



ESTRUCTURAS DE MADERA

2.3. Propiedades mecánicas

1. Propiedades mecánicas de la madera

2. Propiedades mecánicas en el cálculo estructural con madera

3. Factores que influyen en las propiedades mecánicas

2.3. PROPIEDADES
MECÁNICAS

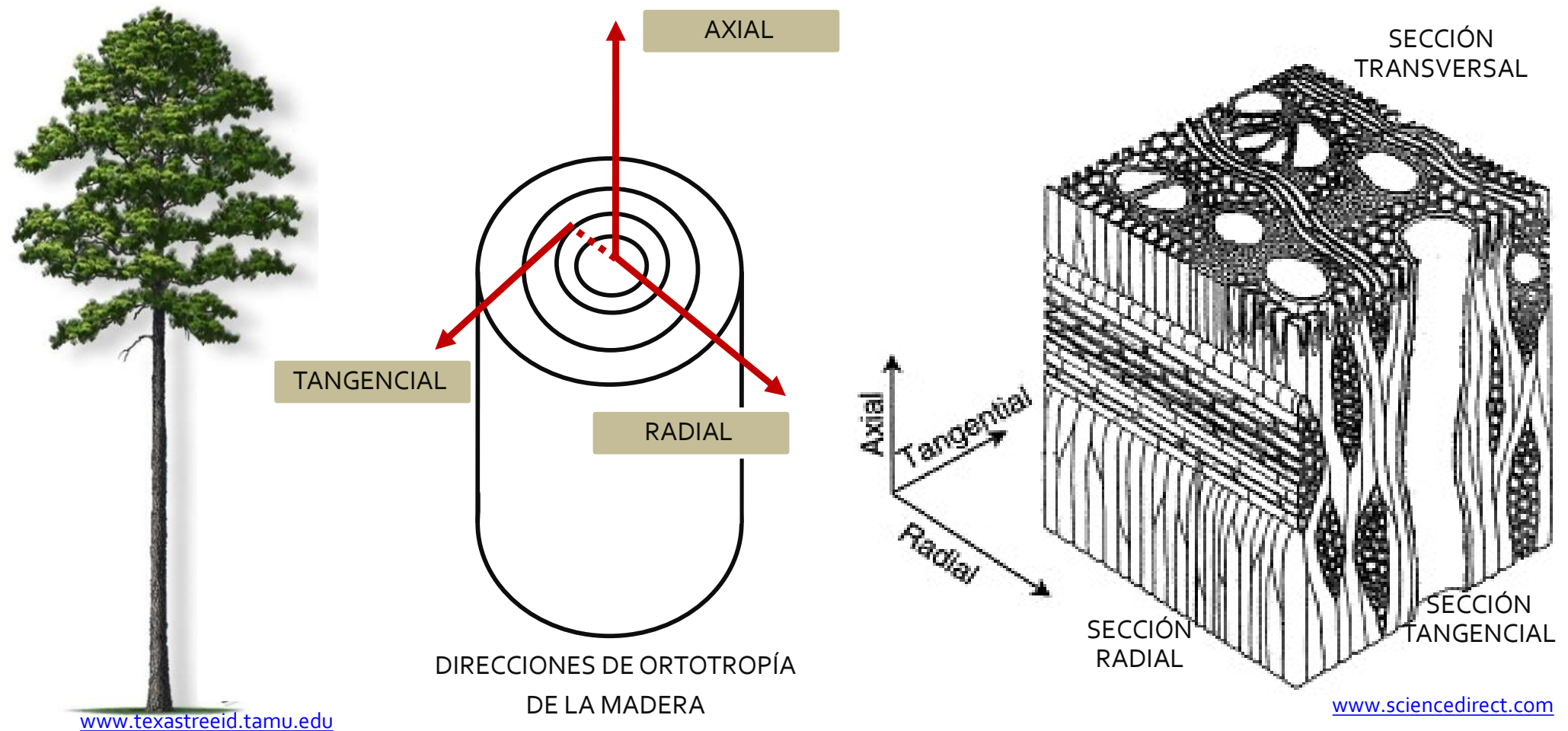
Anisotropía
de la madera

ANISOTROPÍA

Las propiedades físicas y mecánicas de la madera varían en función de la dirección del esfuerzo con relación a la orientación de las fibras.

ORTOTROPÍA

La madera presenta tres planos de simetría elástica perpendiculares entre sí.



Elasticidad

ELASTICIDAD

CONSTANTES ELÁSTICAS

RELACIONES ENTRE TENSIONES Y DEFORMACIONES:

ISÓTROPO

E

G

 ν

$$G = E / 2 \cdot (1 + \nu)$$

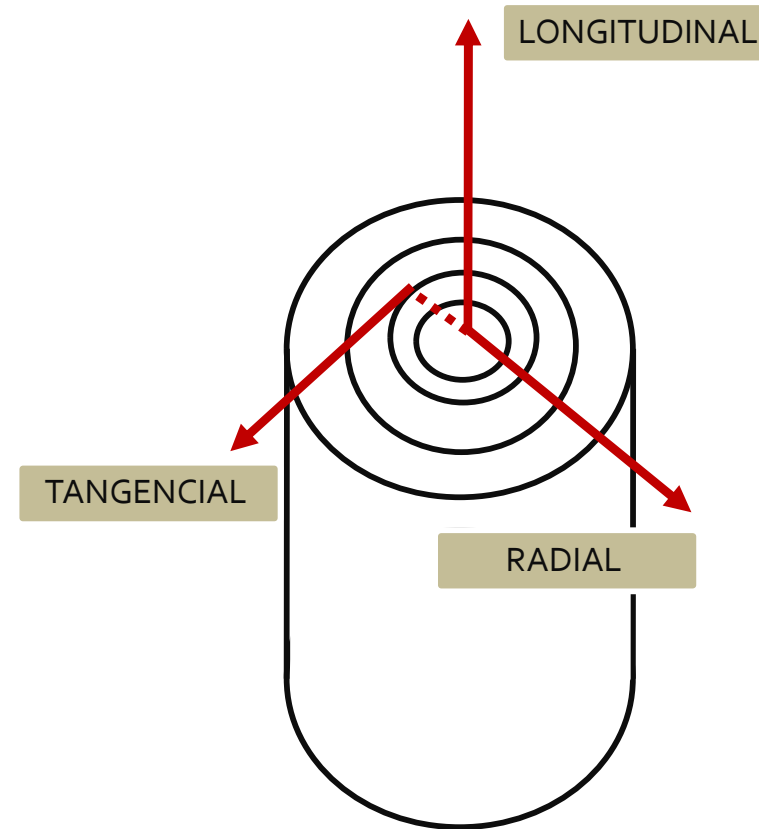
ORTÓTROPO

 E_L, E_R, E_T G_{TL}, G_{TR}, G_{RL} $\nu_{RT}, \nu_{TL}, \nu_{RL}$ $\nu_{TR}, \nu_{LT}, \nu_{LR}$

$$\nu_{TL} / E_T = \nu_{LT} / E_L$$

$$\nu_{RL} / E_R = \nu_{LR} / E_L$$

$$\nu_{RT} / E_R = \nu_{TR} / E_T$$

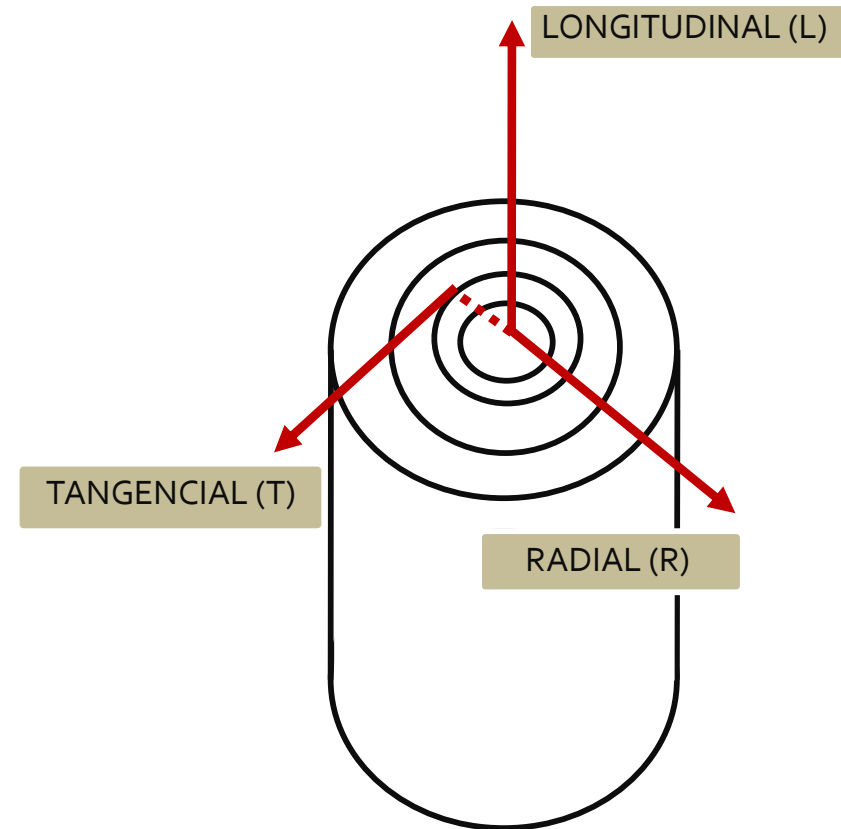
MODULO ELASTICIDAD
LONGITUDINAL :MODULO ELASTICIDAD
TRANSVERSAL O DE
CORTANTE:COEFICIENTES DE
POISSON:

ELASTICIDAD

MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL (E_i)

E_L, E_R, E_T

Relación entre la tensión σ_i y el alargamiento unitario ε_i que se produce en la dirección i

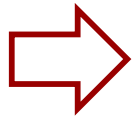
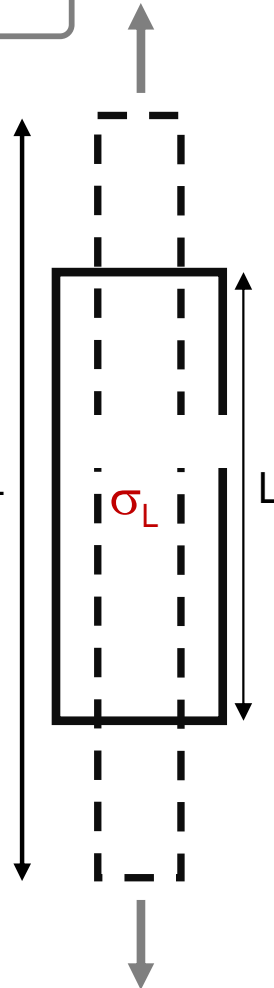


ELASTICIDAD

MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL (E_i) E_L, E_R, E_T Relación entre la tensión σ_i y el alargamiento unitario ε_i que se produce en la dirección i E_L

$$E_L = \sigma_L / \varepsilon_L$$

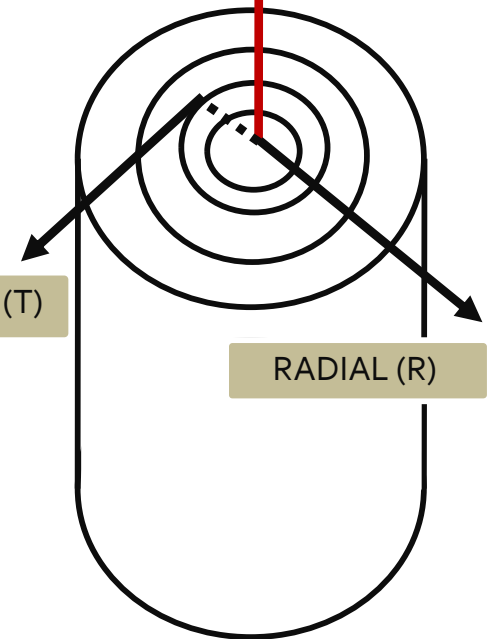
TRACCIÓN

 $(1 + \varepsilon_i) \cdot L$ 

TANGENCIAL (T)

RADIAL (R)

LONGITUDINAL (L)



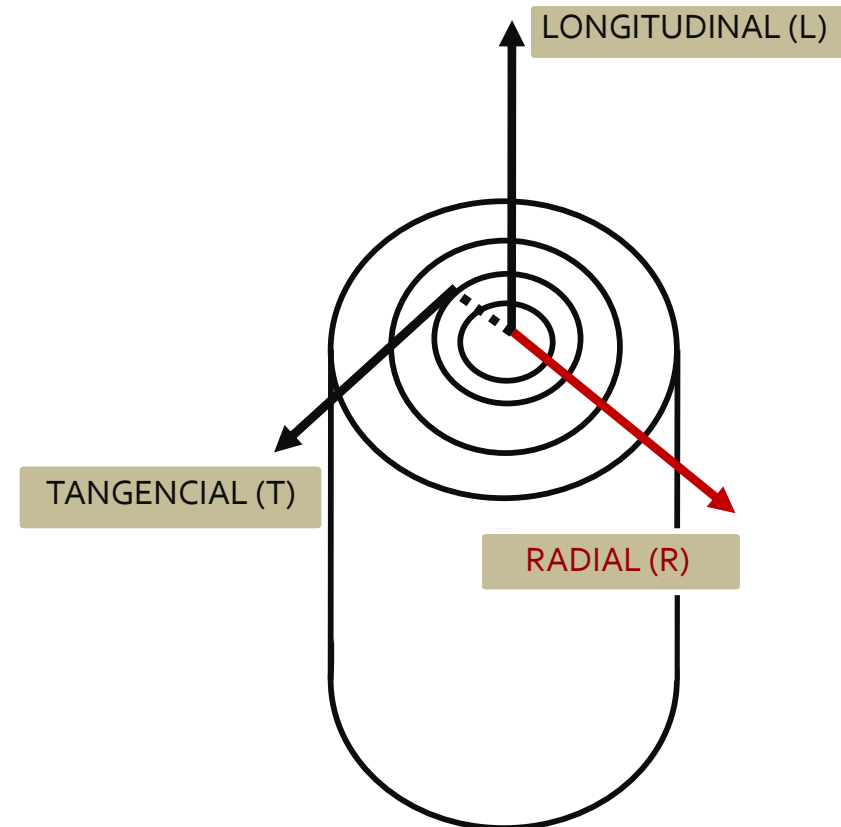
ELASTICIDAD

MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL (E_i) E_L, E_R, E_T Relación entre la tensión σ_i y el alargamiento unitario ε_i que se produce en la dirección i E_L

$$E_L = \sigma_L / \varepsilon_L$$

 E_R

$$E_R = \sigma_R / \varepsilon_R$$



ELASTICIDAD

MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL (E_i) E_L, E_R, E_T Relación entre la tensión σ_i y el alargamiento unitario ε_i que se produce en la dirección i E_L

