



[www.cetemas.es](http://www.cetemas.es)

## ESTRUCTURAS DE MADERA

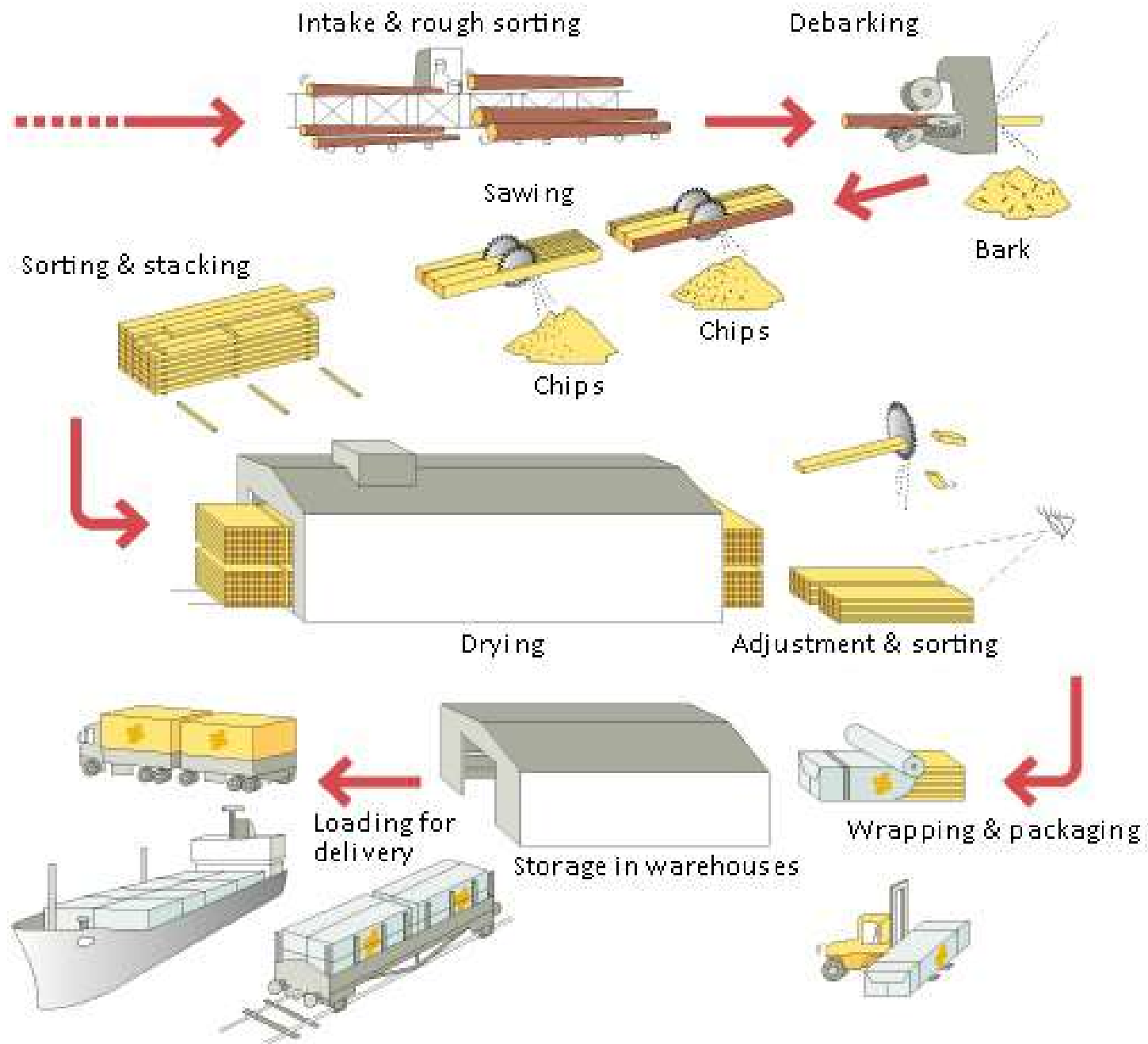
### 3.2. Madera aserrada estructural



1. Introducción
  - i. Propiedades visuales – Singularidades
  - ii. Propiedades no destructivas
  - iii. Propiedades destructivas – Ensayos mecánicos
2. Clasificación estructural
3. Clases resistentes
4. Fabricación
5. Caracterización

## 3.2. Madera aserrada estructural

### 3.2. MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL



1. Introducción
  - i. Propiedades visuales – Singularidades
  - ii. Propiedades no destructivas
  - iii. Propiedades destructivas – Ensayos mecánicos
2. Clasificación estructural
3. Clases resistentes
4. Fabricación
5. Caracterización

## 3.2. Madera aserrada estructural

### DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

#### 1. Definición de las exigencias para la clasificación de la madera estructural

Clasificación resistente de la madera estructural de sección rectangular. Parte 1. Exigencias generales

EN 14081-1



#### 2. Realización de los ensayos estructurales de determinación de las propiedades de la madera

Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades mecánicas y de la densidad

EN 408



#### 3. Cálculo de los valores característicos de las propiedades mecánicas de la madera

Estructuras de madera. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y densidad  
Estructuras de madera. Cálculo y verificación de los valores característicos

EN 384

EN 14358



#### 4. Asignación de las clases resistentes a la madera de castaño

Madera estructural. Clases resistentes

EN 338



#### 5. Aprobación de la norma de clasificación y asignaciones resistentes del CEN TC 124

Madera estructural. Clases resistentes. Asignación de calidades visuales y especies

EN 1912

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

### 1. Definición de las exigencias para la clasificación de la madera estructural

Clasificación resistente de la madera estructural de sección rectangular. Parte 1. Exigencias generales

EN 14081-1

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

### 1. Definición de las exigencias para la clasificación de la madera estructural

Clasificación resistente de la madera estructural de sección rectangular. Parte 1. Exigencias generales

EN 14081-1

## 1 Objeto y campo de aplicación

Esta norma europea establece los requisitos aplicables a la madera clasificada por su resistencia, de sección transversal rectangular, mecanizada mediante aserrado, cepillado u otros métodos, y conforme con las dimensiones mínimas de sección establecidas en la Norma EN 336 (designada en adelante como madera estructural).

Esta norma europea incluye disposiciones relativas a los métodos de ensayo, la evaluación y la verificación de la constancia de las prestaciones y al marcado de la madera estructural.

NOTA 1 Para la madera clasificada por máquina, se establecen disposiciones complementarias de los ensayos de tipo (TT) en la Norma EN 14081-2 y para el control interno de la producción en la Norma EN 14081-3.

NOTA 2 En la Norma EN 14358 se indica un procedimiento de aceptación para la verificación de un lote y puede también aplicarse para el suministro de madera estructural.

Esta norma europea identifica las características para las que se deben establecer limitaciones en las normas de clasificación visual.

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

### 1. Definición de las exigencias para la clasificación de la madera estructural

Clasificación resistente de la madera estructural de sección rectangular. Parte 1. Exigencias generales

EN 14081-1



### 2. Realización de los ensayos estructurales de determinación de las propiedades de la madera

Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y densidad

EN 408



## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

EN 408

Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural.  
Determinación de algunas propiedades físicas y densidad

1. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD	$H$ (%)
2. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )
3. ACONDICIONAMIENTO DE LAS VIGAS	$T^{a20\pm 2^{\circ}C}; H.R. 65\pm 5\%$
4. MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL EN FLEXIÓN	$E_o$
5. MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL EN TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA	$E_{t,o}$
6. MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL EN COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA	$E_{c,o}$
7. MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL PERPENDICULAR A LA FIBRA	$E_{90}$
8. MÓDULO DE ELASTICIDAD TRANSVERSAL	$G$
9. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	$f_m$
10. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA	$f_{t,o}$
11. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA	$f_{c,o}$
12. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA	$f_{t,90}$
13. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA	$f_{c,90}$
14. RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE	$f_v$

Ensayos mínimos  
para determinar las  
propiedades  
mecánicas básicas

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS



ENSAYOS MECÁNICOS



EN 408

$E_{estr}$   $f_m$  densidad



**clase resistente**

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

EN 408

Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural.  
Determinación de algunas propiedades físicas y densidad

Tabla 1 – Clases resistentes. Valores característicos

		Coníferas y chopo											Fronzosas								
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Propiedades de resistencia (en N/mm <sup>2</sup> )																					
Flexión	$f_{mk}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70
Tracción paralela a la fibra	$f_{tk}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42
Tracción perpendicular a la fibra	$f_{t90k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compresión paralela a la fibra	$f_{ck}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34
Compresión perpendicular a la fibra	$f_{c,90k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
Cortante	$f_{vk}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
Propiedades de rigidez (en kN/mm <sup>2</sup> )																					
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra	$E_{0,medio}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra (5% percentil)	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
Módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra	$E_{90,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
Módulo medio de cortante	$G_{medio}$	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
Densidad (en kg/m <sup>3</sup> )																					
Densidad	$\rho_k$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	550	620	700	900
Densidad media	$\rho_{medio}$	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1080

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

### 1. ACONDICIONAMIENTO DE LAS VIGAS

$T^{a}20\pm 2^{\circ}\text{C}$  ;  $H.R.65\pm 5\%$



## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

## 2. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD

 $H (\%)$ 

SECADO EN ESTUFA



Vega, A. 2013- CETEMAS

$$H (\%) = ((m_H - m_o) / m_o) \cdot 100$$

$m_H$ : masa de la rebanada con contenido de humedad  $H$

$m_o$ : masa de la muestra anhidra



## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

### 2. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD

*H (%)*



Vega, A. 2013- CETEMAS

EN 13183-2. Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 2: Estimación por el método de la resistencia eléctrica.

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

### 3. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

$\rho$  (Kg/m<sup>3</sup>)



