que la médula está contenida en el tercio central de su canto.

## Clase Framing n.º 2

---

Entre otros, se permiten los siguientes defectos:

<u>Bolsas de resina</u>	(1) En la cara: 25 mm de ancho por 300 mm de largo o un rea equivalente. (2) En el canto: 200 mm de ancho por 200 de largo o un área equivalente.
<u>Fendas</u>	No restringidas.
<u>Nudos</u>	Todos excepto los de espiga: (1) En piezas de anchura menor de 150 mm, 1/2 de la sección. (2) En piezas de anchura superior a 150 mm, 1/3 de la sección. De espiga: 1/3 de la sección.
<u>Médula</u>	No se restringe salvo con la condición de que un 75 por 100 de la longitud del canto debe estar libre de ella.

## Método francés propuesto en el cuaderno n.º 124 del CTBA

---

En la cuantificación de los nudos solamente se tiene en cuenta la medida relativa del diámetro del nudo con respecto a la anchura y el espesor del canto de la pieza.

## Clase 1.ª

---

<u>Bolsas de resina</u>	Pequeñas bolsas de resina en cara, sin manifestarse en contracara.
<u>Fendas</u>	De longitud igual a la de la pieza y anchura inferior al 8 por 100 de la anchura de la pieza.
<u>Nudos</u>	Sanos y adherentes de 30 mm de diámetro, pudiendo llegar a 40 mm en contracara. Se admiten pequeños nudos no sanos en contracara.

Bolsas de resina	De anchura máxima de 80 mm.
Fendas	Longitud inferior a dos veces la de la pieza y anchura inferior al 8 por 100 de la pieza.
Nudos	Sanos o negros de diámetro inferior a 45 mm para piezas de anchura inferior a 150 mm, y no excediendo de 1/3 de la anchura de la cara para anchuras de piezas superiores a 150 mm. Se admiten nudos de canto de diámetro menor o igual a la mitad del espesor del canto.

## Método KAR

En la cuantificación de los nudos se tiene en cuenta la situación del mismo dentro de la pieza, distinguiéndose una zona central de anchura igual a  $d/2$  y dos zonas extremas de anchura igual a  $d/4$  cada una.

### Clase S10

Nudos	KAR extremo $1 \leq /5$ . KAR total $\leq 1/5$ .
Crecimiento	Anchura media de los anillos $\leq 6$ mm.
Fendas	Menores de 1/4 de la longitud de la pieza, con un máximo de 600 mm.

### Clase S8

Nudos	KAR extremo $1 \leq /2$ . KAR total $\leq 1/3$ . o KAR extremo $> 1/2$ . KAR total $\leq 1/5$ .
Crecimiento	Anchura media de los anillos $\leq 6$ mm.
Fendas	Menores de 1/4 de la longitud de la pieza con un máximo de 600 mm.

### Clase S6

Nudos	KAR extremo $\leq 1/2$ . KAR total $\leq 1/2$ . o KAR extremo $> 1/2$ . KAR total $\leq 1/3$ .
Crecimiento	Anchura media de anillos $\leq 10$ mm.
Fendas	Menores a 1/4 de la longitud de la pieza, con un máximo de 900 mm.