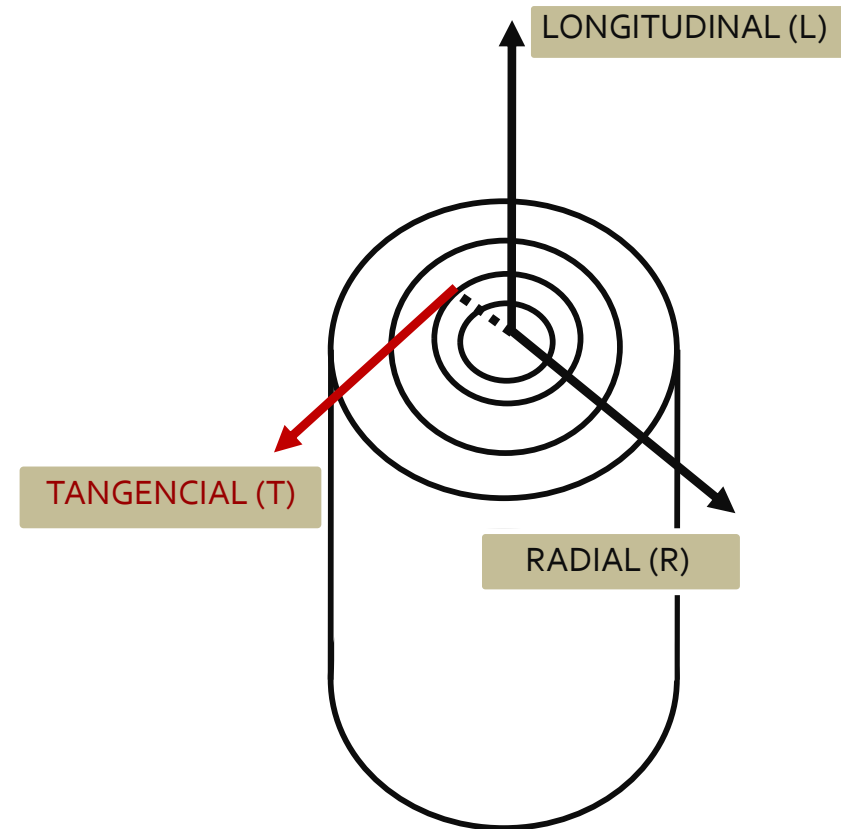
$$E_L = \sigma_L / \varepsilon_L$$

 E_R

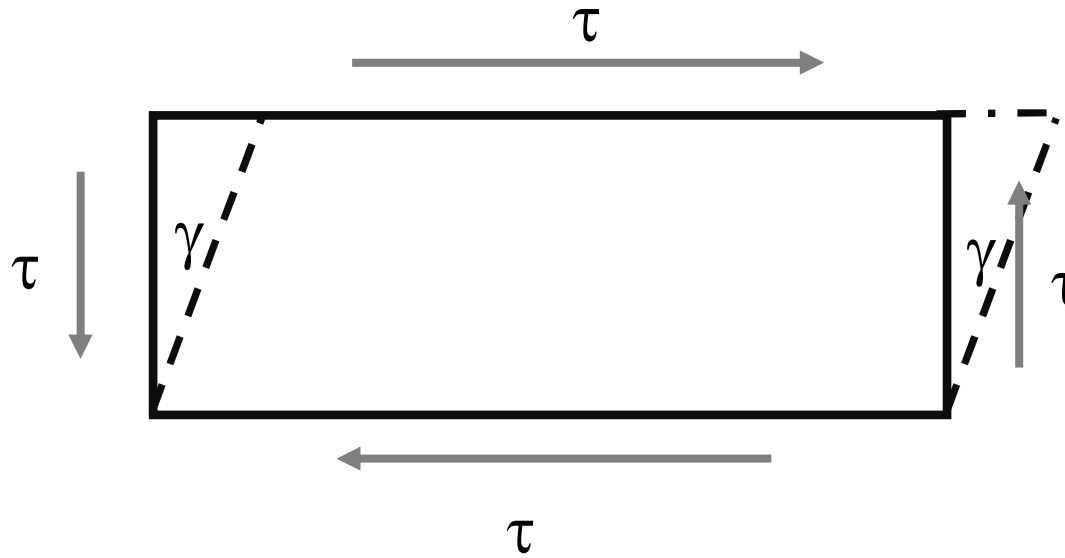
$$E_R = \sigma_R / \varepsilon_R$$

 E_T

$$E_T = \sigma_T / \varepsilon_T$$



ELASTICIDAD

MÓDULO DE ELASTICIDAD TRANSVERSAL (G_{ij}) G_{LT}, G_{TR}, G_{RL} Relación entre la tensión tangencial τ_{ij} y la distorsión γ_{ij} 

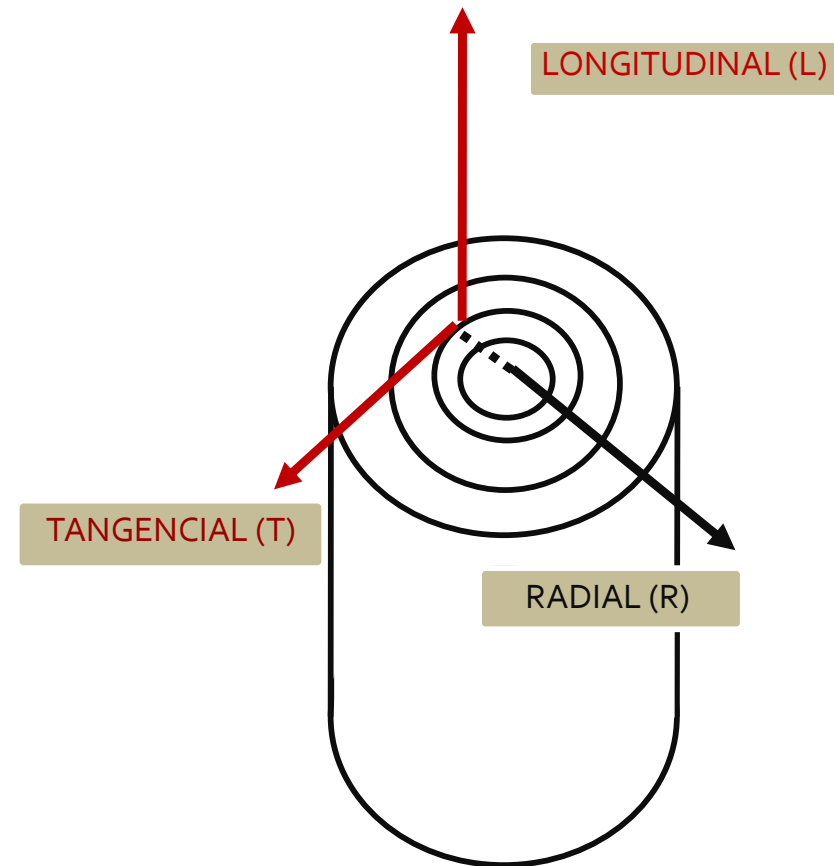
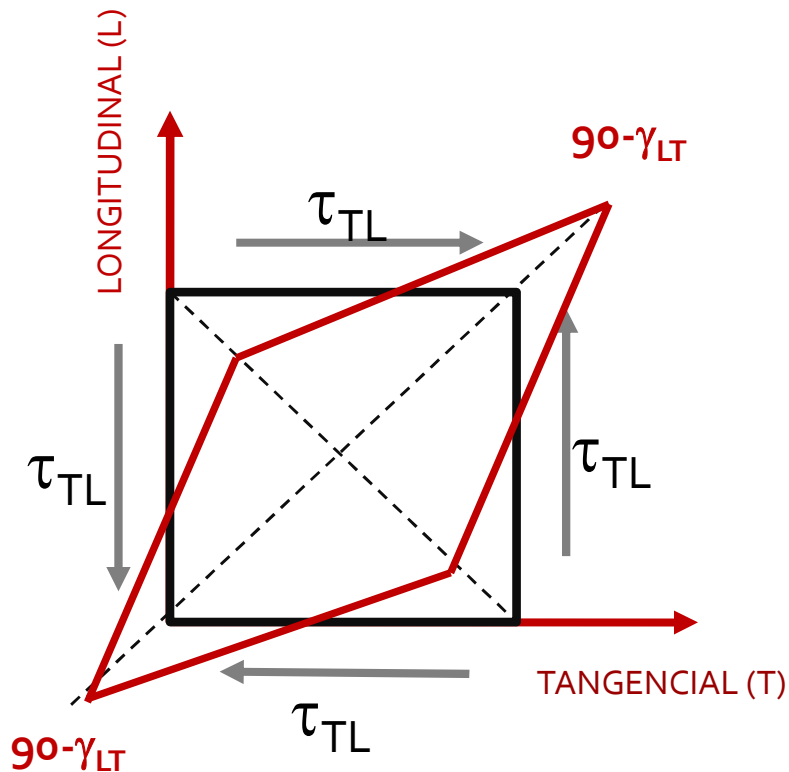
ELASTICIDAD

MÓDULO DE ELASTICIDAD TRANSVERSAL (G_{ij}) G_{LT}, G_{TR}, G_{RL} Relación entre la tensión tangencial τ_{ij} y la distorsión γ_{ij} G_{LT}

$$G_{LT} = \tau_{LT} / \gamma_{LT}$$

MÓDULO ELASTICIDAD TRANSVERSAL EN EL PLANO LONGITUDINAL-TANGENCIAL

DISTORSIONES ANGULARES EN EL PLANO LT:



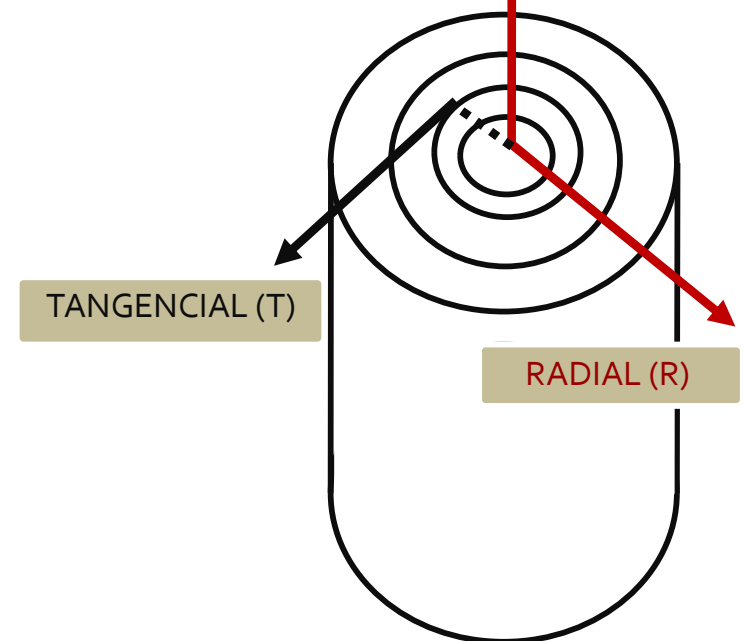
ELASTICIDAD

MÓDULO DE ELASTICIDAD TRANSVERSAL (G_{ij}) G_{LT} , G_{TR} , G_{RL} Relación entre la tensión tangencial τ_{ij} y la distorsión γ_{ij} G_{LT}

$$G_{LT} = \tau_{LT} / \gamma_{LT}$$

 G_{RL}

$$G_{RL} = \tau_{RL} / \gamma_{RL}$$

MÓDULO ELASTICIDAD TRANSVERSAL EN EL
PLANO RADIAL-LONGITUDINAL

TANGENCIAL (T)

RADIAL (R)

LONGITUDINAL (L)

ELASTICIDAD

MÓDULO DE ELASTICIDAD TRANSVERSAL (G_{ij}) G_{LT} , G_{TR} , G_{RL} Relación entre la tensión tangencial τ_{ij} y la distorsión γ_{ij} G_{LT}