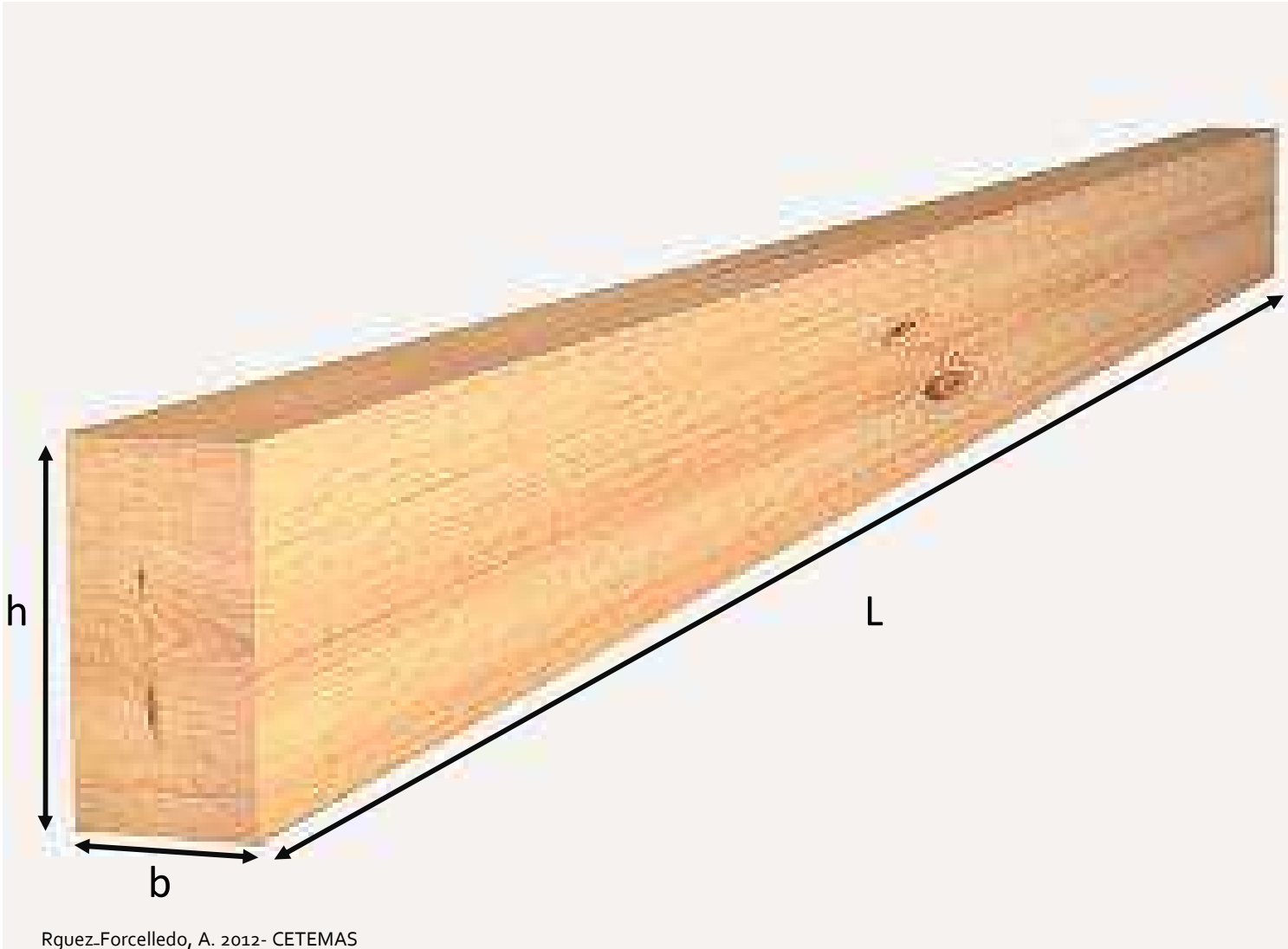
Vega, A. 2013- CETEMAS



## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

### 4. MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL EN FLEXIÓN

$E_o$



Rguez-Forcelledo, A. 2012- CETEMAS

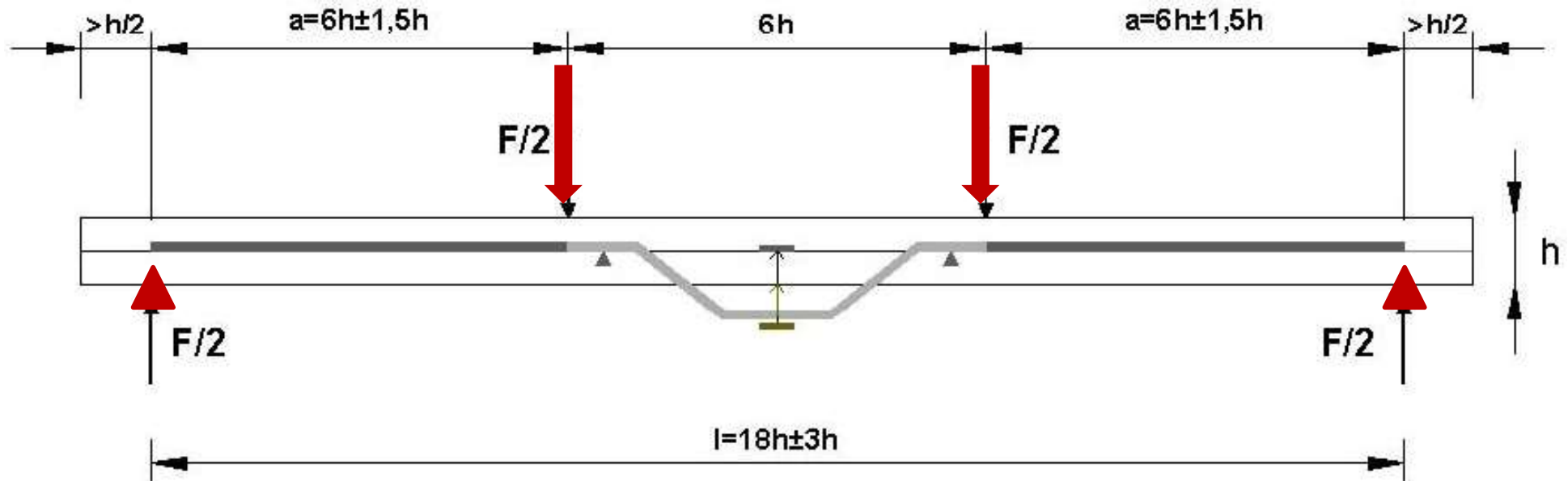
## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

### 4. MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL EN FLEXIÓN

$E_o$

La longitud de la probeta = 19 veces la altura de la sección.

Esquema de carga ensayo a flexión de 4 puntos



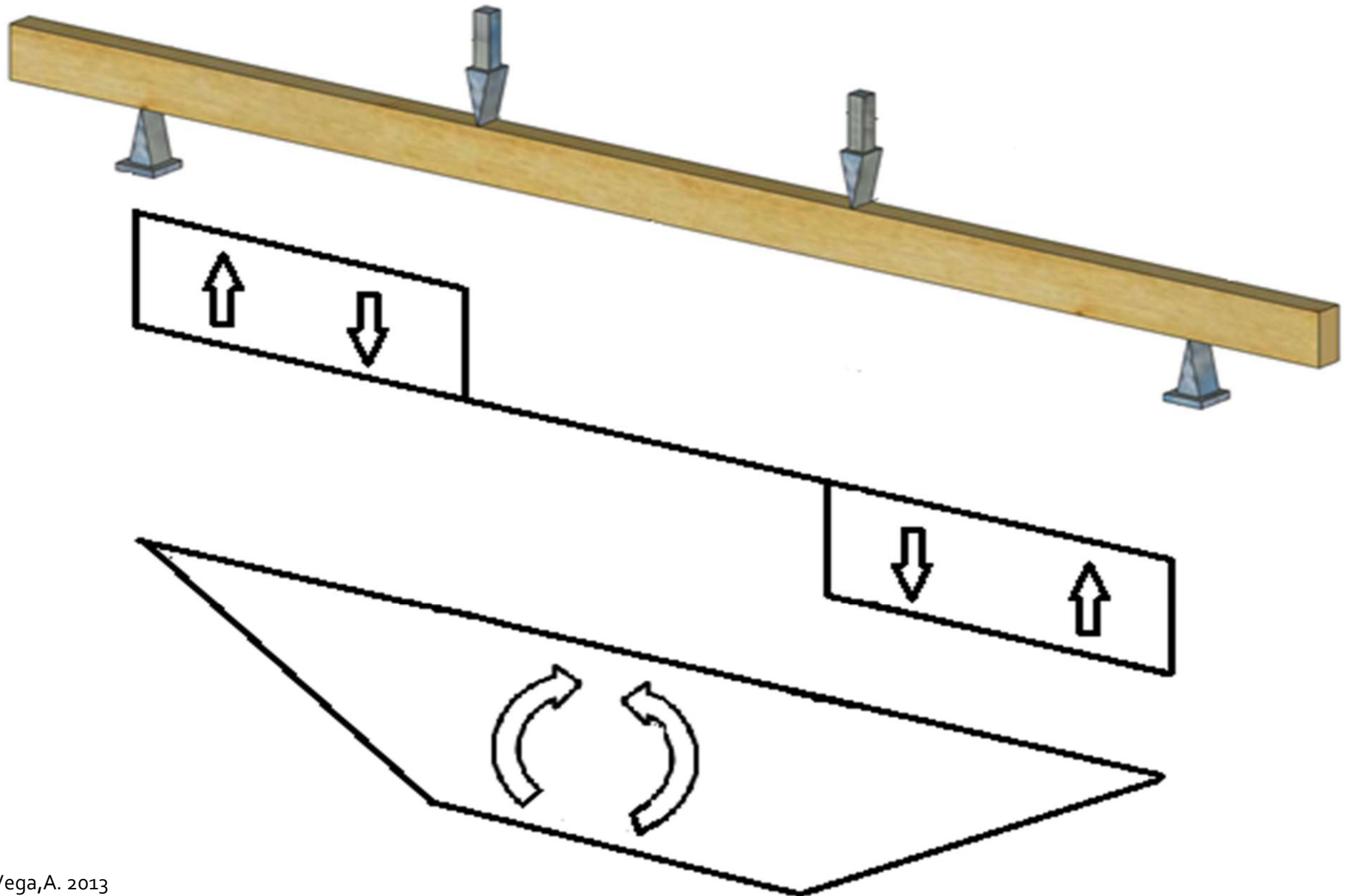
## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

### 4. MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL EN FLEXIÓN

$E_0$

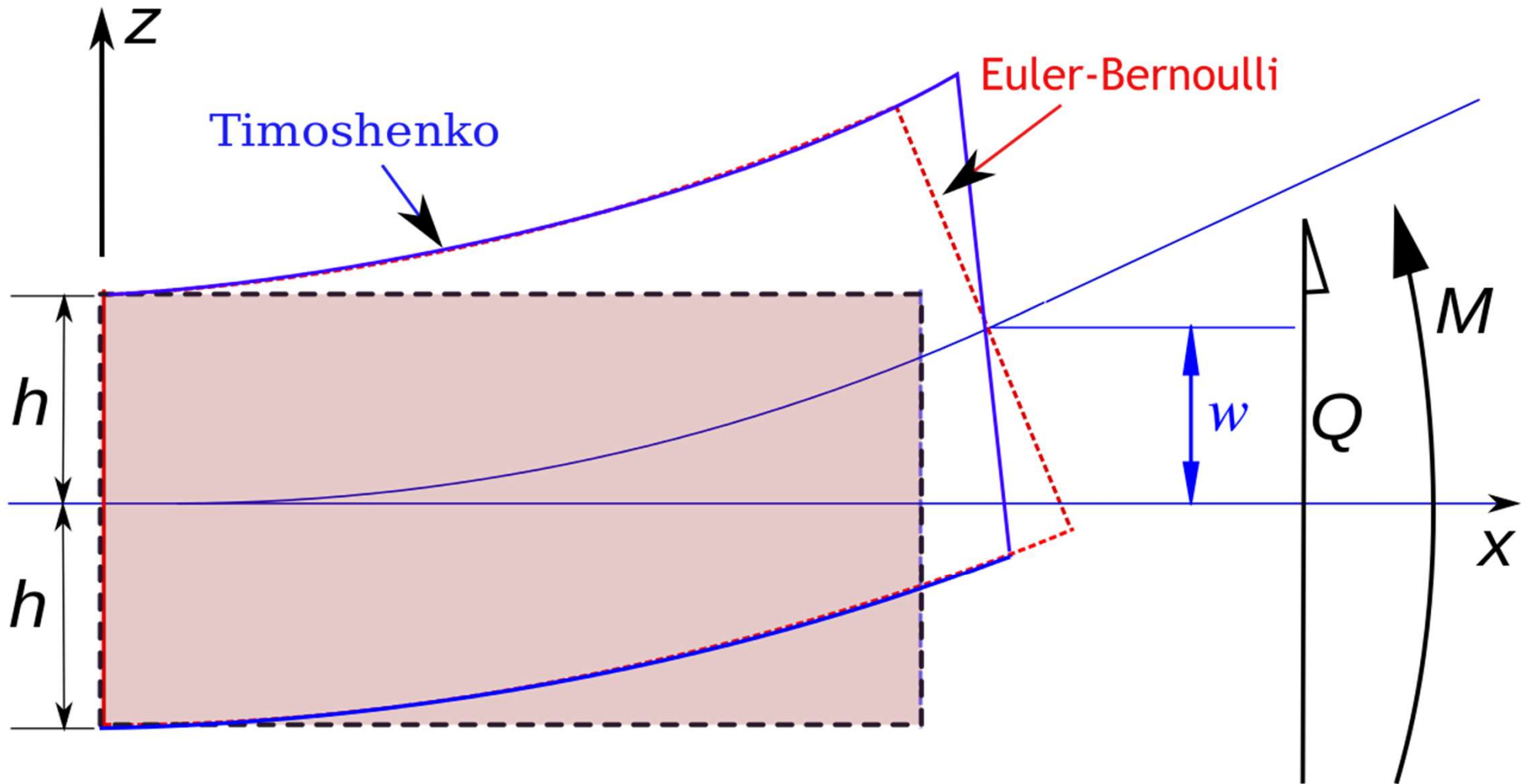


DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS



Vega,A. 2013

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS



Importancia en la madera

¿Cómo se tiene en cuenta en la caracterización?

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

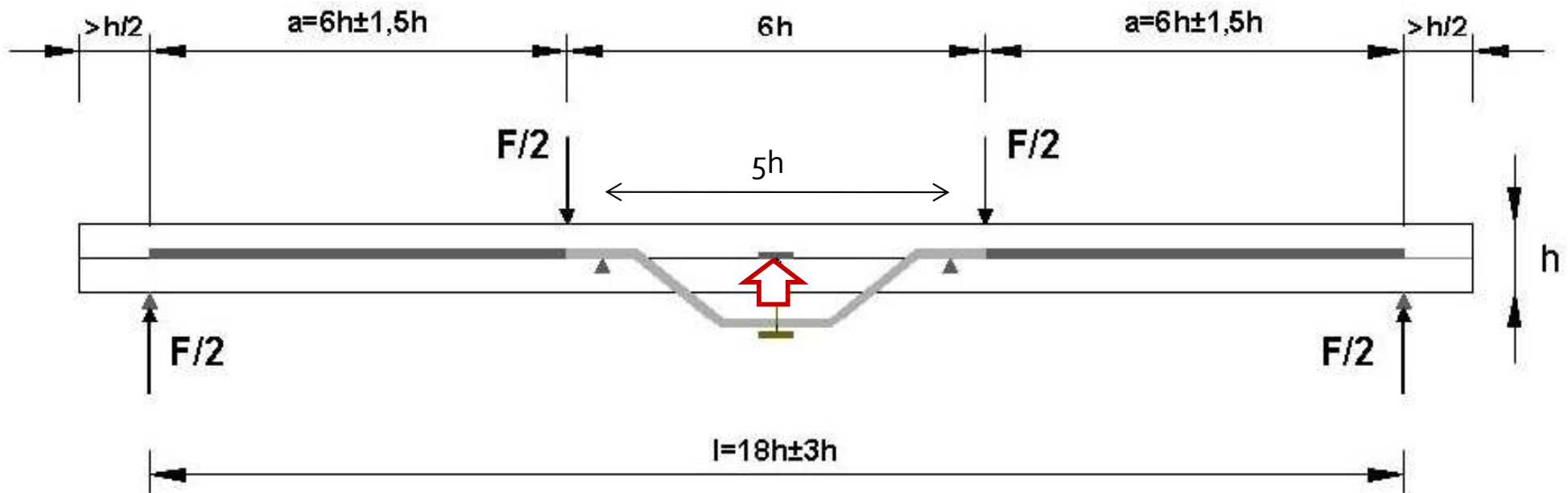
4. MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL EN FLEXIÓN

 $E_o$ 

MODULO DE ELASTICIDAD LOCAL

 $E_{o,l}$ 

MEDICIÓN DE LA DEFORMACIÓN:





## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

4. MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL EN FLEXIÓN

$E_o$

MODULO DE ELASTICIDAD LOCAL

$E_{o,l}$

MEDICIÓN DE LA DEFORMACIÓN:



Baño, V. 2009



## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

4. MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL EN FLEXIÓN

$E_o$

MODULO DE ELASTICIDAD LOCAL

$E_{o,l}$

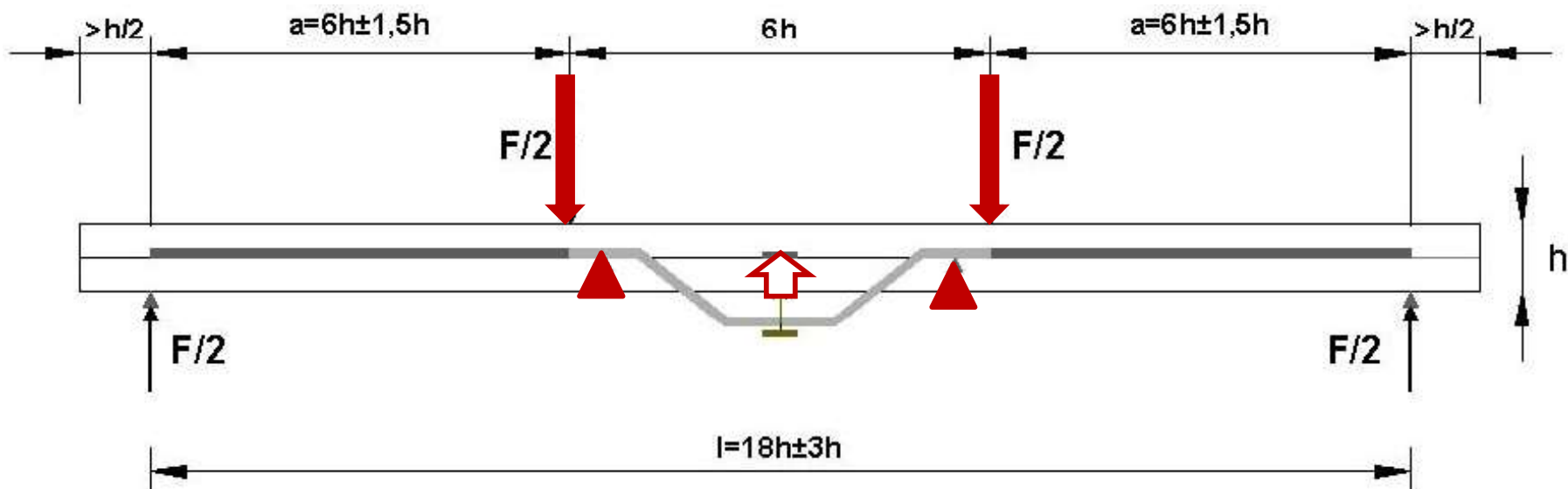
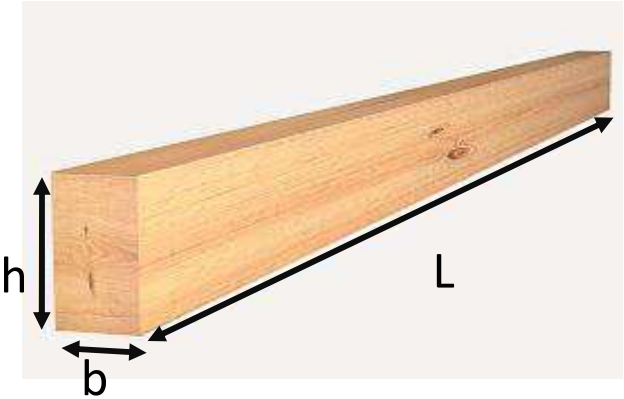
MEDICIÓN DE LA DEFORMACIÓN:

Determinación del módulo de elasticidad local

$$E_{m,l} = \frac{al_1^2 (F_2 - F_1)}{16 I (w_2 - w_1)}$$

Pendiente de la recta F-w

$$I = b h^3 / 12$$





## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

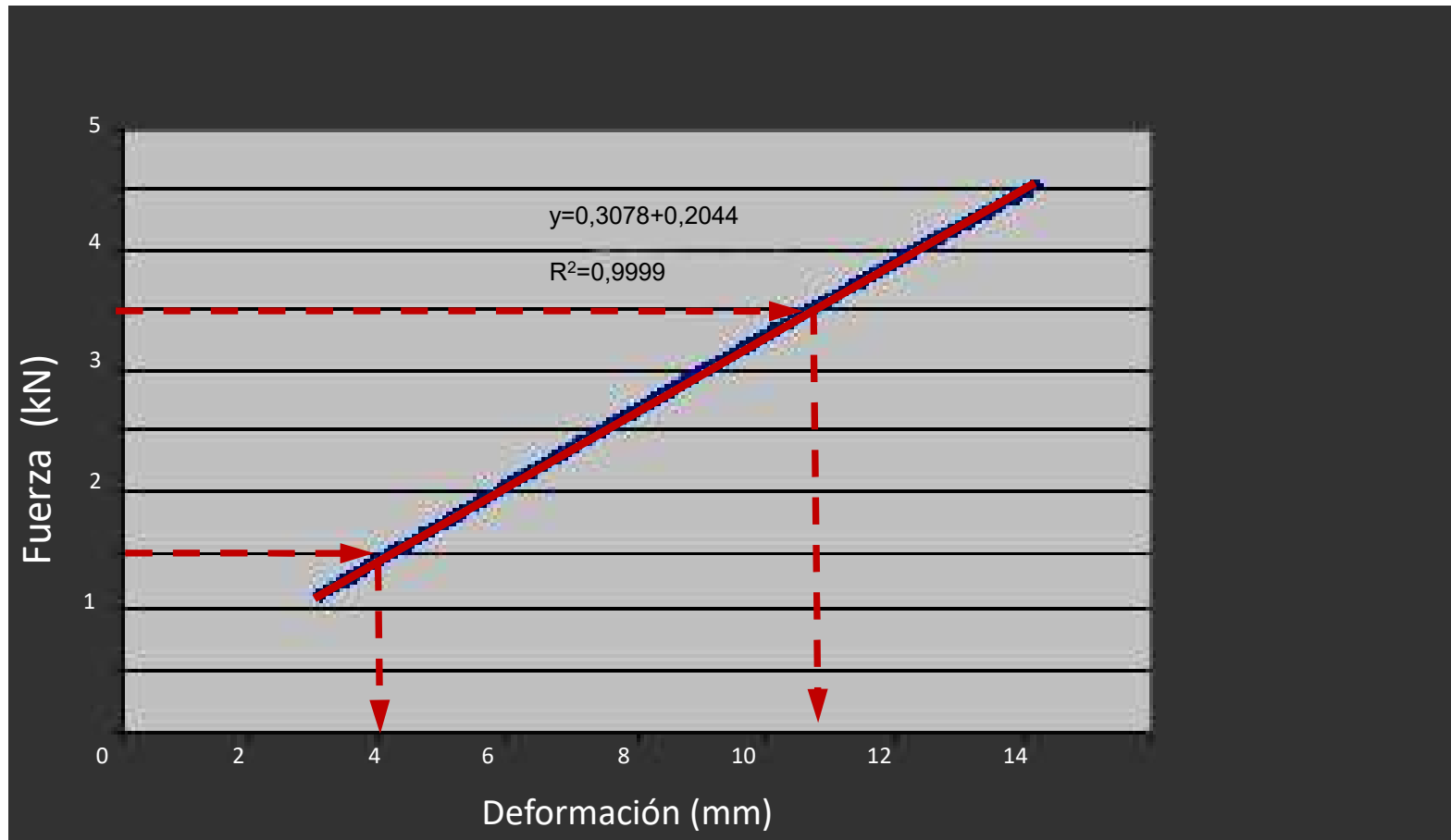
4. MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL EN FLEXIÓN

 $E_o$ 

MODULO DE ELASTICIDAD LOCAL

 $E_{o,l}$ 

Pendiente de la recta F-w



## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

4. MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL EN FLEXIÓN

 $E_o$ 

MÓDULO DE ELASTICIDAD GLOBAL

 $E_{o,g}$ 

MEDICIÓN DE LA DEFORMACIÓN:

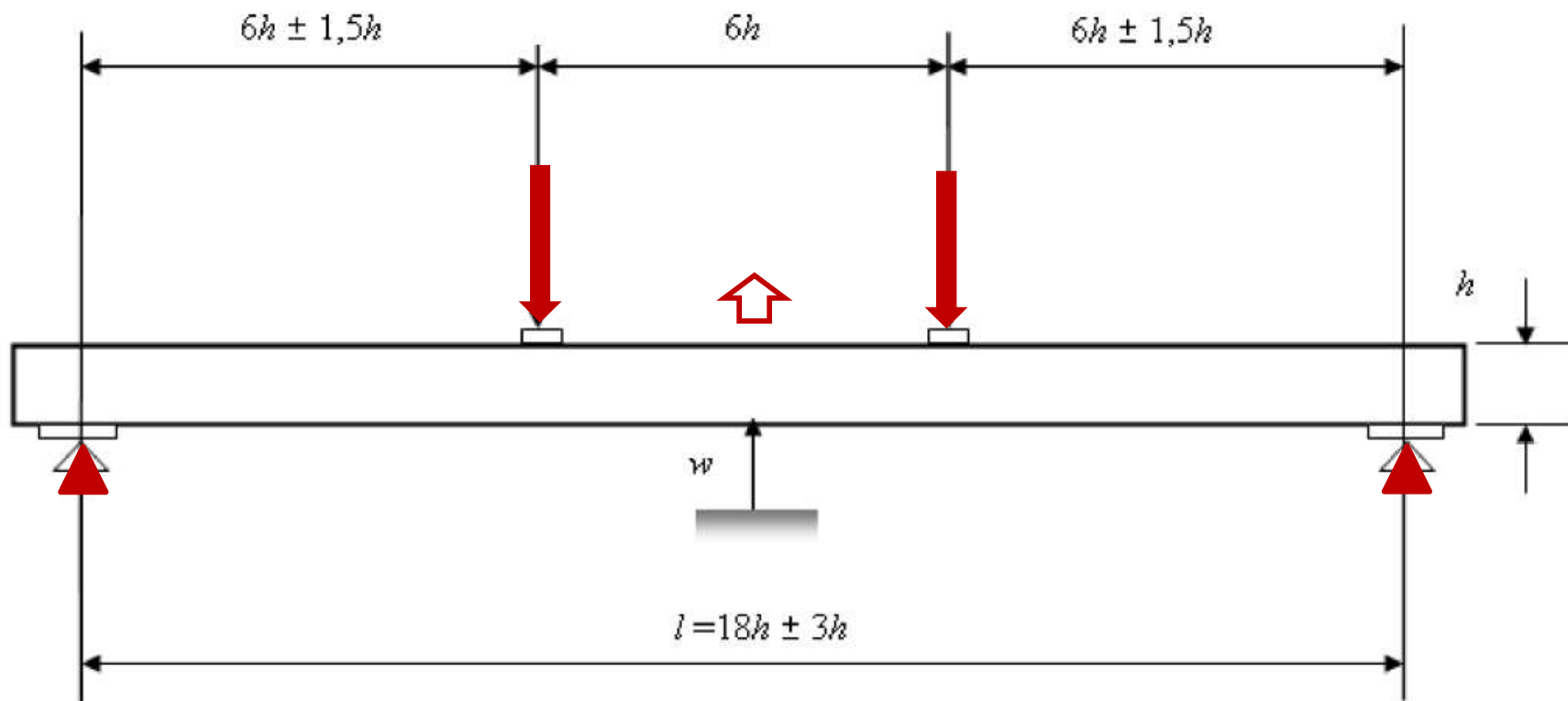


Figura 3 – Dispositivo de ensayo para la medición del módulo de elasticidad global en flexión

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

4. MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL EN FLEXIÓN

$E_o$

MODULO DE ELASTICIDAD GLOBAL

$E_{o,g}$

MEDICIÓN DE LA DEFORMACIÓN:



## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

4. MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL EN FLEXIÓN

$E_o$

CALCULO DEL VALOR MEDIO DEL MODULO DE ELASTICIDAD GLOBAL

$E_{o,g}$

MEDICIÓN DE LA DEFORMACIÓN:

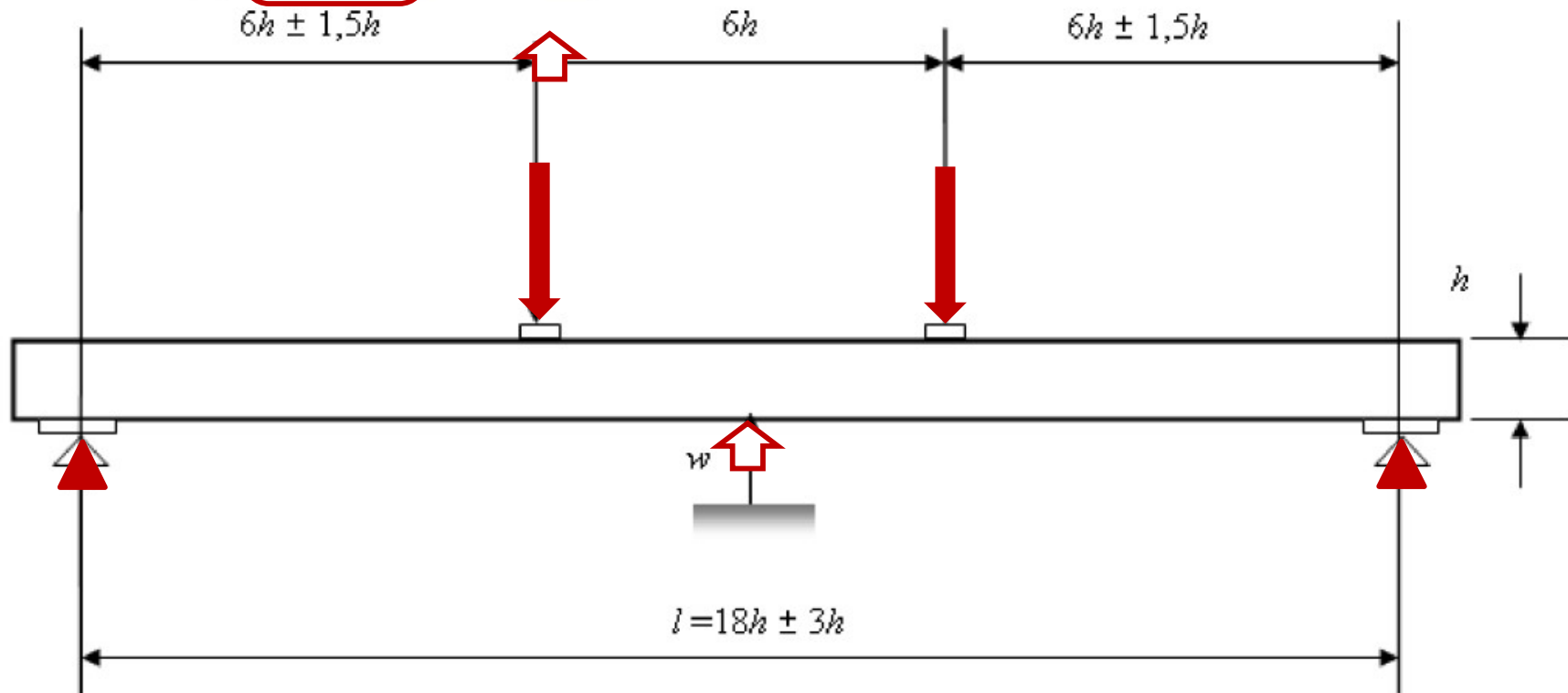
Determinación del módulo de elasticidad global

$$E_{m,g} = \frac{3al^2 - 4a^3}{2bh^3 \left( 2 \frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} - \frac{6a}{5Gbh} \right)}$$