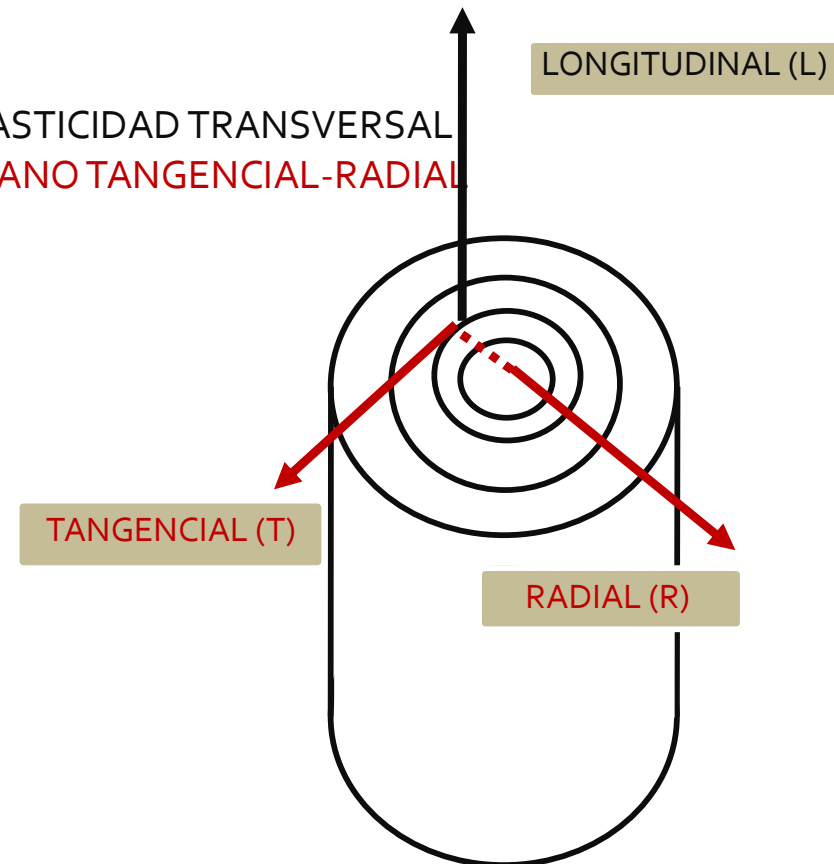
$$G_{LT} = \tau_{LT} / \gamma_{LT}$$

 G_{RL}

$$G_{RL} = \tau_{RL} / \gamma_{RL}$$

 G_{TR}

$$G_{TR} = \tau_{TR} / \gamma_{TR}$$

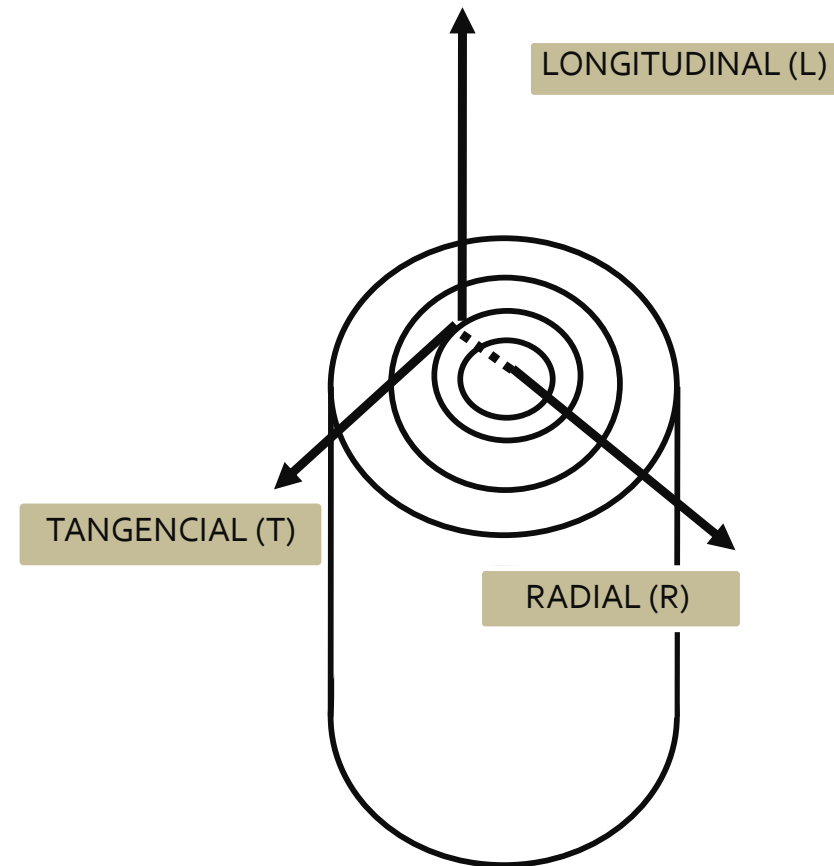
MÓD. ELASTICIDAD TRANSVERSAL
EN EL PLANO TANGENCIAL-RADIAL

ELASTICIDAD

COEFICIENTES DE POISSON (ν_{ij})

$\nu_{TR}, \nu_{TL}, \nu_{RL}, \nu_{LR}, \nu_{LT}, \nu_{RT}$

Relación entre la deformación unitaria ε_i y la deformación unitaria en el plano perpendicular ε_j



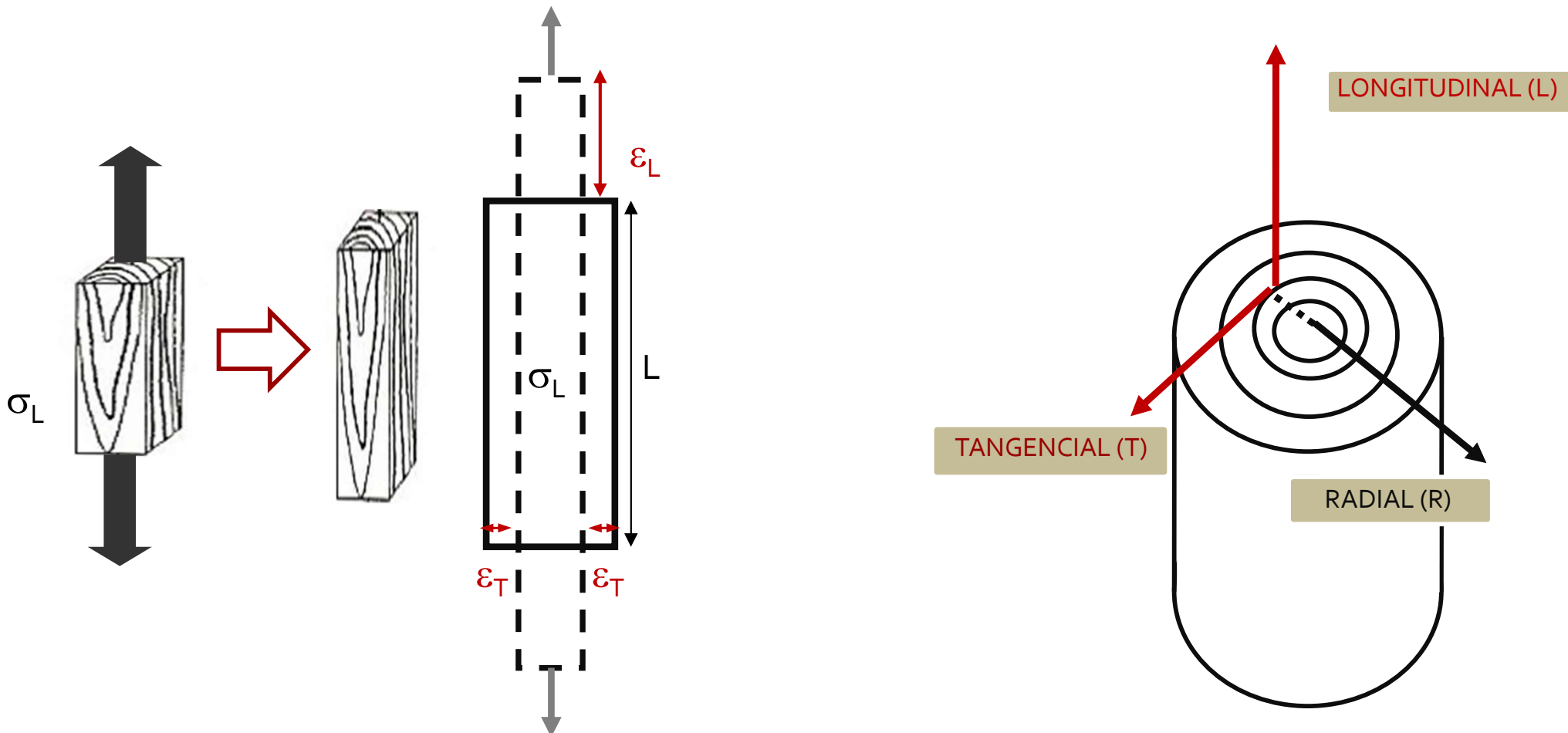
ELASTICIDAD

COEFICIENTES DE POISSON (ν_{ij}) $\nu_{TR}, \nu_{TL}, \nu_{RL}, \nu_{LR}, \nu_{LT}, \nu_{RT}$ Relación entre la deformación unitaria ε_i y la deformación unitaria en el plano perpendicular ε_j ν_{LT}

$$\nu_{LT} = -\varepsilon_T / \varepsilon_L$$

$$E_L = \sigma_L / \varepsilon_L$$

$$\nu_{LT} = -\varepsilon_T / (\sigma_L / E_L)$$

COEFICIENTE DE POISSON EN EL
PLANO LONGITUDINAL-TANGENCIAL

ELASTICIDAD

COEFICIENTES DE POISSON(ν_{ij}) $\nu_{TR}, \nu_{TL}, \nu_{RL}, \nu_{LR}, \nu_{LT}, \nu_{RT}$ Relación entre la deformación unitaria ε_i y la deformación unitaria en el plano perpendicular ε_j

ν_{LT}	$\nu_{LT} = -\varepsilon_T / (\sigma_L / E_L)$	COEFICIENTE DE POISSON EN EL PLANO: LONGITUDINAL-TANGENCIAL
ν_{LR}	$\nu_{LR} = -\varepsilon_R / (\sigma_L / E_L)$	LONGITUDINAL-RADIAL
ν_{TL}	$\nu_{TL} = -\varepsilon_L / (\sigma_T / E_T)$	TANGENCIAL-LONGITUDINAL
ν_{TR}	$\nu_{TR} = -\varepsilon_R / (\sigma_T / E_T)$	TANGENCIAL-RADIAL
ν_{RL}	$\nu_{RL} = -\varepsilon_L / (\sigma_R / E_R)$	RADIAL-LONGITUDINAL
ν_{RT}	$\nu_{RT} = -\varepsilon_T / (\sigma_R / E_R)$	RADIAL-TANGENCIAL

ECUACIÓN MATRICIAL REFERIDA A LOS EJES DE ORTOTROPÍA

$$\begin{Bmatrix} \epsilon_R \\ \epsilon_T \\ \epsilon_L \\ \gamma_{TL} \\ \gamma_{LR} \\ \gamma_{RT} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_R} & -\frac{\nu_{TR}}{E_T} & -\frac{\nu_{LR}}{E_L} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{RT}}{E_R} & \frac{1}{E_T} & -\frac{\nu_{LT}}{E_L} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{RL}}{E_R} & -\frac{\nu_{TL}}{E_T} & \frac{1}{E_L} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{TL}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LR}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{RT}} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \sigma_R \\ \sigma_T \\ \sigma_L \\ \tau_{TL} \\ \tau_{LR} \\ \tau_{RT} \end{Bmatrix}$$

Características elásticas

CARACTERÍSTICAS ELÁSTICAS DE LA MADERA

MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL (E)

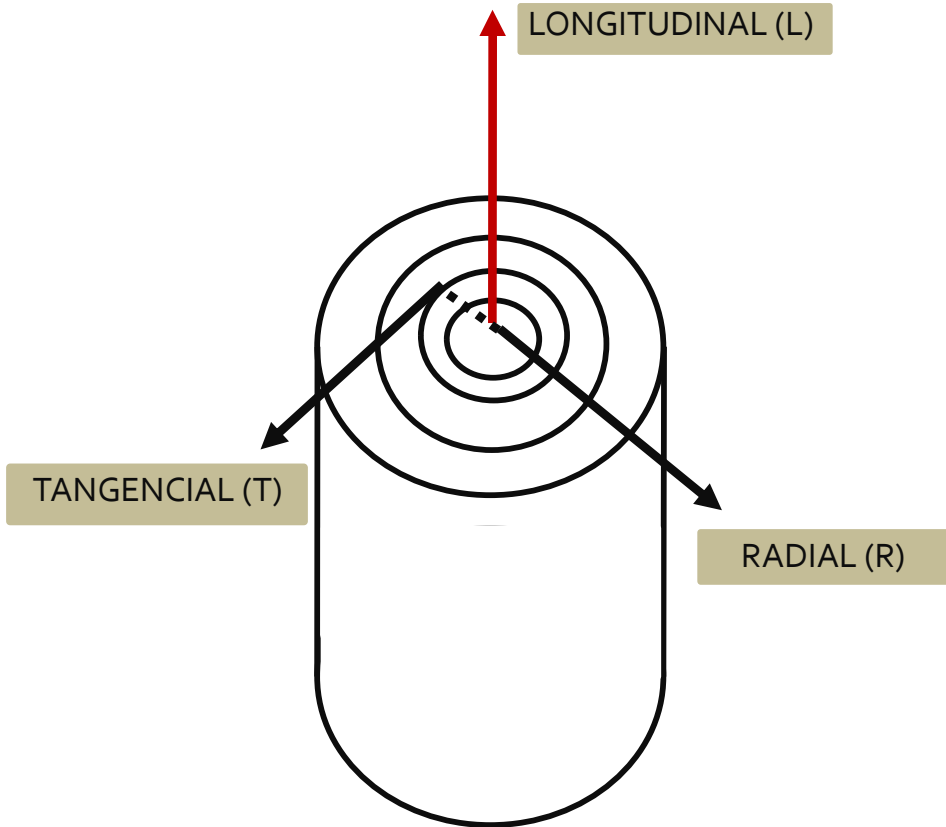
E_L

\gg

E_R

$>$

E_T



CARACTERÍSTICAS ELÁSTICAS DE LA MADERA

MÓDULO DE ELASTICIDAD TRANSVERSAL (G)

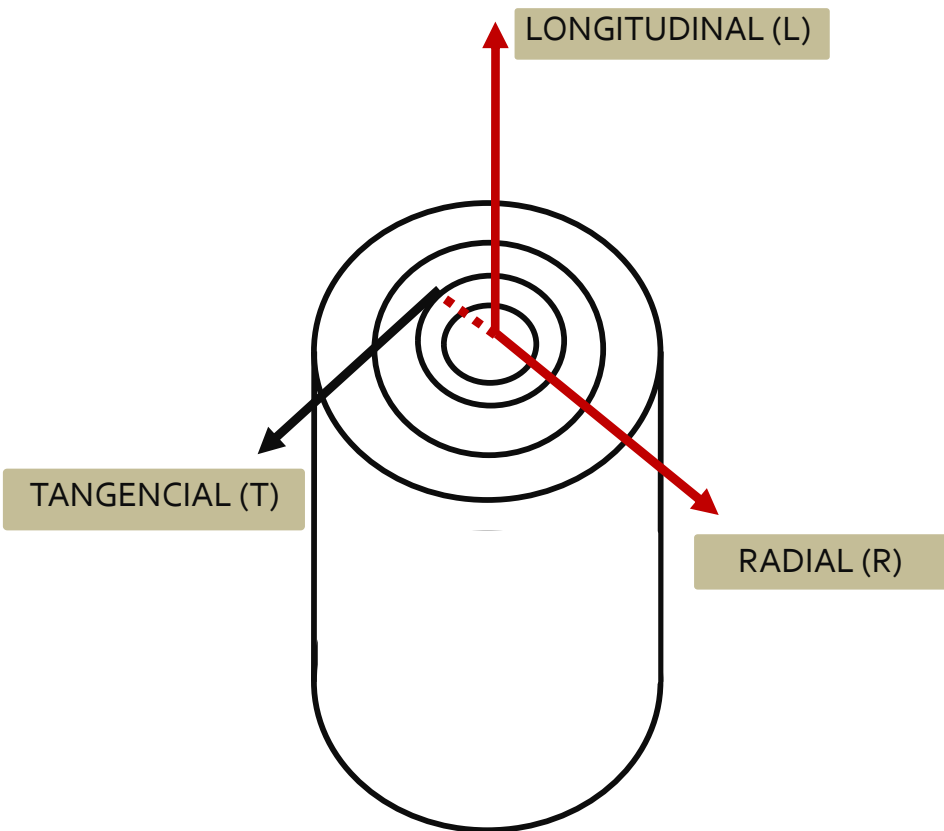
G_{LR}

>

G_{TL}

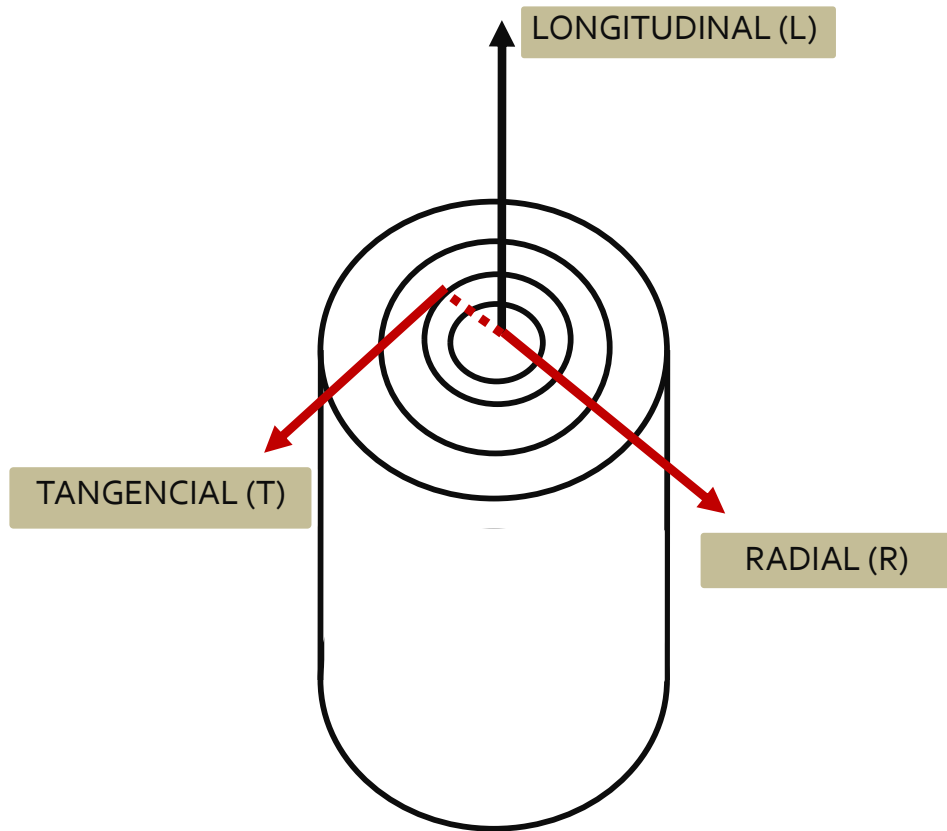
>>

G_{RT}



CARACTERÍSTICAS ELÁSTICAS DE LA MADERA

COEFICIENTES DE POISSON (ν)

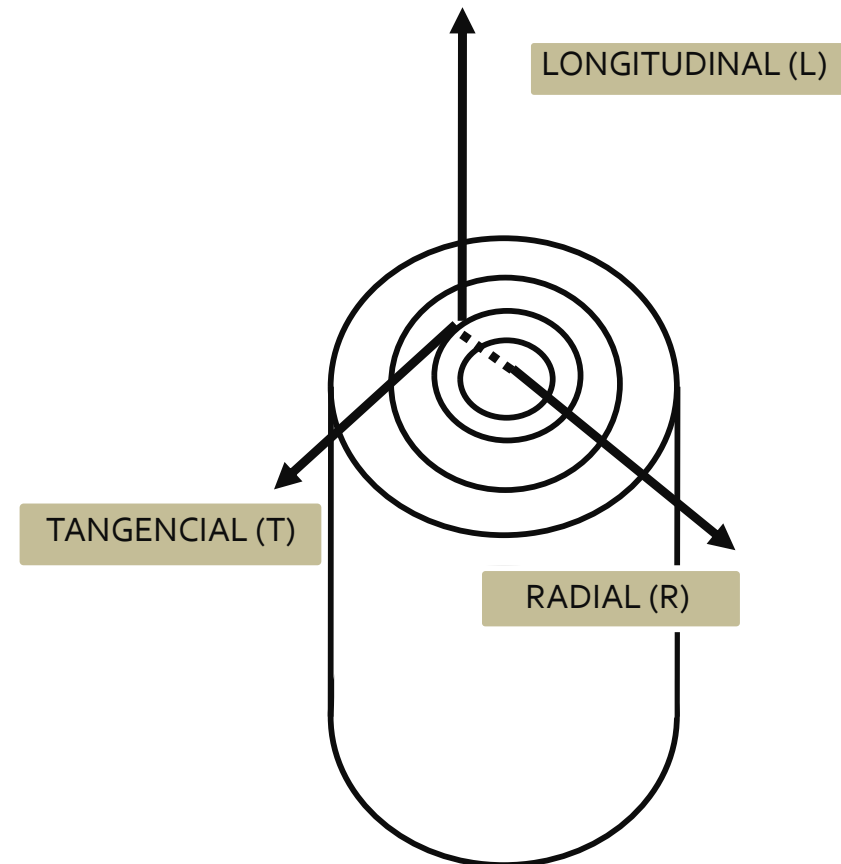


$$\nu_{RT} > \nu_{LT} > \nu_{LR} \approx \nu_{TR} \gg \nu_{RL} > \nu_{TL}$$

CARACTERÍSTICAS ELÁSTICAS DE LA MADERA

RELACIONES ENTRE MÓDULOS DE ELASTICIDAD (E)

	E_L/E_R	E_R/E_T	E_L/E_T
CONÍFERAS	13	1.6	21
FRONDOSAS	8	1.7	13.5



CARACTERÍSTICAS ELÁSTICAS DE LA MADERA

RELACIONES ENTRE MÓDULOS DE ELASTICIDAD (E)

	E_L/E_R	E_R/E_T	E_L/E_T
CONÍFERAS	13	1.6	21
FRONDOSAS	8	1.7	13.5

RELACIONES ENTRE MÓDULOS DE ELASTICIDAD TRANSVERSAL (G)

	G_{LR}/G_{RT}	G_{TL}/G_{RT}		
CONÍFERAS	10.3	8.9	$G_{TL}=E_L/17.25$	$G_{LR}=E_L/14.9$
FRONDOSAS	3.4	2.6		

CARACTERÍSTICAS ELÁSTICAS DE LA MADERA

RELACIONES ENTRE MÓDULOS DE ELASTICIDAD (E)

	E_L/E_R	E_R/E_T	E_L/E_T
CONÍFERAS	13	1.6	21
FRONDOSAS	8	1.7	13.5

RELACIONES ENTRE MÓDULOS DE ELASTICIDAD TRANSVERSAL (G)

	G_{LR}/G_{RT}	G_{TL}/G_{RT}		
CONÍFERAS	10.3	8.9	$G_{TL}=E_L/17.25$	$G_{LR}=E_L/14.9$
FRONDOSAS	3.4	2.6		

VALORES APROXIMADOS DE COEFICIENTES DE POISSON (ν)

	ν_{RT}	ν_{LT}	ν_{LR}	ν_{TR}	ν_{RL}	ν_{TL}
CONÍFERAS	0.51	0.43	0.39	0.31	0.03	0.02
FRONDOSAS	0.67	0.46	0.39	0.38	0.048	0.033

Fuente: Argüelles y Arriaga, 1996

CARACTERÍSTICAS ELÁSTICAS DE LA MADERA

Table 4–1. Elastic ratios for various species at approximately 12% moisture content^a

Species	E_T/E_L	E_R/E_L	G_{LR}/E_L	G_{LT}/E_L	G_{RT}/E_L
Softwoods					
Baldcypress	0.039	0.084	0.063	0.054	0.007
Cedar, northern white	0.081	0.183	0.210	0.187	0.015
Cedar, western red	0.055	0.081	0.087	0.086	0.005
Douglas-fir	0.050	0.068	0.064	0.078	0.007
Fir, subalpine	0.039	0.102	0.070	0.058	0.006
Hemlock, western	0.031	0.058	0.038	0.032	0.003
Larch, western	0.065	0.079	0.063	0.069	0.007
Pine					
Loblolly	0.078	0.113	0.082	0.081	0.013
Lodgepole	0.068	0.102	0.049	0.046	0.005
Longleaf	0.055	0.102	0.071	0.060	0.012
Pond	0.041	0.071	0.050	0.045	0.009
Ponderosa	0.083	0.122	0.138	0.115	0.017
Red	0.044	0.088	0.096	0.081	0.011
Slash	0.045	0.074	0.055	0.053	0.010
Sugar	0.087	0.131	0.124	0.113	0.019
Western white	0.038	0.078	0.052	0.048	0.005
Redwood	0.089	0.087	0.066	0.077	0.011
Spruce, Sitka	0.043	0.078	0.064	0.061	0.003
Spruce, Engelmann	0.059	0.128	0.124	0.120	0.010

^aWood Handbook, USDA,

CARACTERÍSTICAS ELÁSTICAS DE LA MADERA

Table 4–2. Poisson’s ratios for various species at approximately 12% moisture content

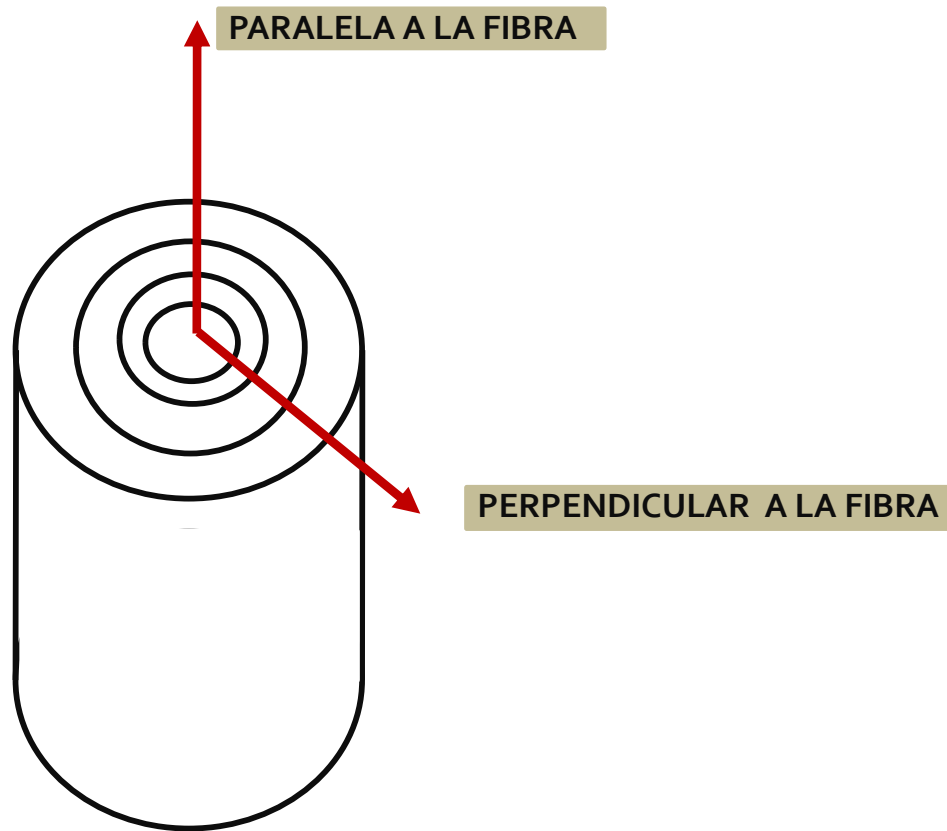
Species	μ_{LR}	μ_{LT}	μ_{RT}	μ_{TR}	μ_{RL}	μ_{TL}
Softwoods						
Baldcypress	0.338	0.326	0.411	0.356	—	—
Cedar, northern white	0.337	0.340	0.458	0.345	—	—
Cedar, western red	0.378	0.296	0.484	0.403	—	—
Douglas-fir	0.292	0.449	0.390	0.374	0.036	0.029
Fir, subalpine	0.341	0.332	0.437	0.336	—	—
Hemlock, western	0.485	0.423	0.442	0.382	—	—
Larch, western	0.355	0.276	0.389	0.352	—	—
Pine						
Loblolly	0.328	0.292	0.382	0.362	—	—
Lodgepole	0.316	0.347	0.469	0.381	—	—
Longleaf	0.332	0.365	0.384	0.342	—	—
Pond	0.280	0.364	0.389	0.320	—	—
Ponderosa	0.337	0.400	0.426	0.359	—	—
Red	0.347	0.315	0.408	0.308	—	—
Slash	0.392	0.444	0.447	0.387	—	—
Sugar	0.356	0.349	0.428	0.358	—	—
Western white	0.329	0.344	0.410	0.334	—	—
Redwood	0.360	0.346	0.373	0.400	—	—
Spruce, Sitka	0.372	0.467	0.435	0.245	0.040	0.025
Spruce, Engelmann	0.422	0.462	0.530	0.255	0.083	0.058

Wood Handbook, USDA,

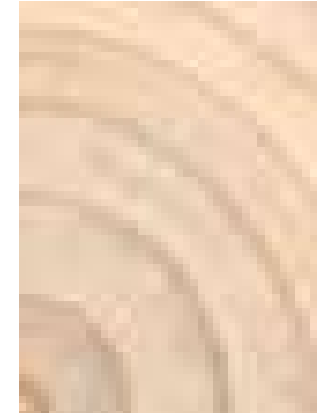
Elasticidad:
simplificación

ELASTICIDAD: SIMPLIFICACIÓN A 2 DIRECCIONES DE LA FIBRA

Debido a la dificultad de conseguir piezas de madera de un único tipo de corte, se simplifican las direcciones de la fibra a dos.