*o*  
 $E_{m,\ell}$

Determinación del módulo de elasticidad transversal (G)

1. Ensayo según el método de la luz única
2. Ensayo de torsión
3. Considerar  $G = \infty$  -----  $E_{m,g}$
4. Considerar  $G = 650 \text{ N/mm}^2$  para coníferas -----  $E_{m,\ell}$
5. Considerar  $G = E/16$  -----  $E_{m,\ell}$



## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

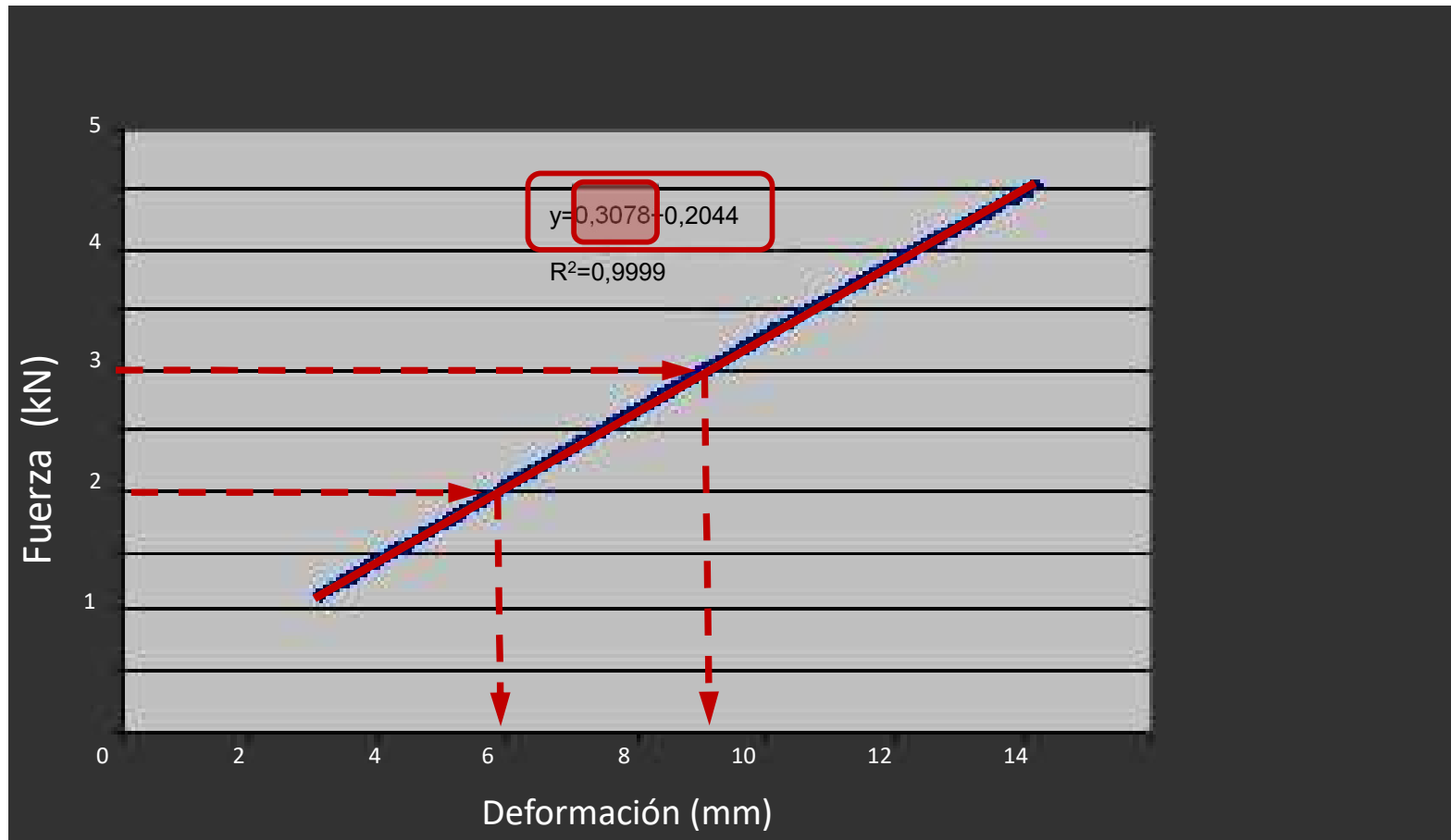
4. MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL EN FLEXIÓN

 $E_o$ 

MÓDULO DE ELASTICIDAD GLOBAL

 $E_{o,g}$ 

MEDICIÓN DE LA DEFORMACIÓN:

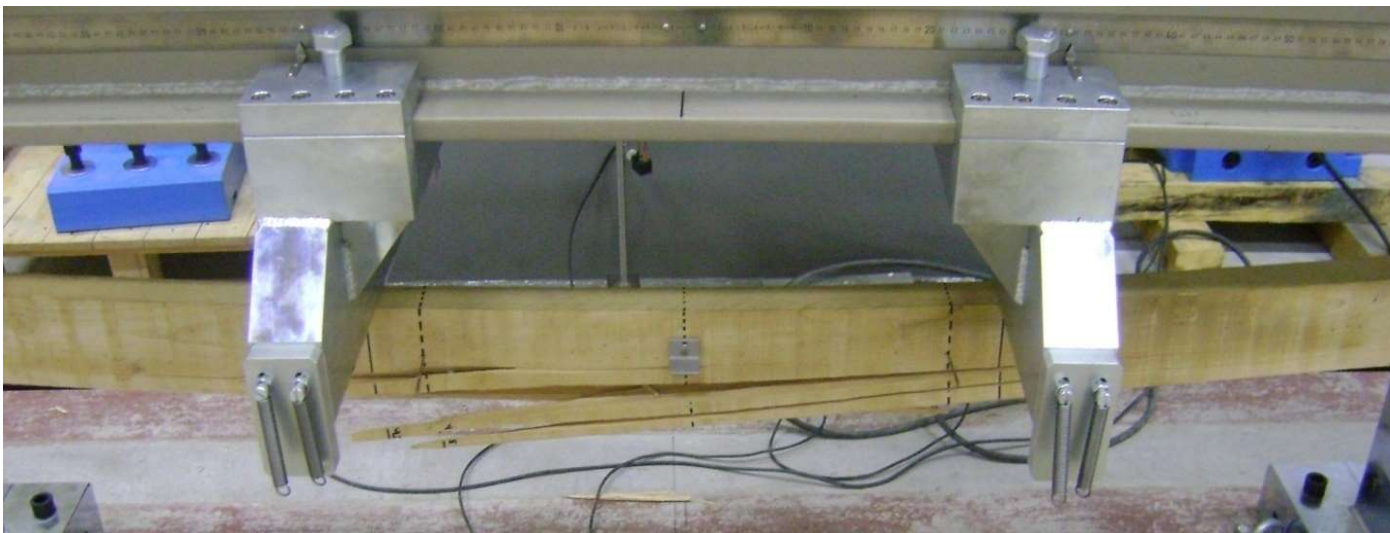
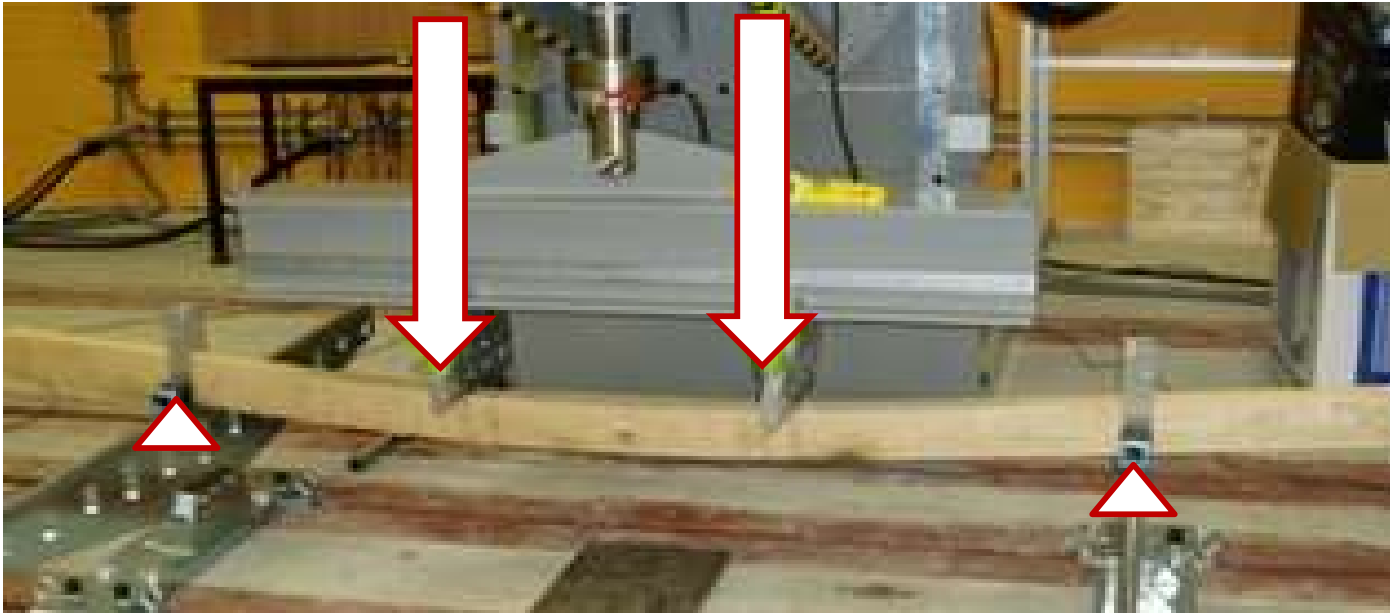


## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

## 5. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN. CALCULO DEL VALOR MEDIO

 $f_m$ 

$$f_m = \frac{3Fa}{bh^2}$$



### DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

#### 1. Definición de las exigencias para la clasificación de la madera estructural

Clasificación resistente de la madera estructural de sección rectangular. Parte 1. Exigencias generales

EN 14081-1



#### 2. Realización de los ensayos estructurales de determinación de las propiedades de la madera

Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y densidad

EN 408



#### 3. Calculo de los valores característicos de las propiedades mecánicas de la madera

Estructuras de madera. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y densidad

EN 384

EN 14358

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

EN 384:2010. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad

### 1. MUESTREO



Cada muestra debe provenir de la misma procedencia, debe tener las mismas dimensiones y la misma calidad de clasificación



# DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

EN 384

MUESTREO

### **Población:**

Madera a la que se aplican los valores característicos.

### **Procedencia:**

Zona geográfica identificable de origen de la especie o grupo de especies a partir de la cual se clasifica o se prevé clasificar la madera por su resistencia.

### **Muestra:**

Número de probetas no clasificadas de una especie o grupo de especies de una procedencia, que tiene unas medidas y una calidad representativas de la población de madera

### **Submuestra:**

Parte de una o varias muestras integrada por probetas de una misma calidad (visual).

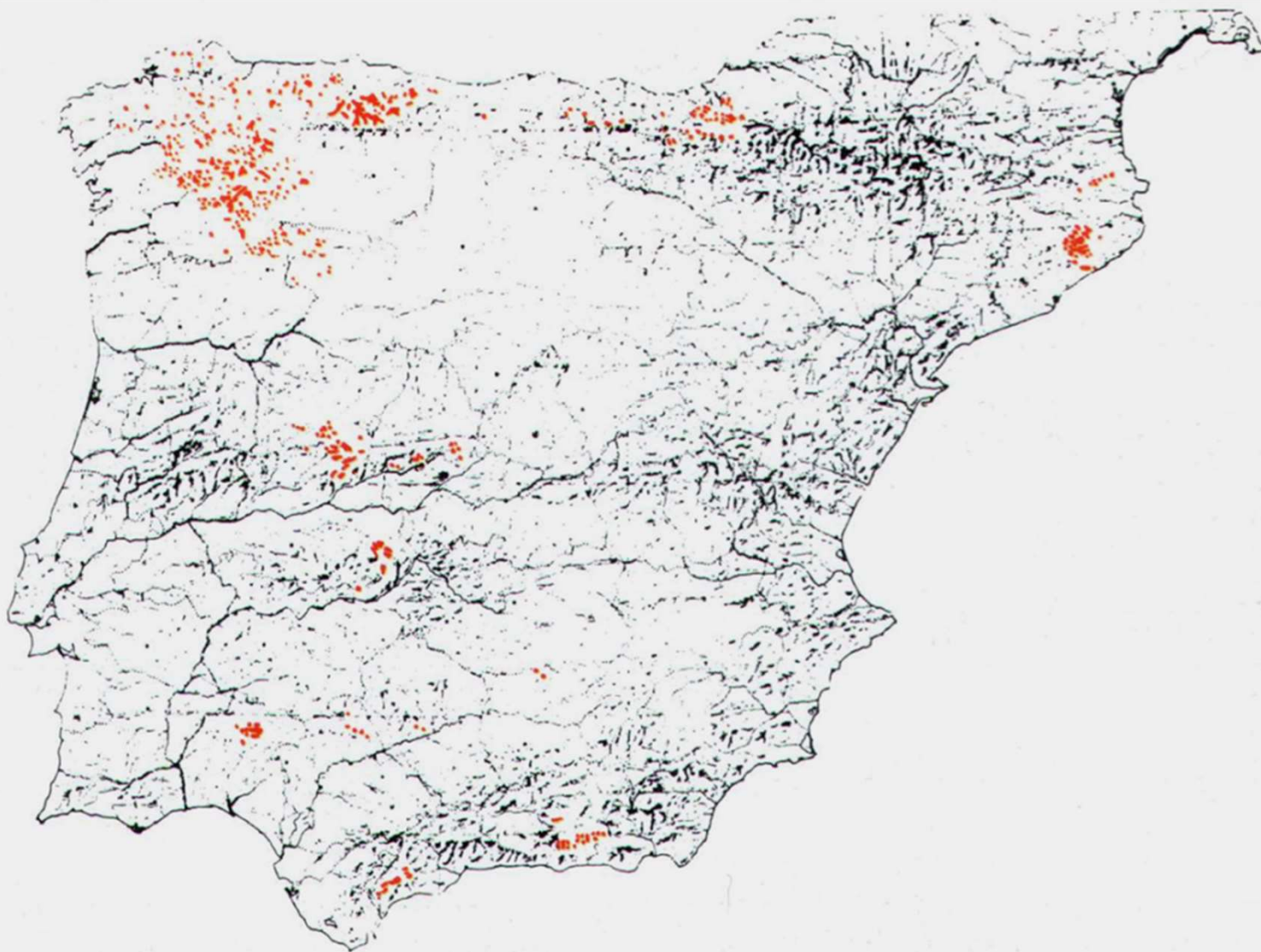
## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS: *ejemplo*

EN 384:2010. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad

### 1. MUESTREO

### POBLACION

EJEMPLO: CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LA MADERA DE CASTAÑO DE PROCEDENCIA ESPAÑOLA



## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS: *ejemplo*

EN 384:2010. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad

### 1. MUESTREO

### PROCEDENCIAS

EJEMPLO: CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LA MADERA DE CASTAÑO DE PROCEDENCIA ESPAÑOLA



## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS: *ejemplo*

EN 384:2010. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad

### 1. MUESTREO

### DIMENSIONES

EJEMPLO: CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LA MADERA DE CASTAÑO DE PROCEDENCIA ESPAÑOLA



40x100x2500 mm

40x150x3500 mm

70x150x3500 mm



DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS: *ejemplo*

EN 384:2010. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad

## 1. MUESTREO

MIN. 40 PROBETAS/MUESTRA

EJEMPLO: CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LA MADERA DE CASTAÑO DE PROCEDENCIA ESPAÑOLA

PROCEDENCIAS	DIMENSIONES	MUESTRAS	PROBETAS
ASTURIAS	40x100x2500 mm	1	170
	40x150x3500 mm	2	170
	70x150x3500 mm	3	170
CATALUÑA	40x100x2500 mm	4	64
	40x150x3500 mm	5	64
	70x150x3500 mm	6	64
GALICIA	40x100x2500 mm	7	50
	40x150x3500 mm	8	50
	70x150x3500 mm	9	50
EXTREMADURA	40x100x2500 mm	10	50
	40x150x3500 mm	11	50
CASTILLA LEON	40x100x2500 mm	12	50
			<b>TOTAL: 972 probetas</b>

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS: *ejemplo*

EN 384:2010. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad

## 1. MUESTREO

MIN. 40 PROBETAS/MUESTRA

EJEMPLO: CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LA MADERA DE CASTAÑO DE PROCEDENCIA ESPAÑOLA

PROCEDENCIAS	DIMENSIONES	MUESTRAS	PROBETAS	Sub-muestras clasificadas <b>MEF</b>
ASTURIAS	40x100x2500 mm	1	170	129
	40x150x3500 mm	2	170	127
	70x150x3500 mm	3	170	138
CATALUÑA	40x100x2500 mm	4	64	52
	40x150x3500 mm	5	64	54
	70x150x3500 mm	6	64	57
GALICIA	40x100x2500 mm	7	50	40
	40x150x3500 mm	8	50	43
	70x150x3500 mm	9	50	40
EXTREMADURA	40x100x2500 mm	10	50	40
	40x150x3500 mm	11	50	40
CASTILLA LEON	40x100x2500 mm	12	50	40
			<b>TOTAL: 972</b>	<b>800 (82%)</b>

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS: ejemplo

2. ENSAYOS MECÁNICOS

EN 408

EJEMPLO: CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LA MADERA DE CASTAÑO DE PROCEDENCIA ESPAÑOLA



## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS: ejemplo

## 3. VALOR CARACTERÍSTICO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

 $E_{o,medio}$ 

## 3.1. CORRECCIÓN POR HUMEDAD DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE CADA PROBETA

 $E_{g12}$ 

Disminución del 1% del valor del módulo de elasticidad por cada incremento del 1% con respecto a un contenido de humedad de la probeta del 12%

EJEMPLO: CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LA MADERA DE CASTAÑO DE PROCEDENCIA ESPAÑOLA

Probeta	$E_{g10}$	$E_{g12}$
AI01a	8,37	8,41
AI01b	10,64	10,50
AI01c	11,00	11,00
AI02a	14,23	14,21
AI02b	12,95	13,12
AI02c	10,19	10,23
AI03a	13,03	12,99
AI03b	11,90	11,89
AI03c	12,96	12,90
AI04a	12,21	12,16
AI04b	11,28	11,71
AI04c	12.63	12.56

Vega, A. 2013

EN 384:2010. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad



## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

### 3. VALOR CARACTERÍSTICO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

 $E_{o,medio}$ 

### 3.2. CORRECCIÓN POR INFLUENCIA DEL CORTANTE EN EL MÓDULO DE ELASTICIDAD

 $\bar{E}$ 

Corrección del valor del módulo de elasticidad obtenido en el ensayo de flexión global para que quede libre de la influencia de cortante. El valor que se usa en la definición de las clases resistente es el módulo de elasticidad local.

$$E_{m,\ell} = \frac{3al^2 - 4a^3}{2bh^3 \left( 2 \frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} - \frac{6a}{5Gb} \right)}$$

### 3.3. CÁLCULO DEL VALOR CARACTERÍSTICO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

 $E_{o,medio}$ 

$$E_{0,medio} = \frac{\sum \bar{E}_j n_j}{\sum n_j}$$

donde

$n_j$  es el número de probetas de la muestra  $j$ ;

$\bar{E}_j$  es el valor medio del módulo de elasticidad de la muestra  $j$  (en newton por milímetro cuadrado).

EN 384:2010. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS: ejemplo

3. VALOR CARACTERÍSTICO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

$E_{o,medio}$

Vega, A., Arriaga, F., Guaita, M, Baño, V. (2013). *Proporsal for visual grading criteria of structural timber of sweet chestnut from Spain*. European Journal of Wood and Wood Products. DOI 10.1007/s00107-013-0705-4

Table 2. Characteristic values by provenance according to EN 384 (CEN EN 384:2010) Vega et al., A. 2013

Species	Provenance	Grade	Number of specimens	h (mm)	b (mm)	H (%)	$f_m$ (N mm <sup>-2</sup> )	COV (%)	$f_{05}$ (N mm <sup>-2</sup> )	Adjustment factor	Reason	Adjusted $f_{05}$ (N mm <sup>-2</sup> )	$f_{m,k}$ (N mm <sup>-2</sup> )	$E_0$ (kN mm <sup>-2</sup> )	Adjustment factor	Reason	Adjusted $E_0$ (kN mm <sup>-2</sup> )	$E_{0,mean}$ (kN mm <sup>-2</sup> )	$\rho_{05}$ (kg m <sup>-3</sup> )	Adjustment factor	Reason	Adjusted $\rho_{05}$ (kg m <sup>-3</sup> )	$\rho_k$ (kg m <sup>-3</sup> )		
																								Weighted average	Weighted average
<i>Castanea sativa</i> Mill.	A	MEF	129	100	40	12.8	58.7	24.0	34.7	1.08	$k_{21}$	32.0		12.9	1.01	H	13.0		494.8	1.00	H	494.8			
	A	MEF	127	150	40	14.1	45.0	22.1	26.2	1.00	$k_{21}$	26.2		11.8	1.02	H	12.0		508.8	0.99	H	505.6			
	A	MEF	138	150	70	15.4	46.1	24.9	25.8	1.00	$k_{21}$	25.8		12.0	1.04	H	12.4		522.4	0.99	H	516.6			
	E	MEF	40	100	40	12.0	60.8	24.4	36.2	1.08	$k_{21}$	33.4		13.9	1.00	H	13.9		510.8	1.00	H	512.7			
	E	MEF	40	150	40	12.3	51.9	24.6	27.1	1.00	$k_{21}$	27.1		13.6	1.00	H	13.6		546.2	1.00	H	547.7			
	C-L	MEF	40	100	40	13.5	55.0	23.2	31.3	1.08	$k_{21}$	28.9		11.9	1.02	H	12.1		531.1	0.98	H	519.8			
	C	MEF	52	100	40	11.3	53.1	27.7	29.5	1.08	$k_{21}$	27.2		11.4	0.99	H	11.3		502.2	1.00	H	504.7			
	C	MEF	54	150	40	11.6	50.6	28.6	26.7	1.00	$k_{21}$	26.7		13.2	1.00	H	13.2		512.2	1.00	H	513.8			
	C	MEF	57	150	70	13.9	47.5	22.5	27.4	1.00	$k_{21}$	27.4		13.0	1.02	CH	13.3		502.9	1.00	CH	504.0			
	G	MEF	40	100	40	17.2	46.5	20.7	30.1	1.08	$k_{21}$	27.8		9.6	1.07	CH	10.2		508.8	0.99	CH	502.9			
	G	MEF	43	150	40	21.2	41.9	19.6	26.5	1.00	$k_{21}$	26.5		10.1	1.06	CH	10.7		517.5	0.98	CH	509.0			
	G	MEF	40	150	70	22.0	38.0	25.0	23.9	1.00	$k_{21}$	23.9		9.6	1.13	CH	10.8		529.3	0.98	CH	517.0			
	Total			800											Weighted average	28				Weighted average	12.3				Weighted average

where:  $b$  is the width of the beam;  $h$  is the height of the beam;  $H$  is the moisture content;  $f_m$  is the mean value of bending strength;  $f_{m,05}$  is the 5<sup>th</sup> percentile of bending strength;  $f_{m,k}$  is the characteristic value of bending strength;  $E_0$  is the mean value of the global modulus of elasticity;  $E_{0,mean}$  is the characteristic value of the modulus of elasticity;  $\rho_{05}$  is the 5<sup>th</sup> percentile of density and  $\rho_k$  is the characteristic value of the density.

Spanish provenances: A is Asturias; E is Extremadura; C-L is Castilla-León; C is Cataluña and G is Galicia

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS: ejemplo

## 4. VALOR CARACTERÍSTICO DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN

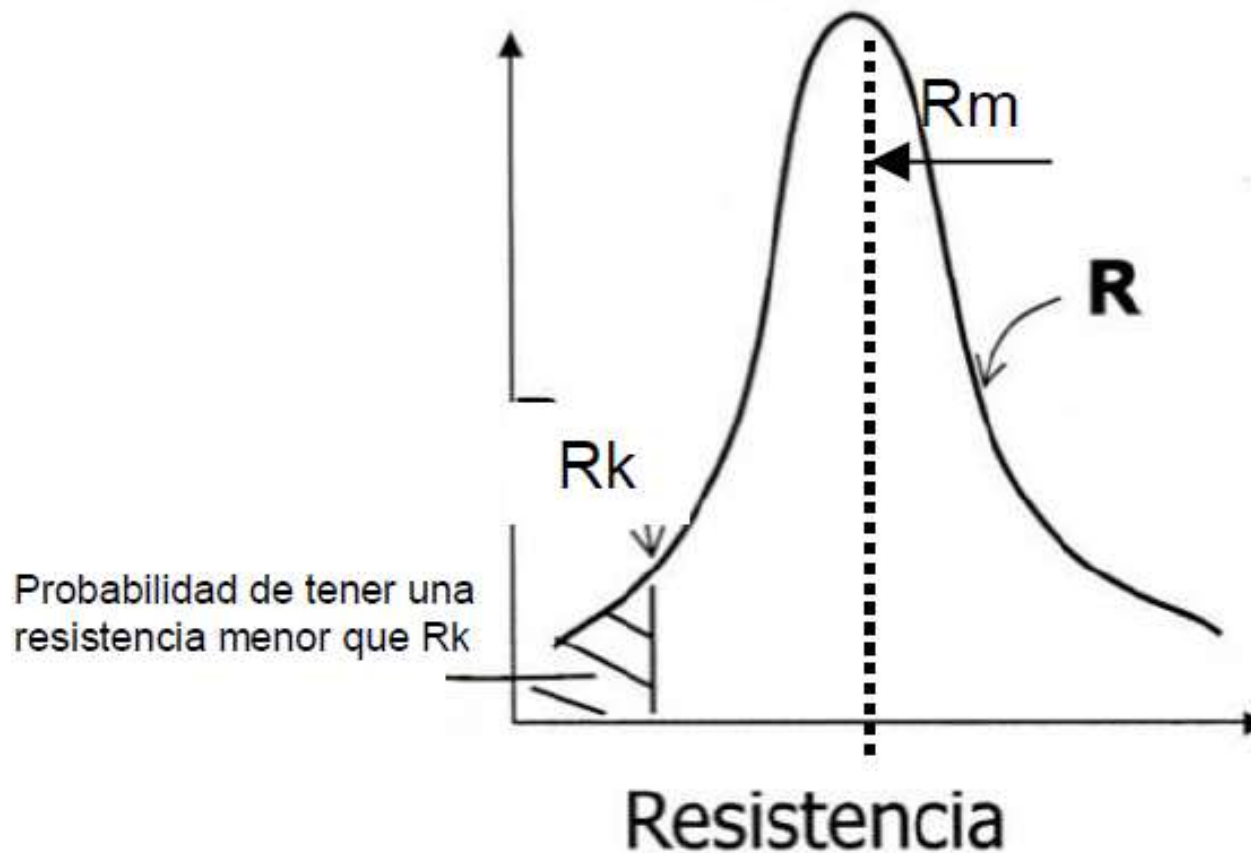
 $f_k$ 

## 4.1. DETERMINACIÓN DEL 5º PERCENTIL DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE LA MUESTRA

 $f_{05}$ 

Se calcula el 5º percentil de la muestra, ordenados los valores de cada probeta en orden creciente

El 5º percentil es el valor por debajo del cual se encuentra el 5% de los resultados.