MADERA ASERRADA



MADERA LAMINADA



ELASTICIDAD: SIMPLIFICACIÓN A 2 DIRECCIONES DE LA FIBRA

Fuente: Argüelles y Arriaga, 1996

SIMPLIFICACIÓN: 2 DIRECCIONES DE LA FIBRA

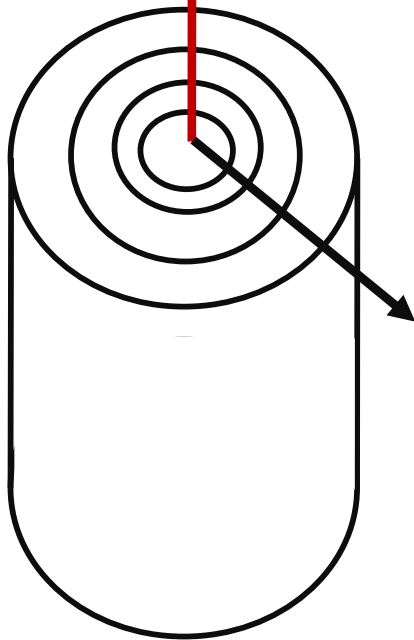
MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL (E)

$$E_L \gg E_R > E_T$$



$$E_o$$

PARALELA A LA FIBRA



PERPENDICULAR A LA FIBRA

ELASTICIDAD: SIMPLIFICACIÓN A 2 DIRECCIONES DE LA FIBRA

Fuente: Argüelles y Arriaga, 1996

SIMPLIFICACIÓN: 2 DIRECCIONES DE LA FIBRA

MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL (E)

$$E_L \gg E_R > E_T$$



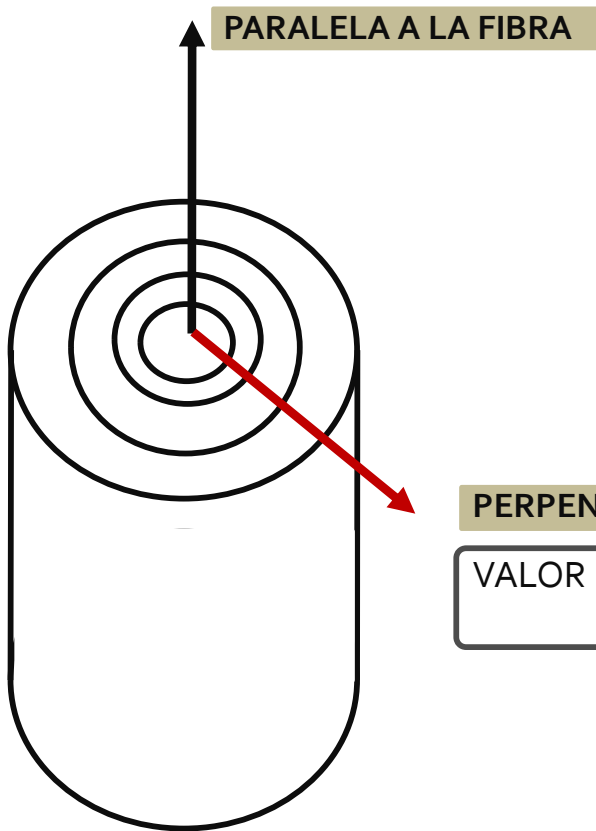
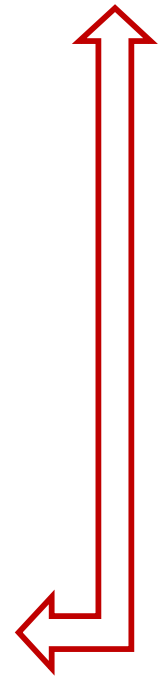
$$E_o$$



$$E_{90}$$

$$E_{90} \approx E_o/30 \text{ en coníferas}$$

$$E_{90} \approx E_o/15 \text{ en frondosas}$$



PERPENDICULAR A LA FIBRA
VALOR INTERMEDIO ENTRE E_R Y E_T

ELASTICIDAD: SIMPLIFICACIÓN A 2 DIRECCIONES DE LA FIBRA

SIMPLIFICACIÓN: 2 DIRECCIONES DE LA FIBRA

MÓDULO DE ELASTICIDAD TRANSVERSAL (G)

$$G_{LR} > G_{TL} \gg G_{RT}$$



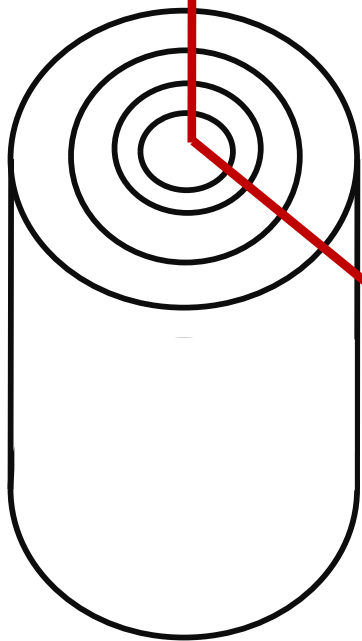
VALOR INTERMEDIO ENTRE
 G_{TL} Y G_{LR}

$$G$$

$$G \approx E_0/16$$

PARALELA A LA FIBRA

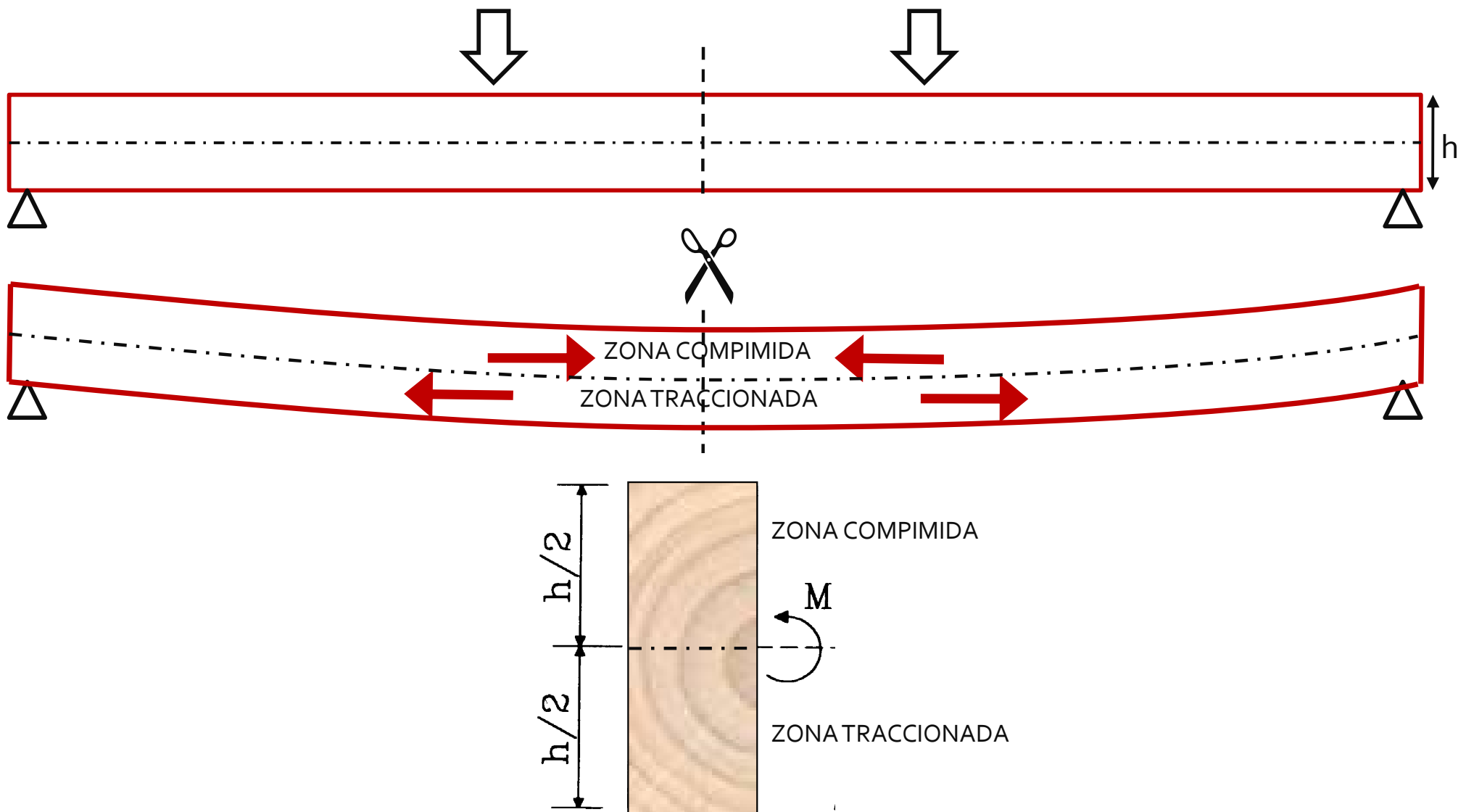
PERPENDICULAR A LA FIBRA



Ley constitutiva
madera libre de
defectos

LEY CONSTITUTIVA MADERA LIBRE DE DEFECTOS

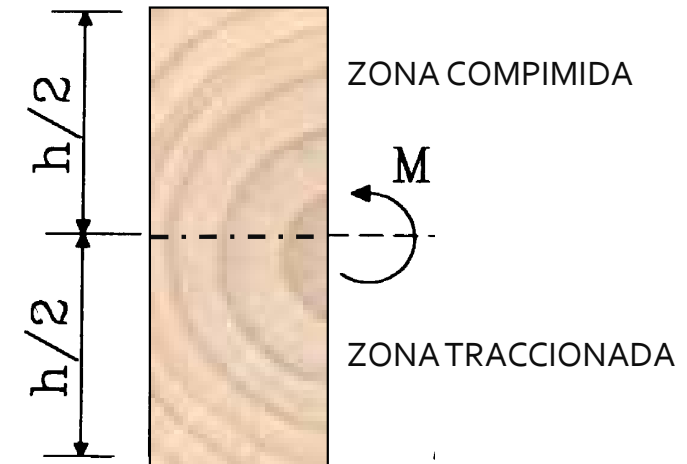
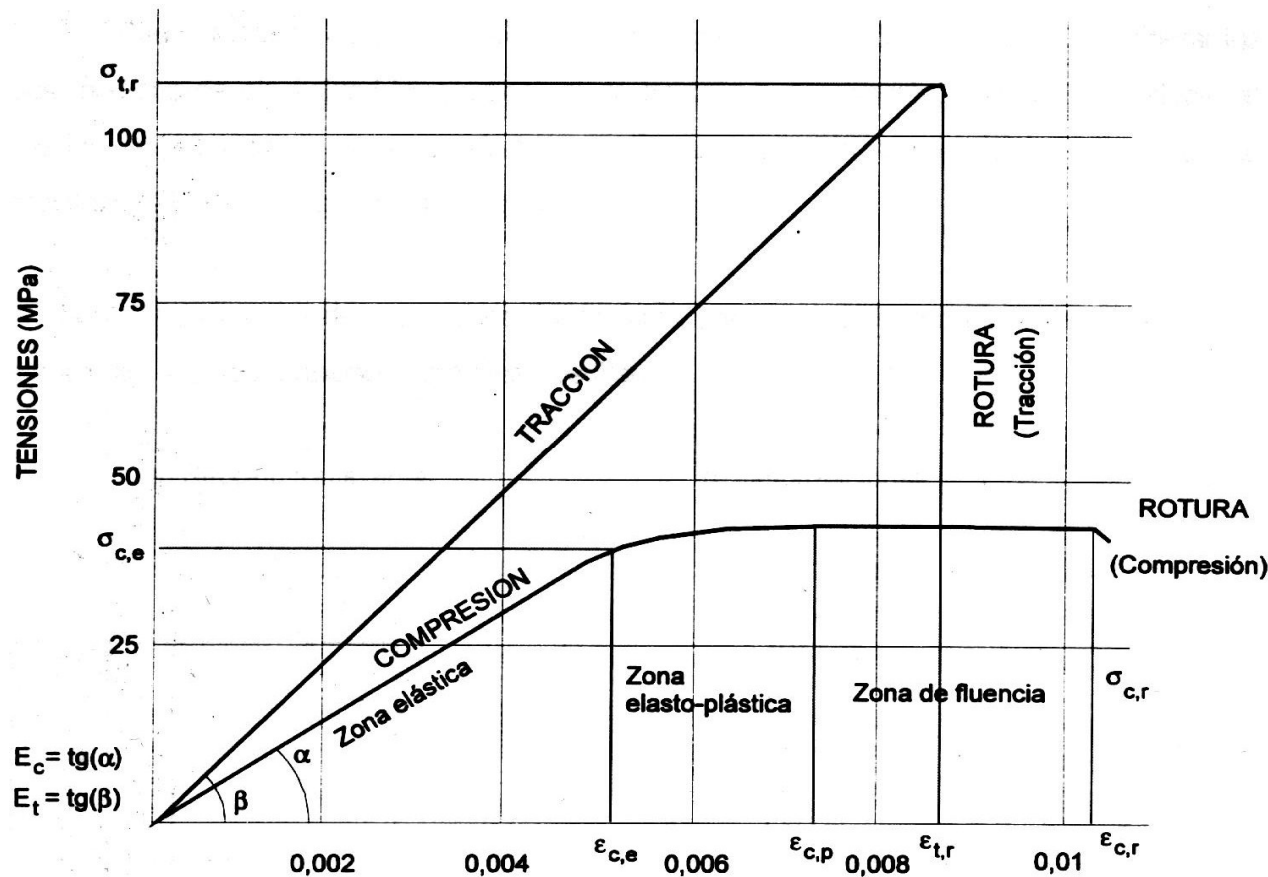
CURVA TENSION-DEFORMACIÓN VIGA A FLEXIÓN: PEQUEÑAS PROBETAS DE MADERA LIBRES DE DEFECTOS