EN 384:2010. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad  
 Baño V., Moya L., O'Neill H., Cardoso A., Cagno M. Cetrangolo G. y Domenech L. Documentos técnicos base para la normalización de  
 estructuras de madera. ISBN: 978-9974-0-1344-5

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS: ejemplo

## 4. VALOR CARACTERÍSTICO DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN

 $f_k$ 

## 4.1. DETERMINACIÓN DEL 5º PERCENTIL DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE LA MUESTRA

 $f_{05}$ 

Se calcula el 5º percentil de la muestra, ordenados los valores de cada probeta en orden creciente

El 5º percentil es el valor por debajo del cual se encuentra el 5% de los resultados.

## 4.2. CORRECCIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN POR TAMAÑO DE LA PROBETA

 $f_{05-kh}$ 

Obtención del valor del 5º percentil de la resistencia a flexión corregido a un canto de referencia  $h=150$  mm.

$$k_h = \left( \frac{150}{h} \right)^{0,2}$$

## 4.3. CÁLCULO DEL VALOR MEDIO DE LA MUESTRA DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN

 $\bar{f}_{05}$



### 3.2. MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS: ejemplo

Vega, A., Arriaga, F., Guaita, M, Baño, V. (2013). *Proporsal for visual grading criteria of structural timber of sweet chestnut from Spain*. European Journal of Wood and Wood Products. DOI 10.1007/s00107-013-0705-4

Table 2. Characteristic values by provenance according to EN 384 (CEN EN 384:2010) Vega et al., A. 2013

Species	Provenance	Grade	Number of specimens	h (mm)	b (mm)	H (%)	$f_{m,k}$ (N mm <sup>-2</sup> )	COV (%)	$f_{05}$ (N mm <sup>-2</sup> )	Adjustment factor	Reason	Adjusted $f_{05}$ (N mm <sup>-2</sup> )	$f_{m,k}$ (N mm <sup>-2</sup> )	$E_0$ (kN mm <sup>-2</sup> )	Adjustment factor	Reason	Adjusted $E_0$ (kN mm <sup>-2</sup> )	$E_{0,mean}$ (kN mm <sup>-2</sup> )	$\rho_{05}$ (kg m <sup>-3</sup> )	Adjustment factor	Reason	Adjusted $\rho_{05}$ (kg m <sup>-3</sup> )	$\rho_k$ (kg m <sup>-3</sup> )
							$f_{m,k}$																
<i>Castanea sativa</i> Mill.	A	MEF	129	100	40	12.8	58.7	24.0	34.7	1.08	$k_{2h}$	32.0	12.9	1.01	H	13.0	494.8	1.00	H	494.8			
	A	MEF	127	150	40	14.1	45.0	22.1	26.2	1.00	$k_{2h}$	26.2	11.8	1.02	H	12.0	508.8	0.99	H	505.6			
	A	MEF	138	150	70	15.4	46.1	24.9	25.8	1.00	$k_{2h}$	25.8	12.0	1.04	H	12.4	522.4	0.99	H	516.6			
	E	MEF	40	100	40	12.0	60.8	24.4	36.2	1.08	$k_{2h}$	33.4	13.9	1.00	H	13.9	510.8	1.00	H	512.7			
	E	MEF	40	150	40	12.3	51.9	24.6	27.1	1.00	$k_{2h}$	27.1	13.6	1.00	H	13.6	546.2	1.00	H	547.7			
	C-L	MEF	40	100	40	13.5	55.0	23.2	31.3	1.08	$k_{2h}$	28.9	11.9	1.02	H	12.1	531.1	0.98	H	519.8			
	C	MEF	52	100	40	11.3	53.1	27.7	29.5	1.08	$k_{2h}$	27.2	11.4	0.99	H	11.3	502.2	1.00	H	504.7			
	C	MEF	54	150	40	11.6	50.6	28.6	26.7	1.00	$k_{2h}$	26.7	13.2	1.00	H	13.2	512.2	1.00	H	513.8			
	C	MEF	57	150	70	13.9	47.5	22.5	27.4	1.00	$k_{2h}$	27.4	13.0	1.02	CH	13.3	502.9	1.00	CH	504.0			
	G	MEF	40	100	40	17.2	46.5	20.7	30.1	1.08	$k_{2h}$	27.8	9.6	1.07	CH	10.2	508.8	0.99	CH	502.9			
	G	MEF	43	150	40	21.2	41.9	19.6	26.5	1.00	$k_{2h}$	26.5	10.1	1.06	CH	10.7	517.5	0.98	CH	509.0			
	G	MEF	40	150	70	22.0	38.0	25.0	23.9	1.00	$k_{2h}$	23.9	9.6	1.13	CH	10.8	529.3	0.98	CH	517.0			
	Total			800								Weighted average	28			Weighted average	12.3			Weighted average	510		

where:  $b$  is the width of the beam;  $h$  is the height of the beam;  $H$  is the moisture content;  $f_m$  is the mean value of bending strength;  $f_{m,05}$  is the 5<sup>th</sup> percentile of bending strength;  $f_{m,k}$  is the characteristic value of bending strength;  $E_0$  is the mean value of the global modulus of elasticity;  $E_{0,mean}$  is the characteristic value of the modulus of elasticity;  $\rho_{05}$  is the 5<sup>th</sup> percentile of density and  $\rho_k$  is the characteristic value of the density.

Spanish provenances: A is Asturias; E is Extremadura; C-L is Castilla-León; C is Cataluña and G is Galicia

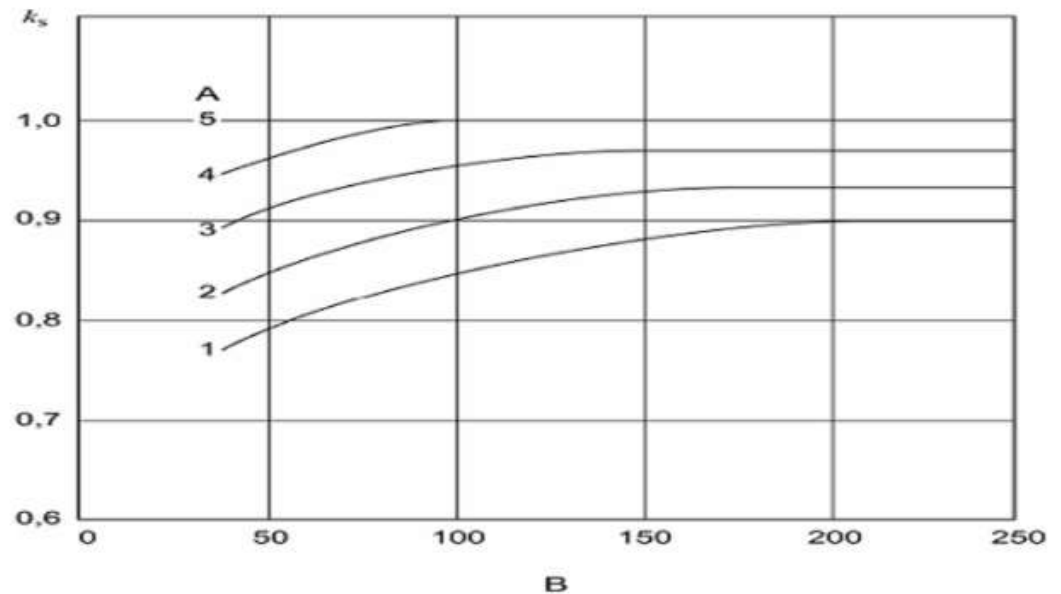
## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

## 4.4. VALOR CARACTERÍSTICO DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN

 $f_k$ 

$K_s$ : factor de corrección en función del número y tamaño de las muestras

$$f_k = \bar{f}_{05} k_s k_v$$



Leyenda

A Número de muestras

B Número de probetas en las muestras más pequeñas

Figura 1 – Influencia del número de muestras y de su tamaño sobre el coeficiente  $k_s$

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

4.4. VALOR CARACTERÍSTICO DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN

$f_k$

Table 2. Characteristic values by provenance according to EN 384 (CEN EN 384:2010) Vega et al., A. 2013

Species	Provenance	Grade	Number of specimens	h (mm)	b (mm)	H (%)	$f_m$ (N mm <sup>-2</sup> )	COV (%)	$f_{05}$ (N mm <sup>-2</sup> )	Adjustment factor	Reason	Adjusted $f_{05}$ (N mm <sup>-2</sup> )	$f_{m,k}$ (N mm <sup>-2</sup> )	$E_0$ (kN mm <sup>-2</sup> )	Adjustment factor	Reason	Adjusted $E_0$ (kN mm <sup>-2</sup> )	$E_{0,mean}$ (kN mm <sup>-2</sup> )	$\rho_{05}$ (kg m <sup>-3</sup> )	Adjustment factor	Reason	Adjusted $\rho_{05}$ (kg m <sup>-3</sup> )	$\rho_k$ (kg m <sup>-3</sup> )
<i>Castanea sativa</i> Mill.	A	MEF	129	100	40	12.8	58.7	24.0	34.7	1.08	$k_{f_05}$	32.0	12.9	1.01	H	13.0		494.8	1.00	H	494.8		
	A	MEF	127	150	40	14.1	45.0	22.1	26.2	1.00	$k_{f_05}$	26.2	11.8	1.02	H	12.0		508.8	0.99	H	505.6		
	A	MEF	138	150	70	15.4	46.1	24.9	25.8	1.00	$k_{f_05}$	25.8	12.0	1.04	H	12.4		522.4	0.99	H	516.6		
	E	MEF	40	100	40	12.0	60.8	24.4	36.2	1.08	$k_{f_05}$	33.4	13.9	1.00	H	13.9		510.8	1.00	H	512.7		
	E	MEF	40	150	40	12.3	51.9	24.6	27.1	1.00	$k_{f_05}$	27.1	13.6	1.00	H	13.6		546.2	1.00	H	547.7		
	C-L	MEF	40	100	40	13.5	55.0	23.2	31.3	1.08	$k_{f_05}$	28.9	11.9	1.02	H	12.1		531.1	0.98	H	519.8		
	C	MEF	52	100	40	11.3	53.1	27.7	29.5	1.08	$k_{f_05}$	27.2	11.4	0.99	H	11.3		502.2	1.00	H	504.7		
	C	MEF	54	150	40	11.6	50.6	28.6	26.7	1.00	$k_{f_05}$	26.7	13.2	1.00	H	13.2		512.2	1.00	H	513.8		
	C	MEF	57	150	70	13.9	47.5	22.5	27.4	1.00	$k_{f_05}$	27.4	13.0	1.02	CH	13.3		502.9	1.00	CH	504.0		
	G	MEF	40	100	40	17.2	46.5	20.7	30.1	1.08	$k_{f_05}$	27.8	9.6	1.07	CH	10.2		508.8	0.99	CH	502.9		
	G	MEF	43	150	40	21.2	41.9	19.6	26.5	1.00	$k_{f_05}$	26.5	10.1	1.06	CH	10.7		517.5	0.98	CH	509.0		
	G	MEF	40	150	70	22.0	38.0	25.0	23.9	1.00	$k_{f_05}$	23.9	9.6	1.13	CH	10.8		529.3	0.98	CH	517.0		
	Total			800											Weighted average	28			Weighted average	12.3			Weighted average

where:  $b$  is the width of the beam;  $h$  is the height of the beam;  $H$  is the moisture content;  $f_m$  is the mean value of bending strength;  $f_{m,05}$  is the 5<sup>th</sup> percentile of bending strength;  $f_{m,k}$  is the characteristic value of bending strength;  $E_0$  is the mean value of the global modulus of elasticity;  $E_{0,mean}$  is the characteristic value of the modulus of elasticity;  $\rho_{05}$  is the 5<sup>th</sup> percentile of density and  $\rho_k$  is the characteristic value of the density.

Spanish provenances: A is Asturias; E is Extremadura; C-L is Castilla-León; C is Cataluña and G is Galicia



## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

### 5. VALOR CARACTERÍSTICO DE LA DENSIDAD

 $\rho_K$ 

#### 5.1. CORRECCIÓN POR HUMEDAD DE LA DENSIDAD DE CADA PROBETA

 $\rho_{12}$ 

Para contenidos de humedad de la probeta  $>12\%$ : disminución del 0.5% de la densidad por cada variación del 1% del contenido de humedad.

Para contenidos de humedad de la probeta  $<12\%$ : incremento del 0.5% de la densidad por cada variación del 1% del contenido de humedad.

EJEMPLO: CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LA MADERA DE CASTAÑO DE PROCEDENCIA ESPAÑOLA

Probeta	Den <sub>Loc</sub>	Den <sub>Loc12</sub>
AI01a	618,89	617,62
AI01b	617,28	621,23
AI01c	486,61	486,61
AI02a	615,64	616,16
AI02b	647,24	643,21
AI02c	526,88	525,82
AI03a	584,88	585,84
AI03b	586,54	586,91
AI03c	651,46	652,77

Vega, A. 2013

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

### 5. VALOR CARACTERÍSTICO DE LA DENSIDAD

 $\rho_K$ 

#### 5.2. DETERMINACIÓN DEL 5º PERCENTIL DE LA DENSIDAD

 $\rho_{05}$ 

Se calcula el 5º percentil de la muestra, ordenados los valores de cada probeta en orden creciente

El 5º percentil es el valor por debajo del cual se encuentra el 5% de los resultados.

### 5.3. VALOR CARACTERÍSTICO DE LA DENSIDAD

 $\rho_K$ 

$$\rho_K = \frac{\sum \rho_{05,j} n_j}{\sum n_j}$$

$n_j$  es el número de probetas de la muestra  $j$ ;

$\rho_{05,j}$  es el valor del percentil 5 de la densidad para la muestra  $j$ .