LEY CONSTITUTIVA MADERA LIBRE DE DEFECTOS

CURVA TENSIÓN-DEFORMACIÓN VIGA A FLEXIÓN: PEQUEÑAS PROBETAS DE MADERA LIBRES DE DEFECTOS

Módulo de elasticidad a tracción diferente del de compresión

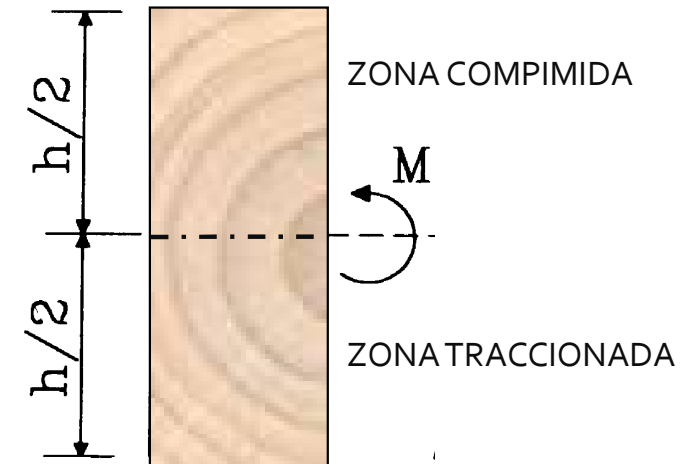
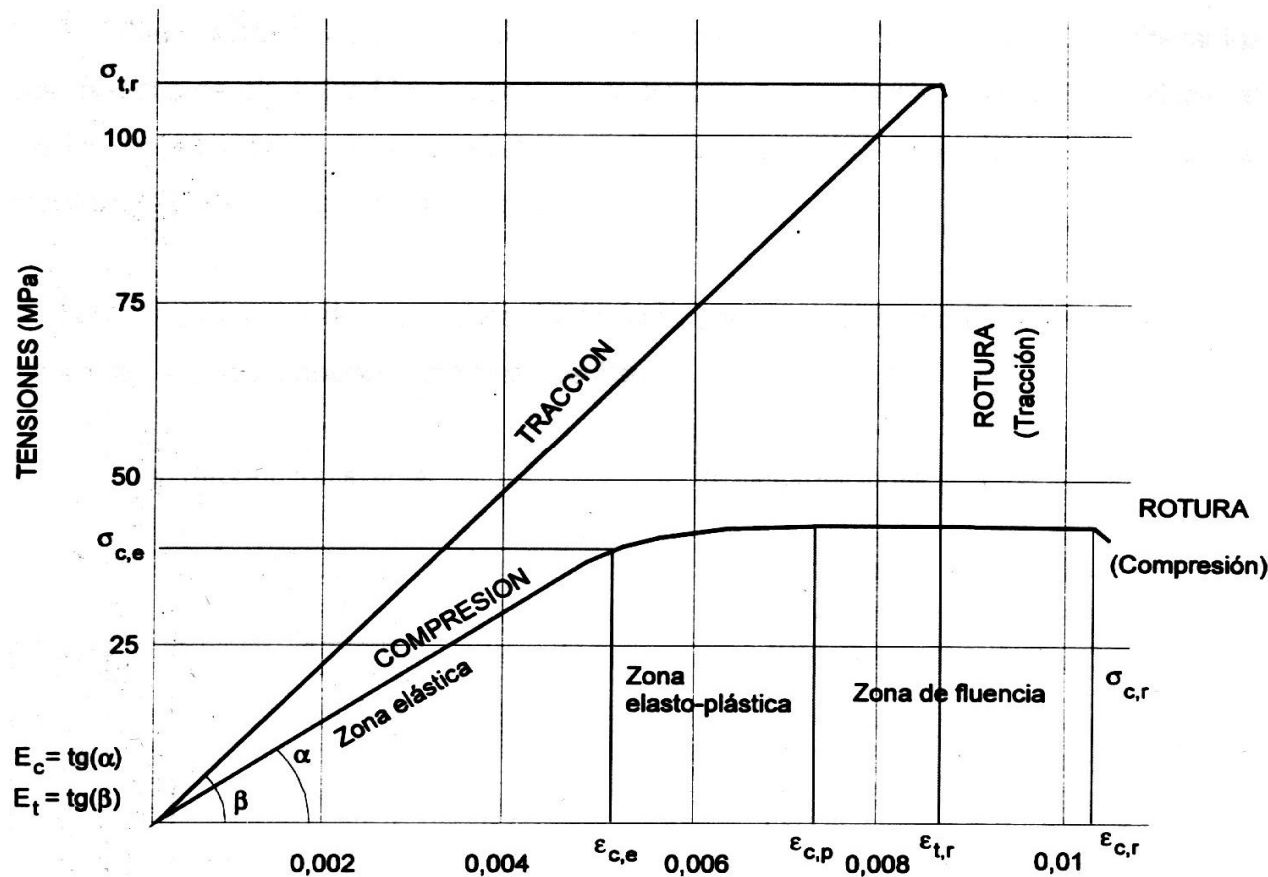


LEY CONSTITUTIVA MADERA LIBRE DE DEFECTOS

CURVA TENSIÓN-DEFORMACIÓN VIGA A FLEXIÓN: PEQUEÑAS PROBETAS DE MADERA LIBRES DE DEFECTOS

Módulo de elasticidad a tracción diferente del de compresión

Comportamiento elástico en tracción



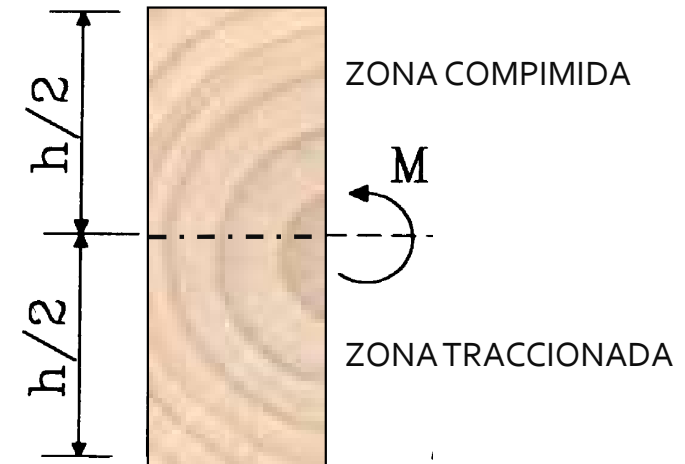
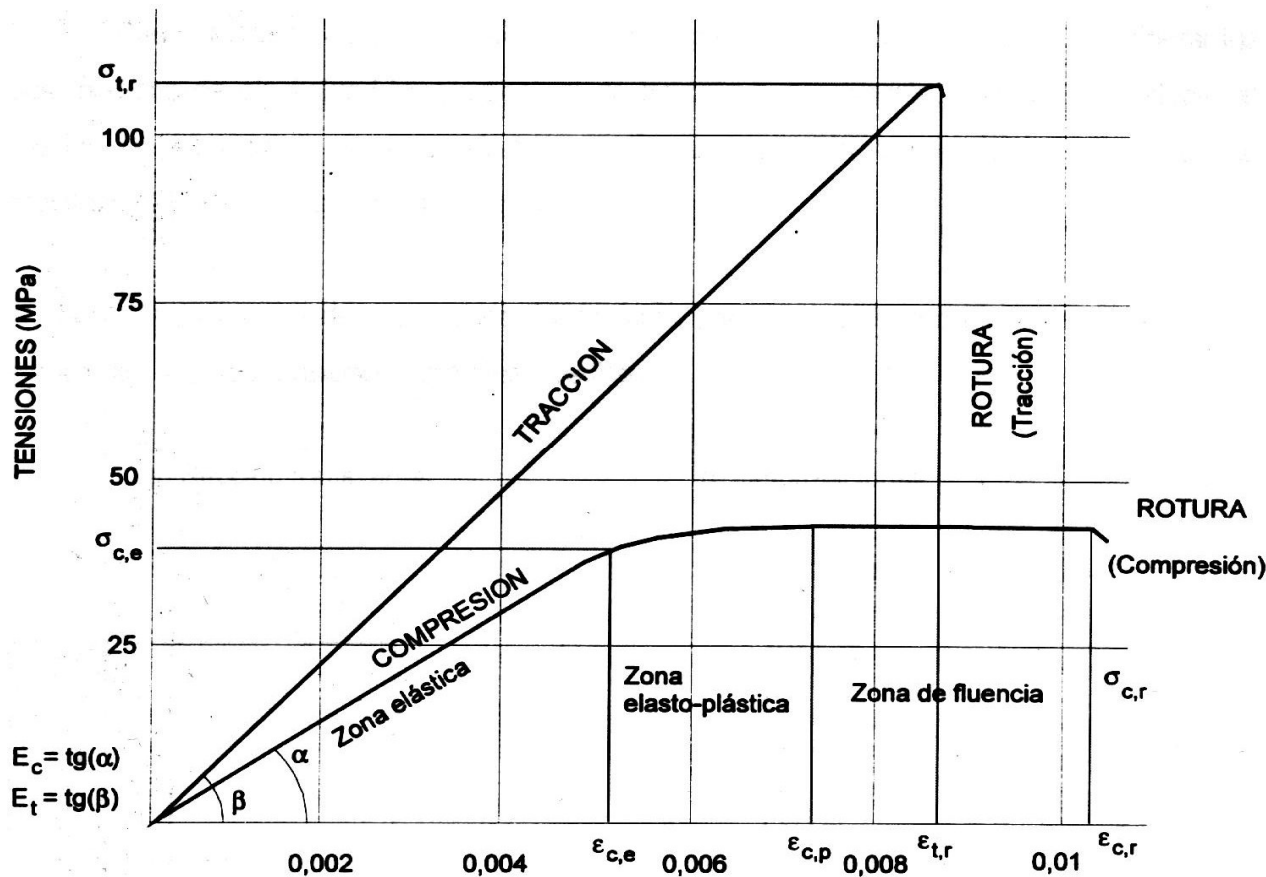
LEY CONSTITUTIVA MADERA LIBRE DE DEFECTOS