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS: ejemplo

## 5. VALOR CARACTERÍSTICO DE LA DENSIDAD

 $\rho_k$ 

Vega, A., Arriaga, F., Guaita, M, Baño, V. (2013). *Proporsal for visual grading criteria of structural timber of sweet chestnut from Spain*. European Journal of Wood and Wood Products. DOI 10.1007/s00107-013-0705-4

Table 2. Characteristic values by provenance according to EN 384 (CEN EN 384:2010) Vega et al., A. 2013

Species	Provenance	Grade	Number of specimens	h (mm)	b (mm)	H (%)	$f_m$ (N mm <sup>-2</sup> )	COV (%)	$f_{05}$ (N mm <sup>-2</sup> )	Adjustment factor	Reason	Adjusted $f_{05}$ (N mm <sup>-2</sup> )	$f_{m,k}$ (N mm <sup>-2</sup> )	$E_0$ (kN mm <sup>-2</sup> )	Adjustment factor	Reason	Adjusted $E_0$ (kN mm <sup>-2</sup> )	$E_{0,mean}$ (kN mm <sup>-2</sup> )	$\rho_{05}$ (kg m <sup>-3</sup> )	Adjustment factor	Reason	Adjusted $\rho_{05}$ (kg m <sup>-3</sup> )	$\rho_k$ (kg m <sup>-3</sup> )
<i>Castanea sativa</i> Mill.	A	MEF	129	100	40	12.8	58.7	24.0	34.7	1.08	$k_{f_05}$	32.0		12.9	1.01	H	13.0		494.8	1.00	H	494.8	
	A	MEF	127	150	40	14.1	45.0	22.1	26.2	1.00	$k_{f_05}$	26.2		11.8	1.02	H	12.0		508.8	0.99	H	505.6	
	A	MEF	138	150	70	15.4	46.1	24.9	25.8	1.00	$k_{f_05}$	25.8		12.0	1.04	H	12.4		522.4	0.99	H	516.6	
	E	MEF	40	100	40	12.0	60.8	24.4	36.2	1.08	$k_{f_05}$	33.4		13.9	1.00	H	13.9		510.8	1.00	H	512.7	
	E	MEF	40	150	40	12.3	51.9	24.6	27.1	1.00	$k_{f_05}$	27.1		13.6	1.00	H	13.6		546.2	1.00	H	547.7	
	C-L	MEF	40	100	40	13.5	55.0	23.2	31.3	1.08	$k_{f_05}$	28.9		11.9	1.02	H	12.1		531.1	0.98	H	519.8	
	C	MEF	52	100	40	11.3	53.1	27.7	29.5	1.08	$k_{f_05}$	27.2		11.4	0.99	H	11.3		502.2	1.00	H	504.7	
	C	MEF	54	150	40	11.6	50.6	28.6	26.7	1.00	$k_{f_05}$	26.7		13.2	1.00	H	13.2		512.2	1.00	H	513.8	
	C	MEF	57	150	70	13.9	47.5	22.5	27.4	1.00	$k_{f_05}$	27.4		13.0	1.02	CH	13.3		502.9	1.00	CH	504.0	
	G	MEF	40	100	40	17.2	46.5	20.7	30.1	1.08	$k_{f_05}$	27.8		9.6	1.07	CH	10.2		508.8	0.99	CH	502.9	
	G	MEF	43	150	40	21.2	41.9	19.6	26.5	1.00	$k_{f_05}$	26.5		10.1	1.06	CH	10.7		517.5	0.98	CH	509.0	
	G	MEF	40	150	70	22.0	38.0	25.0	23.9	1.00	$k_{f_05}$	23.9		9.6	1.13	CH	10.8		529.3	0.98	CH	517.0	
		Total		800									Weighted average	28				Weighted average	12.3				Weighted average

where:  $b$  is the width of the beam;  $h$  is the height of the beam;  $H$  is the moisture content;  $f_m$  is the mean value of bending strength;  $f_{m,05}$  is the 5<sup>th</sup> percentile of bending strength;  $f_{m,k}$  is the characteristic value of bending strength;  $E_0$  is the mean value of the global modulus of elasticity;  $E_{0,mean}$  is the characteristic value of the modulus of elasticity;  $\rho_{05}$  is the 5<sup>th</sup> percentile of density and  $\rho_k$  is the characteristic value of the density.

Spanish provenances: A is Asturias; E is Extremadura; C-L is Castilla-León; C is Cataluña and G is Galicia

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

VALORES CARACTERÍSTICOS

EJEMPLO: CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LA MADERA DE CASTAÑO DE PROCEDENCIA ESPAÑOLA

Table 2. Characteristic values by provenance according to EN 384 (CEN EN 384:2010) Vega et al., 2013

Species	Provenance	Grade	Number of specimens	h (mm)	b (mm)	H (%)	$f_{m,05}$ (N mm <sup>-2</sup> )	COV (%)	$f_{05}$ (N mm <sup>-2</sup> )	Adjustment factor	Reason	Adjusted $f_{05}$ (N mm <sup>-2</sup> )	$f_{m,k}$ (N mm <sup>-2</sup> )	$E_0$ (kN mm <sup>-2</sup> )	Adjustment factor	Reason	Adjusted $E_0$ (kN mm <sup>-2</sup> )	$E_{0,mean}$ (kN mm <sup>-2</sup> )	$\rho_{05}$ (kg m <sup>-3</sup> )	Adjustment factor	Reason	Adjusted $\rho_{05}$ (kg m <sup>-3</sup> )	$\rho_k$ (kg m <sup>-3</sup> )
<i>Castanea sativa</i> Mill.	A	MEF	129	100	40	12.8	58.7	24.0	34.7	1.08	$k_{f,05}$	32.0		12.9	1.01	H	13.0		494.8	1.00	H	494.8	
	A	MEF	127	150	40	14.1	45.0	22.1	26.2	1.00	$k_{f,05}$	26.2		11.8	1.02	H	12.0		508.8	0.99	H	505.6	
	A	MEF	138	150	70	15.4	46.1	24.9	25.8	1.00	$k_{f,05}$	25.8		12.0	1.04	H	12.4		522.4	0.99	H	516.6	
	E	MEF	40	100	40	12.0	60.8	24.4	36.2	1.08	$k_{f,05}$	33.4		13.9	1.00	H	13.9		510.8	1.00	H	512.7	
	E	MEF	40	150	40	12.3	51.9	24.6	27.1	1.00	$k_{f,05}$	27.1		13.6	1.00	H	13.6		546.2	1.00	H	547.7	
	C-L	MEF	40	100	40	13.5	55.0	23.2	31.3	1.08	$k_{f,05}$	28.9		11.9	1.02	H	12.1		531.1	0.98	H	519.8	
	C	MEF	52	100	40	11.3	53.1	27.7	29.5	1.08	$k_{f,05}$	27.2		11.4	0.99	H	11.3		502.2	1.00	H	504.7	
	C	MEF	54	150	40	11.6	50.6	28.6	26.7	1.00	$k_{f,05}$	26.7		13.2	1.00	H	13.2		512.2	1.00	H	513.8	
	C	MEF	57	150	70	13.9	47.5	22.5	27.4	1.00	$k_{f,05}$	27.4		13.0	1.02	CH	13.3		502.9	1.00	CH	504.0	
	G	MEF	40	100	40	17.2	46.5	20.7	30.1	1.08	$k_{f,05}$	27.8		9.6	1.07	CH	10.2		508.8	0.99	CH	502.9	
	G	MEF	43	150	40	21.2	41.9	19.6	26.5	1.00	$k_{f,05}$	26.5		10.1	1.06	CH	10.7		517.5	0.98	CH	509.0	
	G	MEF	40	150	70	22.0	38.0	25.0	23.9	1.00	$k_{f,05}$	23.9		9.6	1.13	CH	10.8		529.3	0.98	CH	517.0	
		Total		800									Weighted average	28				Weighted average	12.3				Weighted average

where:  $b$  is the width of the beam;  $h$  is the height of the beam;  $H$  is the moisture content;  $f_m$  is the mean value of bending strength;  $f_{m,05}$  is the 5<sup>th</sup> percentile of bending strength;  $f_{m,k}$  is the characteristic value of bending strength;  $E_0$  is the mean value of the global modulus of elasticity;  $E_{0,mean}$  is the characteristic value of the modulus of elasticity;  $\rho_{05}$  is the 5<sup>th</sup> percentile of density and  $\rho_k$  is the characteristic value of the density.

Spanish provenances: A is Asturias; E is Extremadura; C-L is Castilla-León; C is Cataluña and G is Galicia

Asignaciones  
resistentes



### DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

#### 1. Definición de las exigencias para la clasificación de la madera estructural

Clasificación resistente de la madera estructural de sección rectangular. Parte 1. Exigencias generales

UNE EN 14081-1



#### 2. Realización de los ensayos estructurales de determinación de las propiedades de la madera

Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y densidad

UNE EN 408



#### 3. Calculo de los valores característicos de las propiedades mecánicas de la madera

Estructuras de madera. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y densidad

UNE EN 384



#### 4. Asignación de las clases resistentes a la madera de castaño

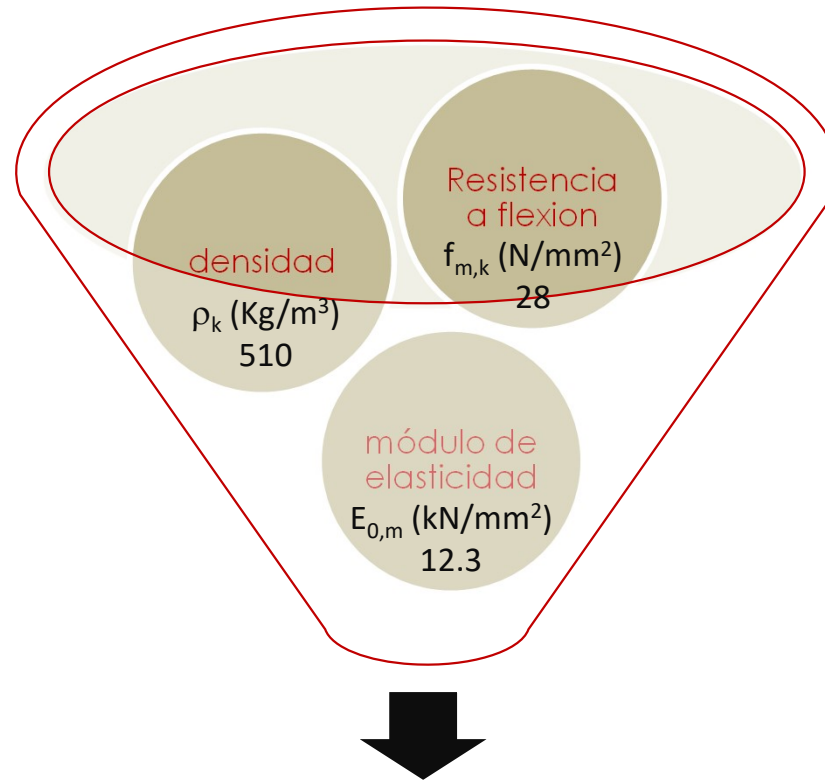
Madera estructural. Clases resistentes

UNE EN 338



## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

### ASIGNACIÓN DE LA CLASE RESISTENTE (EN 338:2010)



CLASE RESISTENTE

D24

### 3.2. MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS: ejemplo

### ASIGNACIÓN DE LA CLASE RESISTENTE (EN 338: 2010)

EJEMPLO: CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LA MADERA DE CASTAÑO DE PROCEDENCIA ESPAÑOLA

$$f_{m,k}=28 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{o,medio}=12.3 \text{ kN/mm}^2$$

$$\rho_k=510 \text{ Kg/m}^3$$

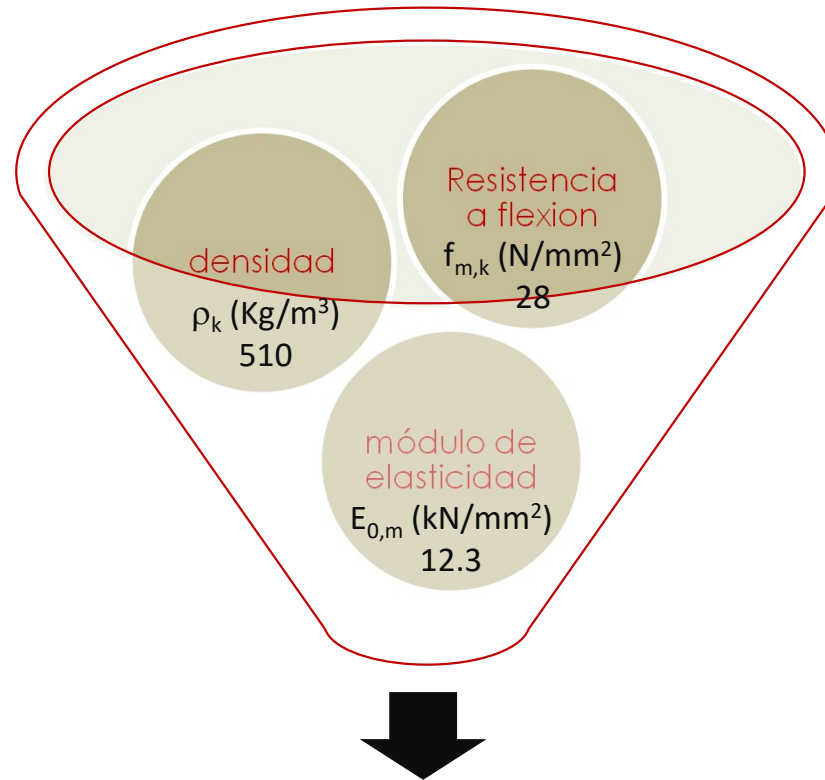
Tabla 1 – Clases resistentes. Valores característicos