CURVA TENSIÓN-DEFORMACIÓN VIGA A FLEXIÓN: PEQUEÑAS PROBETAS DE MADERA LIBRES DE DEFECTOS

Módulo de elasticidad a tracción diferente del de compresión

Comportamiento elástico en tracción

Comportamiento elasto-plástico en compresión



LEY CONSTITUTIVA MADERA LIBRE DE DEFECTOS

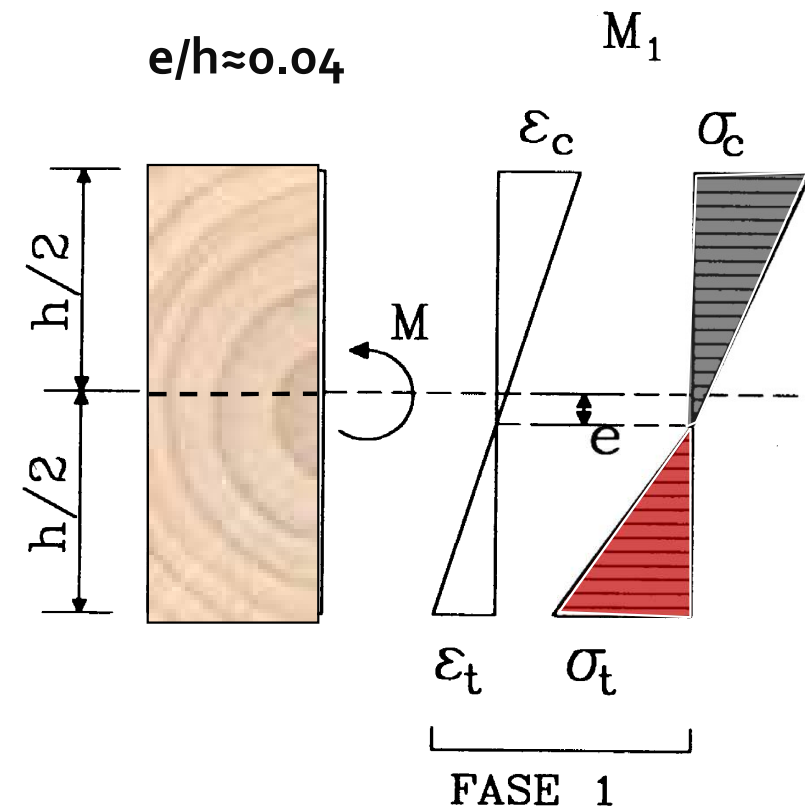
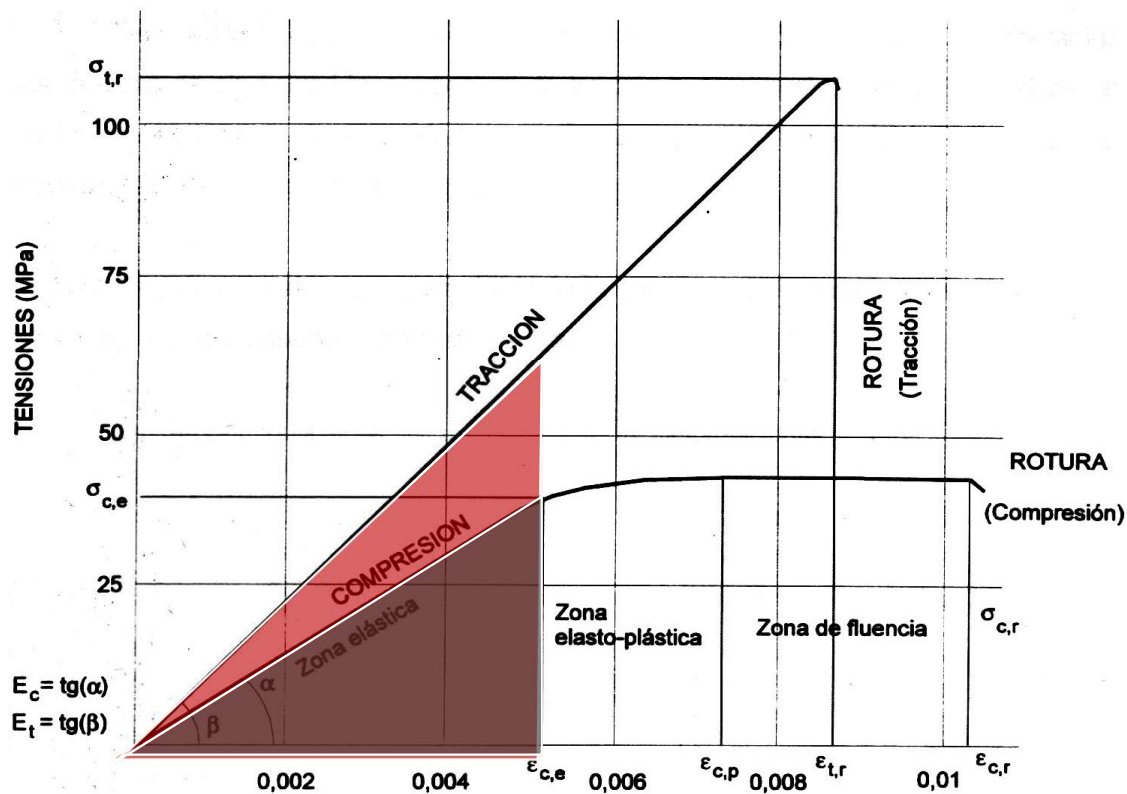
CURVA TENSIÓN-DEFORMACIÓN:

FASES DE TENSIÓN HASTA ALCANZAR LA ROTURA

FASE 1:

La diferencia entre valores de módulos de elasticidad a tracción y a compresión se traduce en diferentes pendientes de las rectas que los representan.

Del equilibrio de ambos volúmenes de tensiones se deduce la desviación de la fibra neutra.



Fuente: Argüelles y Arriaga, 1996

LEY CONSTITUTIVA MADERA LIBRE DE DEFECTOS

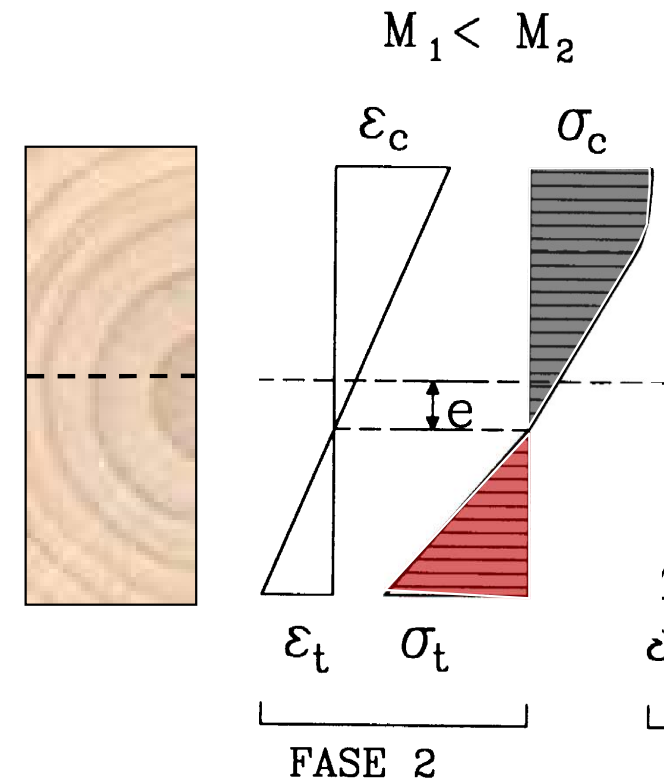
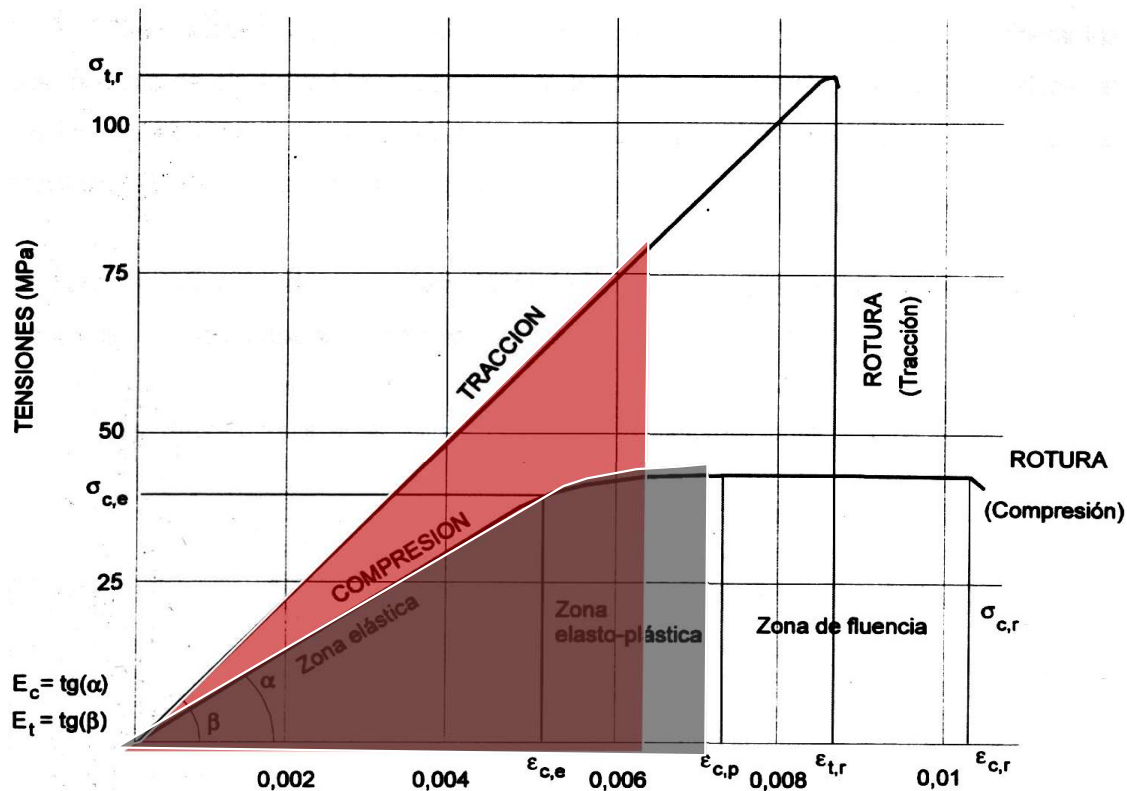
CURVA TENSIÓN-DEFORMACIÓN:

FASES DE TENSIÓN HASTA ALCANZAR LA ROTURA

FASE 2:

Las fibras comprimidas de la madera alcanzan tensiones y deformaciones en el tramo no lineal a compresión (tramo curvo)

Para que los volúmenes de tracción y de compresión se equilibren, se produce un aumento del descenso de la fibra neutra.



FASE 2

Fuente: Argüelles y Arriaga, 1996

LEY CONSTITUTIVA MADERA LIBRE DE DEFECTOS

CURVA TENSIÓN-DEFORMACIÓN:

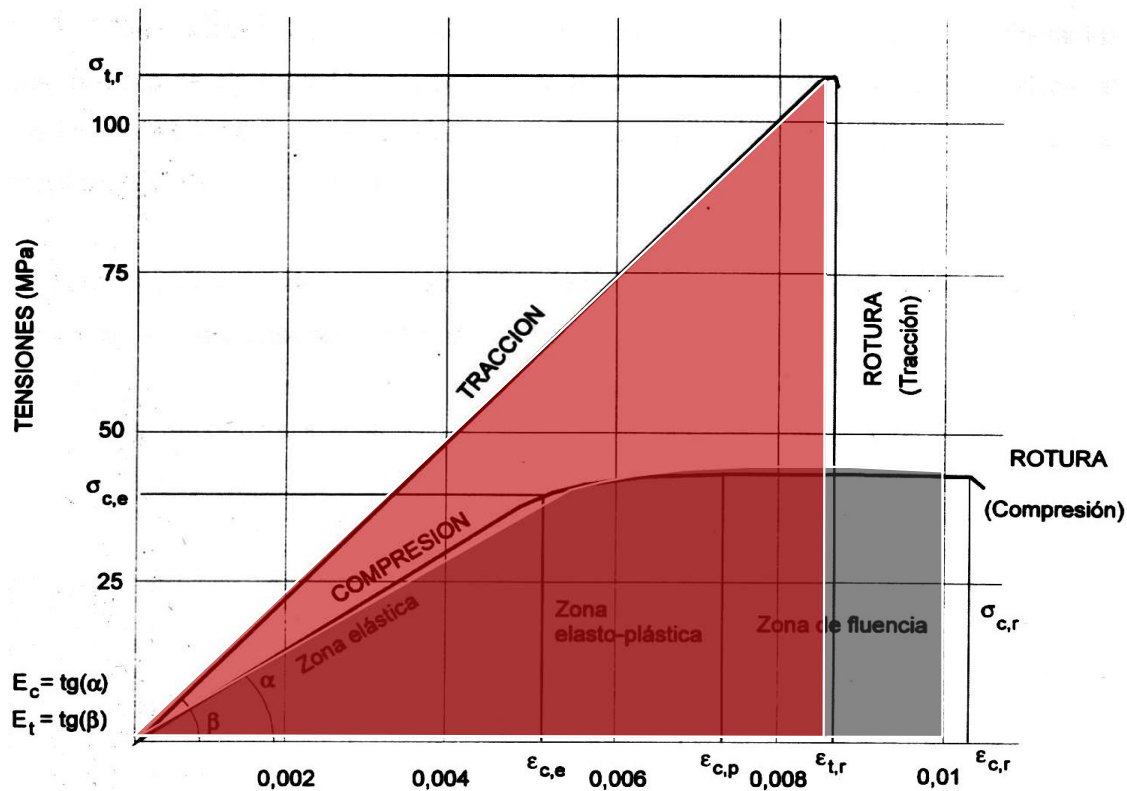
FASES DE TENSIÓN HASTA ALCANZAR LA ROTURA

FASE 3:

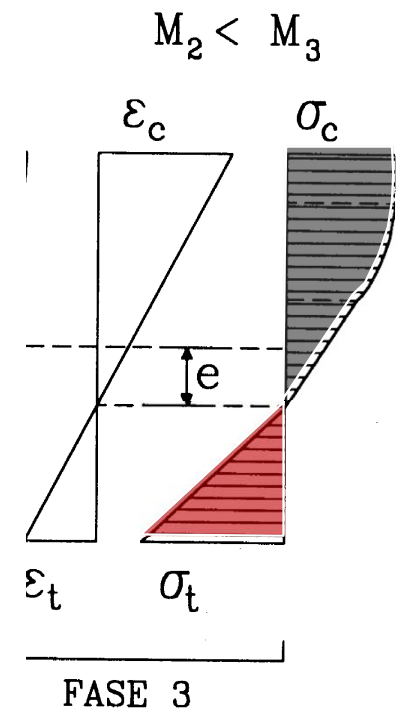
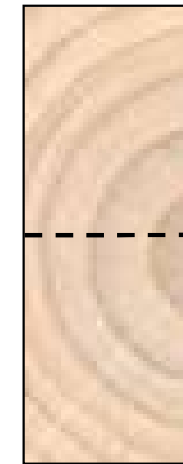
Se inicia la plastificación del borde comprimido de la pieza de madera.

La deformación de las fibras comprimidas aumenta sin que lo haga la tensión.

No se produce la rotura de la pieza, sino que sigue aguantando carga hasta que la rotura se produzca por tracción.