		Coníferas y chopo											Frondosas								
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Propiedades de resistencia (en N/mm <sup>2</sup> )																					
Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70
Tracción paralela a la fibra	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42
Tracción perpendicular a la fibra	$f_{t,90,k}$	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Compresión paralela a la fibra	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34
Compresión perpendicular a la fibra	$f_{c,90,k}$	2.0	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2	7.5	7.8	8.0	8.1	8.3	9.3	10.5	13.5
Cortante	$f_{v,k}$	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.4	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.5	5.0
Propiedades de rigidez (en kN/mm <sup>2</sup> )																					
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra	$E_{0,medio}$	7	8	9	9.5	10	11	11.5	12	13	14	15	16	9.5	10	11	12	13	14	17	20
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra (5% percentil)	$E_{0,05}$	4.7	5.4	6.0	6.4	6.7	7.4	7.7	8.0	8.7	9.4	10.0	10.7	8	8.5	9.2	10.1	10.9	11.8	14.3	16.8
Módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra	$E_{90,medio}$	0.23	0.27	0.30	0.32	0.33	0.37	0.38	0.40	0.43	0.47	0.50	0.53	0.63	0.67	0.73	0.80	0.86	0.93	1.13	1.33
Módulo medio de cortante	$G_{medio}$	0.44	0.5	0.56	0.59	0.63	0.69	0.72	0.75	0.81	0.88	0.94	1.00	0.59	0.62	0.69	0.75	0.81	0.88	1.06	1.25
Densidad (en kg/m <sup>3</sup> )																					
Densidad	$\rho_k$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	550	620	700	900
Densidad media	$\rho_{medio}$	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1080

EN 338:2010. Madera estructural. Clases resistentes

## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

### ASIGNACIÓN DE LA CLASE RESISTENTE (EN 338:2016)



CLASE RESISTENTE

D27

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS: ejemplo

ASIGNACIÓN DE LA CLASE RESISTENTE (EN 338:2016)

EJEMPLO: CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LA MADERA DE CASTAÑO DE PROCEDENCIA ESPAÑOLA

$f_{m,k}=28 \text{ N/mm}^2$

$E_{o,medio}=12.3 \text{ kN/mm}^2$

$\rho_k=510 \text{ Kg/m}^3$

Table 3 — Strength classes for hardwoods based on edgewise bending - characteristic values

	Class	D18	D24	D27	D30	D35	D40	D45	D50	D55	D60	D65	D70	D75	D80
<b>Strength properties in N/mm<sup>2</sup></b>															
Bending	$f_{m,0,k}$	18	24	27	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Tension parallel	$f_{t,0,k}$	11	14	16	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	42
Tension perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compression parallel	$f_{c,0,k}$	18	21	22	23	25	26	28	29	30	32	33	34	35	36,0
Compression perpendicular	$f_{c,90,k}$	7,5	7,8	7,7	8,0	8,1	8,3	8,7	9,3	9,9	10,5	12	13,5	13,5	13,5
Shear	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0	5,0	5,0	5,0
<b>Stiffness properties in kN/mm<sup>2</sup></b>															
Mean modulus of elasticity parallel bending	$E_{m,0,mean}$	9,5	10,0	10,5	11,0	12,0	13,0	13,5	14,0	15,5	17,0	18,5	20,0	22,0	24,0
Char. modulus of elasticity parallel bending	$E_{m,0,k}$	8,0	8,5	8,8	9,2	10,1	10,9	11,3	11,8	13,0	14,3	15,5	16,8	18,5	16,8
Mean modulus of elasticity parallel tension	$E_{t,0,mean}$	8,7	9,2	9,7	10,1	11,0	12,0	12,4	12,9	14,3	15,6	17,0	18,4	20,2	22,1
Mean modulus of elasticity perpendicular	$E_{m,90,mean}$	0,63	0,67	0,7	0,73	0,80	0,86	0,9	0,93	1,03	1,13	1,23	1,33	1,47	1,33
Mean shear modulus	$G_{mean}$	0,59	0,63	0,66	0,69	0,75	0,81	0,84	0,88	0,97	1,06	1,16	1,25	1,38	1,25
<b>Density in kg/m<sup>3</sup></b>															
Char. density	$\rho_k$	475	485	510	530	540	550	580	620	660	700	800	900	900	900
Mean density	$\rho_{mean}$	570	580	610	640	650	660	695	740	790	840	960	1080	1080	1080

NOTE 1 Values given above for tension strength, compression strength, shear strength, char. modulus of elasticity in bending, mean modulus of elasticity in tension, mean modulus of elasticity perpendicular to grain and mean shear modulus, have been calculated using the equations given in Annex A.

NOTE 2 The tabulated properties are compatible with timber at a moisture content of 12%

EN 338:2016. Madera estructural. Clases resistentes

### DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

#### 1. Definición de las exigencias para la clasificación de la madera estructural

Clasificación resistente de la madera estructural de sección rectangular. Parte 1. Exigencias generales

EN 14081-1



#### 2. Realización de los ensayos estructurales de determinación de las propiedades de la madera

Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y densidad

EN 408



#### 3. Calculo de los valores característicos de las propiedades mecánicas de la madera

Estructuras de madera. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y densidad  
Estructuras de madera. Cálculo y verificación de los valores característicos

EN 384

EN 14358



#### 4. Asignación de las clases resistentes a la madera de castaño

Madera estructural. Clases resistentes

EN 338



#### 5. Aprobación de la norma de clasificación y asignaciones resistentes del CEN TC 124

Madera estructural. Clases resistentes. Asignación de calidades visuales y especies

EN 1912



Clase resistente	País que publica la norma de clasificación	Calidad (véase la nota 1)	Especies Nombre comercial	Procedencia	Identificación botánica (véase la tabla 4)	Observaciones
<b>D35</b>	Francia	HS ST1	Jaboty	Guayana francesa	139	
	Alemania	LS 10 y mejor	Haya	Alemania	119	
	Reino Unido	TH1	Fresno blanco americano	USA	130	
<b>D30</b>	Alemania	LS 10 LS 10 y mejor	Roble Arce	Alemania Alemania	122, 123 75	
<b>D24</b>	Países Bajos	C3 STH	Basralocus	Surinam	137	
	Italia	S	Castaño	Italia	79	Grosor máximo 100 mm
NOTA Las calidades relacionadas en esta tabla se especifican en las normas de clasificación relacionadas en el anexo A.						



## DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS pino uruguayo

Tabla 1. Número de piezas ensayadas por procedencia, tamaño y edad

Nº de muestra	Procedencia	Sección media (mm)	Edad	Nº probetas
1	Litoral	49x146	25 años	115
2	Suroeste	49x148	15 años	146
<b>Total</b>				<b>261</b>

Muestra	Clasificadas		
	EC1	EC0	
1	47	41	CLASIFICÓ EL 76%
2	41	75	CLASIFICÓ EL 79%
<b>Total</b>	<b>88</b>	<b>116</b>	

### 3.2. MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL

Tabla 10. Valores de ensayo por muestra y valores característicos de la calidad visual EC1

Especie	P. ellioti/P. taeda	
	Litoral	Suroeste
Procedencia		
Clasificación visual	EC1	EC1
Número de probetas de cada muestra	47	41
Ancho (mm)	146	148
Espesor (mm)	49	49
Contenido de humedad medio de cada muestra H (%)	11,8	11,4
Resistencia a flexión media de la muestra, $f_{mean}$ (MPa)	48,7	27,8
Coefficiente de variación, COV (%)	36	36
Valor del quinto percentil de la resistencia a flexión de la muestra, $f_{05}$ (MPa)	21,50	15,42
Factor de ajuste	1,011	1,011
Razón	Factor de ajuste al canto de referencia ( $k_h$ ) y por ajuste del dispositivo de ensayo de flexión a la EN 408 ( $k_l$ )	
Valor del quinto percentil de la resistencia a flexión ajustado por el coeficiente de altura, $f_{05,ajustado}$ (MPa)	21,75	15,60
Valor característico promedio de la resistencia a flexión, $f_{m,k}$ (MPa)	15,52	
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra medio de cada muestra, $\bar{E}$ (MPa) <sup>a</sup>	8250	5856
Factor de ajuste	1,002	1,006
Razón	factor de ajuste por contenido de humedad (CH) del módulo de elasticidad medio de la muestra	
Valor característico promedio del módulo de elasticidad de la población, $E_{0,mean}$ (MPa)	7139	
Valor del quinto percentil de la densidad, $\rho_{05}$ (kg/m <sup>3</sup> )	402	323
Factor de ajuste	0,999	0,997
Razón	factor de ajuste por contenido de humedad (CH) de la densidad característica de la muestra	
Valor característico promedio de la densidad de la población, $\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	365	

Tabla 11. Valores de ensayo por muestra y valores característicos de la calidad visual EC0

Especie	P. ellioti/P. taeda	
	Litoral	Suroeste
Procedencia		
Clasificación visual	EC0	EC0
Número de probetas de cada muestra	41	75
Ancho (mm)	147	148
Espesor (mm)	50	50
Contenido de humedad medio de cada muestra H (%)	11,9	11,3
Resistencia a flexión media de la muestra, $f_{mean}$ (MPa)	30,2	24,5
Coefficiente de variación, COV (%)	44	34
Valor del quinto percentil de la resistencia a flexión de la muestra, $f_{05}$ (MPa)	10,95	14,52
Factor de ajuste	1,011	1,011
Razón	Factor de ajuste al canto de referencia ( $k_h$ ) y por ajuste del dispositivo de ensayo de flexión a la EN 408 ( $k_l$ )	
Valor del quinto percentil de la resistencia a flexión ajustado por el coeficiente de altura, $f_{05,ajustado}$ (MPa)	11,07	14,68
Valor característico promedio de la resistencia a flexión, $f_{m,k}$ (MPa)	11,01	
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra medio de cada muestra, $E$ (MPa) <sup>a</sup>	5789	5034
Factor de ajuste	1,001	1,007
Razón	factor de ajuste por contenido de humedad (CH) del módulo de elasticidad medio de la muestra	
Valor característico promedio del módulo de elasticidad de la población, $E_{0,mean}$ (MPa)	5327	
Valor del quinto percentil de la densidad, $\rho_{05}$ (kg/m <sup>3</sup> )	347	326
Factor de ajuste	0,999	0,996
Razón	factor de ajuste por contenido de humedad (CH) de la densidad característica de la muestra	
Valor característico promedio de la densidad de la población, $\rho_k$ (kg/m <sup>3</sup> )	332	

Domenech L., Baño V., O'Neill H. y Moya L. (2017) Informes técnicos de normalización de madera estructural. Nº 1. Madera aserrada de *Pinus elliotii/taeda*. ISBN: 978-9974-0-1531-9

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS *Eucalyptus grandis* uruguayo

Tabla 1. Número de piezas ensayadas por procedencia, tamaño y edad

N° de muestra	Procedencia	Sección media (mm)	N° probetas
M1	Empresa Rivera	36x90	51
M2	Empresa Durazno	30x90	83
<b>Total</b>			<b>134</b>

Tabla 3. Número de piezas clasificadas, rechazadas y porcentaje de rechazo en función de la procedencia y sección para la calidad visual EF1

Muestra	Clasificadas EF1	Rechazadas	% de rechazo
M1	40	11	21
M2	19	64	77
<b>Total</b>	<b>59</b>		



EJERCICIOS



Letra

Examen febrero 2021

## Ejercicio 1

Un aserradero está caracterizando la madera aserrada de *Pinus radiata* que produce.

Parte a

Durante los ensayos a cuatro puntos, una de las piezas de madera, de 52 x 146 mm<sup>2</sup> de sección transversal, se ensaya con una luz de 2674 mm y una distancia entre el apoyo y la carga inmediata de 890 mm. La pendiente entre la carga aplicada por la prensa y la deflexión medida en el centro de la pieza (en el tramo elástico) resulta igual a 0.30 kN/mm.

Determinar el módulo de elasticidad lineal local de la pieza, considerando que  $G = E_l / 16$ . Expresar el valor en GPa, con al menos tres cifras después de la coma.

Letra

Examen febrero 2021

## Ejercicio 1

Un aserradero está caracterizando la madera aserrada de *Pinus radiata* que produce.

### Parte b

Supóngase ahora que los ensayos concluyeron y se está analizando la información obtenida. Se ensayaron dos muestras, con los siguientes resultados:

Muestra	Número de probetas	$E_{mean}$	$\rho_{05}$	$\rho_{mean}$
		GPa	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
M1	77	Valor anterior	371	390
M2	66	8.19	397	409

Determinar la clase resistente, sabiendo además que  $f_{m,k} = 27.97$  MPa. Ingresar únicamente el valor (sin la letra) que corresponda.



Letra

Examen julio 2022

## Ejercicio 2

Un aserradero uruguayo está caracterizando madera aserrada de *Eucalyptus tereticornis*.

Parte a

Para los ensayos a cuatro puntos ha decidido utilizar piezas de 48x148 mm<sup>2</sup> de sección transversal, y ensayar con una luz de 2710 mm y una distancia entre las dos cargas de 900 mm. Los resultados (corregidos por humedad) se resumen a continuación:

Muestra ( <i>i</i> )	1	2	3
Cantidad ( <i>N</i> )	30	40	?
Módulo de elasticidad ( $E_{m,i}$ )	12.4 GPa	11.5 GPa	?

Letra

Examen julio 2022

**Ejercicio 2**

Continuación

Los resultados de la tercera muestra no han sido analizados. Se sabe que todas las probetas de esta muestra se ensayaron con un contenido de humedad (CH) de 11 % y se obtuvieron las siguientes pendientes (en N/mm) entre la carga aplicada por la prensa y la deflexión medida en el centro de la pieza (en el tramo elástico):

313	305	340	340	265	318	309	360	390	391	265	325	242
249	320	418	271	344	306	392	250	322	355	390	419	325
225	272	252	470									

Determinar el módulo de elasticidad lineal local a declarar ( $E_m = E_l$ ), considerando que  $G = E_l / 16$ . Expresar el valor en GPa, con al menos dos cifras después de la coma.

Nota: utilizar el método de caracterización visto en clase. En caso de duda, en la carpeta de documentación complementaria de 2019 se encuentra la norma UNE-EN 384-2010.



[www.cetemas.es](http://www.cetemas.es)



GRACIAS POR  
LA ATENCIÓN