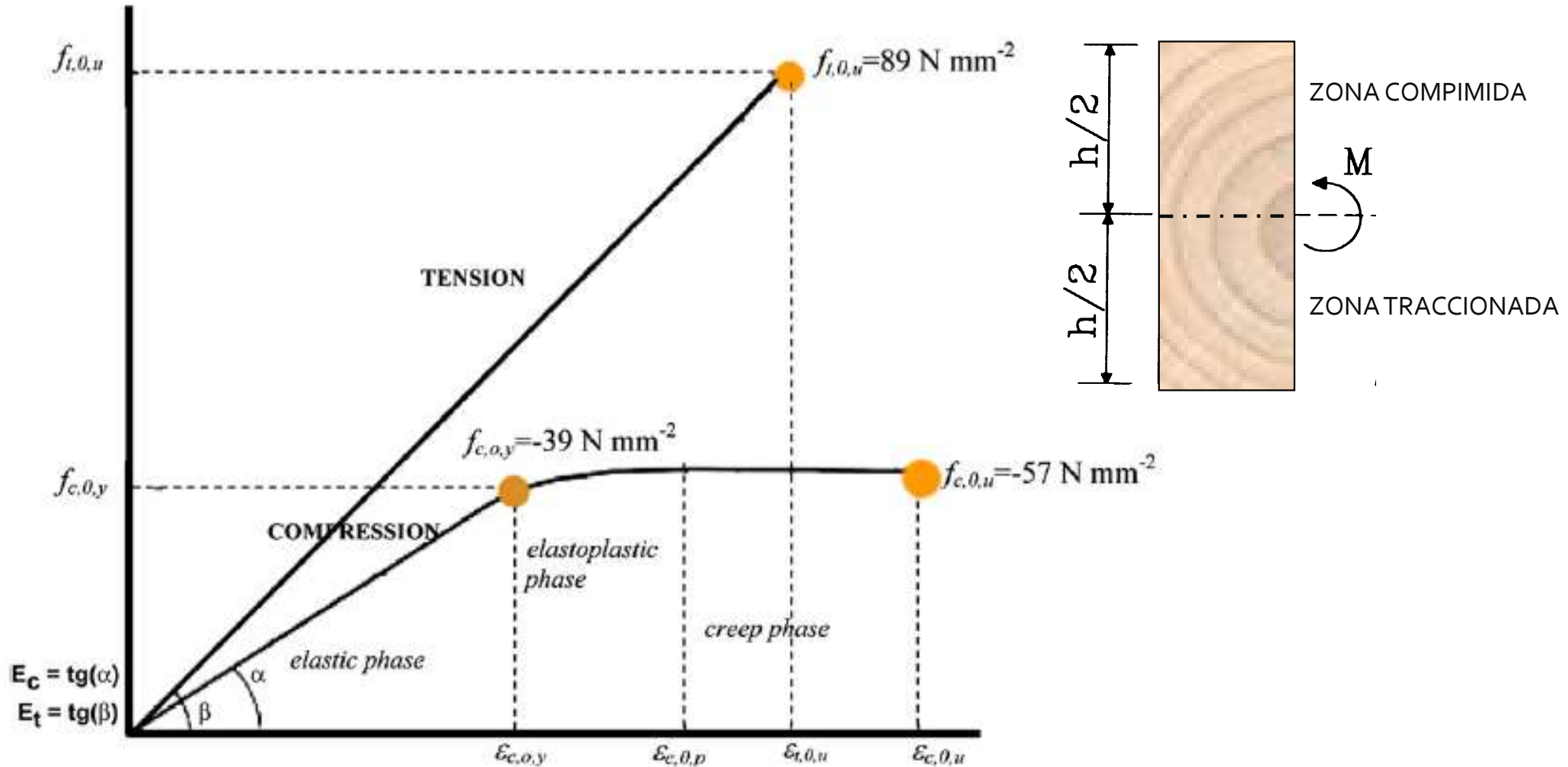
$e/h \approx 0.08$



Fuente: Argüelles y Arriaga, 1996

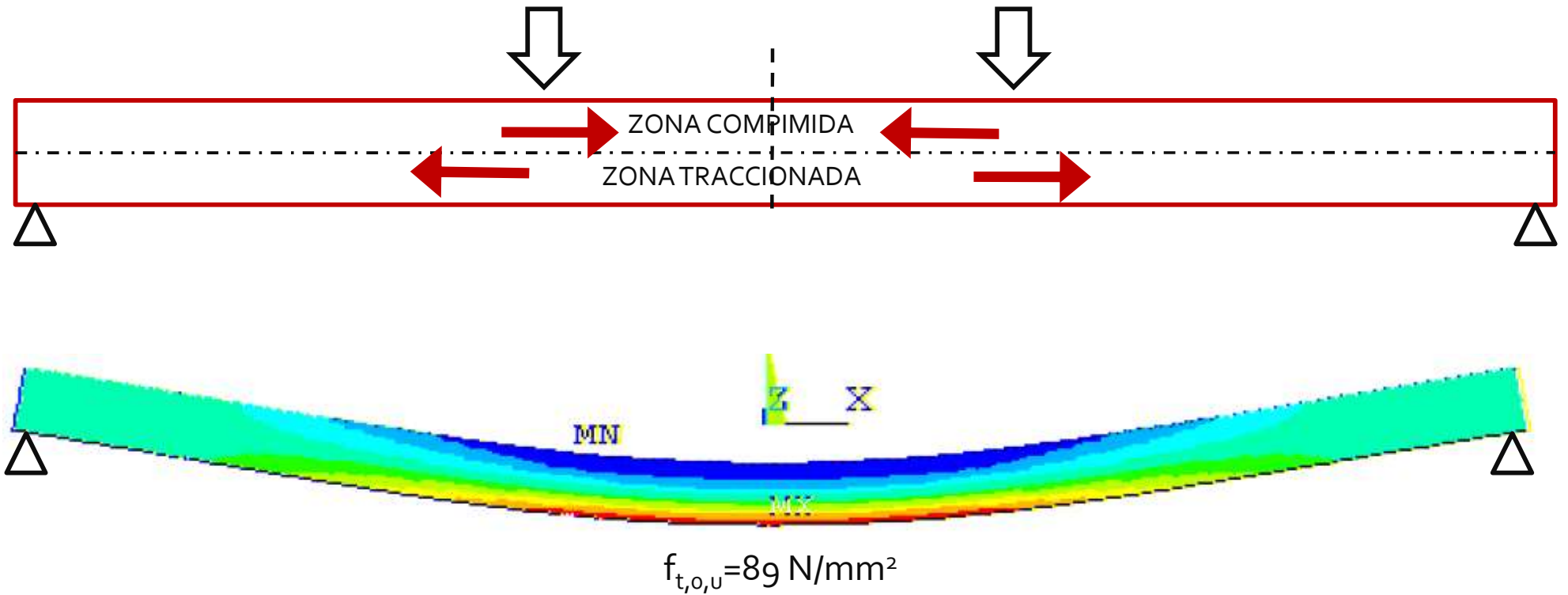
LEY CONSTITUTIVA MADERA LIBRE DE DEFECTOS

CURVA TENSIÓN-DEFORMACIÓN:

*Pinus sylvestris*Curva tensión-deformación para la madera de **Pino silvestre** de procedencia española

LEY CONSTITUTIVA MADERA LIBRE DE DEFECTOS

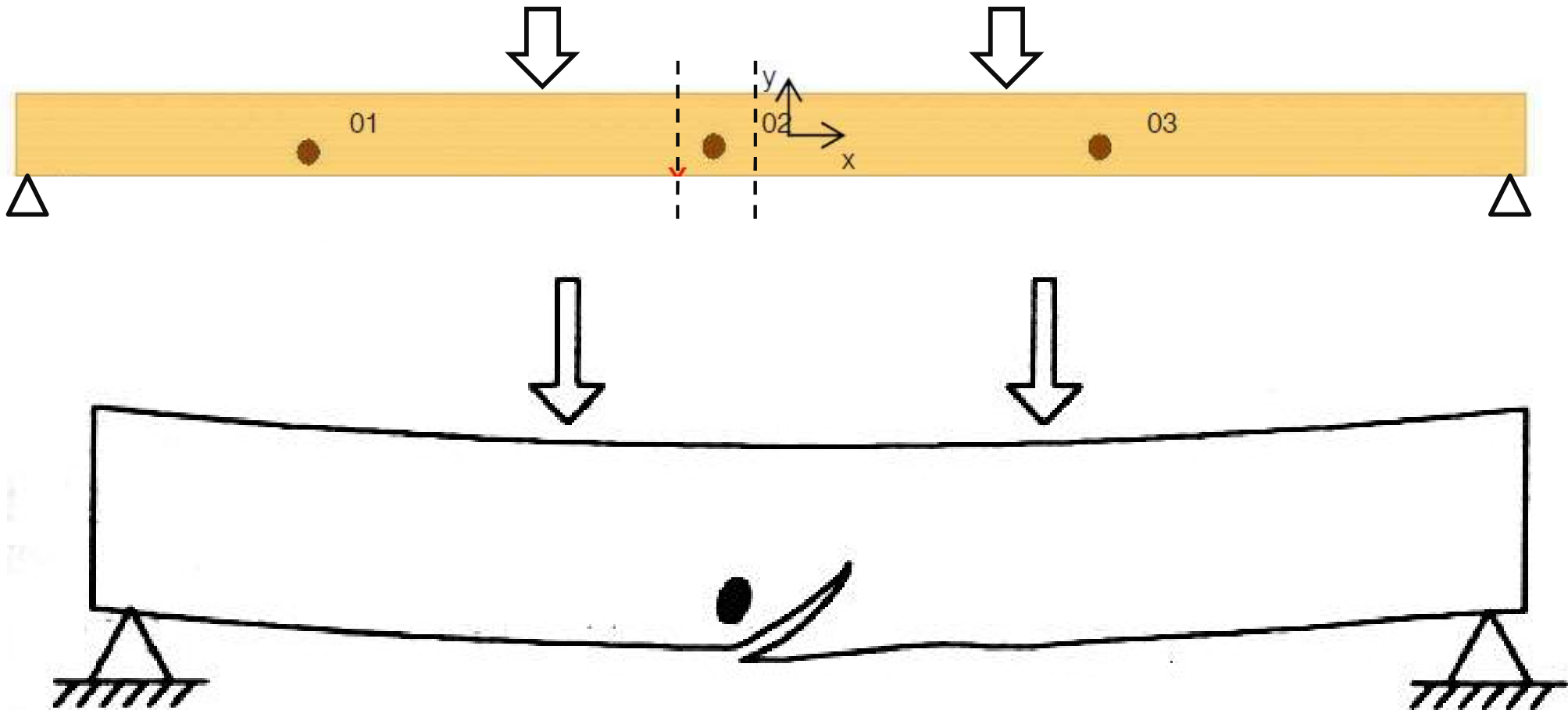
CURVA TENSIÓN-DEFORMACIÓN:

Pinus sylvestris

Ley constitutiva
madera estructural

LEY CONSTITUTIVA MADERA ESTRUCTURAL

MADERA ESTRUCTURAL DE TAMAÑO REAL CON DEFECTOS (NUDOS, DESVIACIÓN DE FIBRA, ETC)

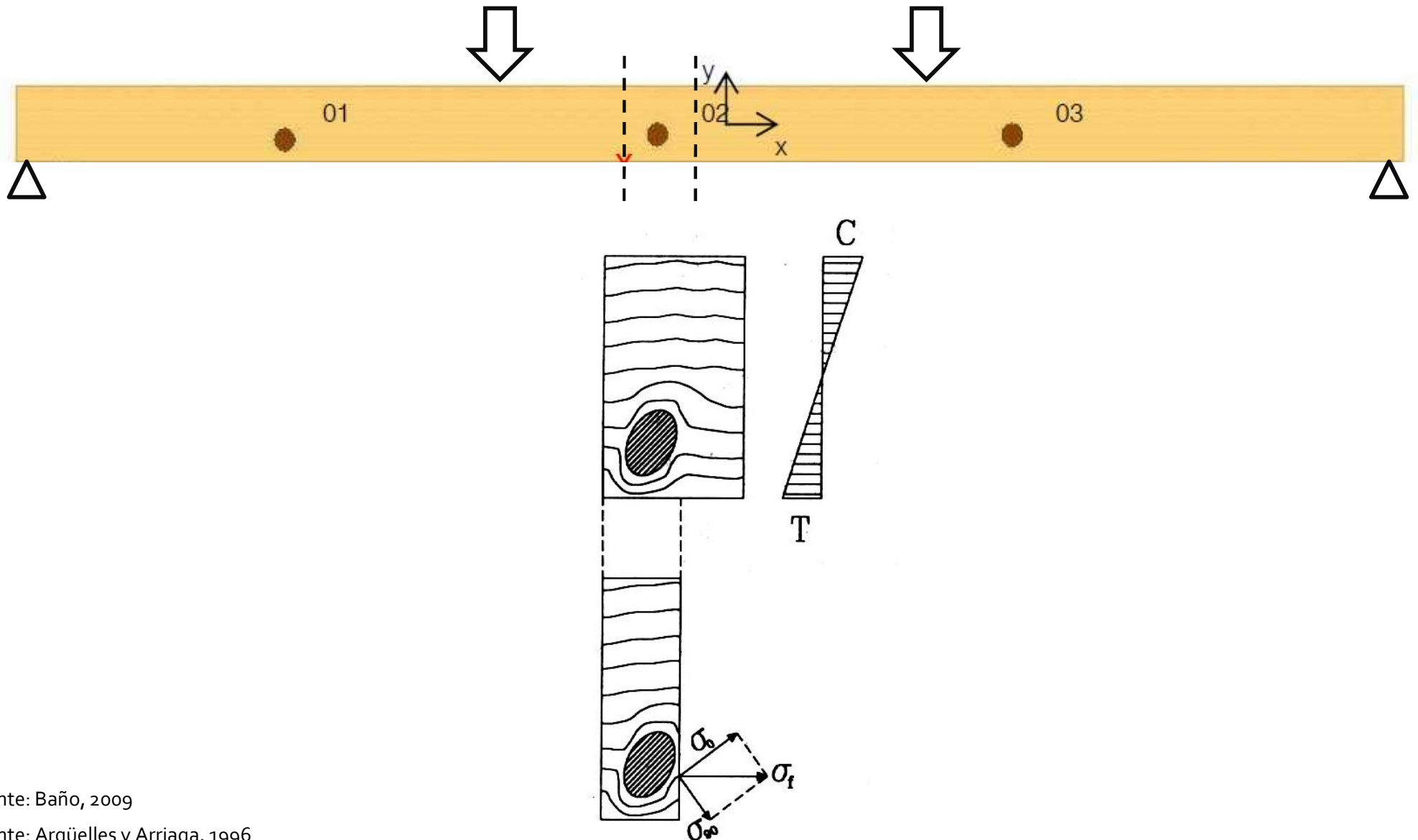


Fuente: Baño, 2009

Fuente: Argüelles y Arriaga, 1996

LEY CONSTITUTIVA MADERA ESTRUCTURAL

MADERA ESTRUCTURAL DE TAMAÑO REAL CON DEFECTOS (NUDOS, DESVIACIÓN DE FIBRA, ETC)



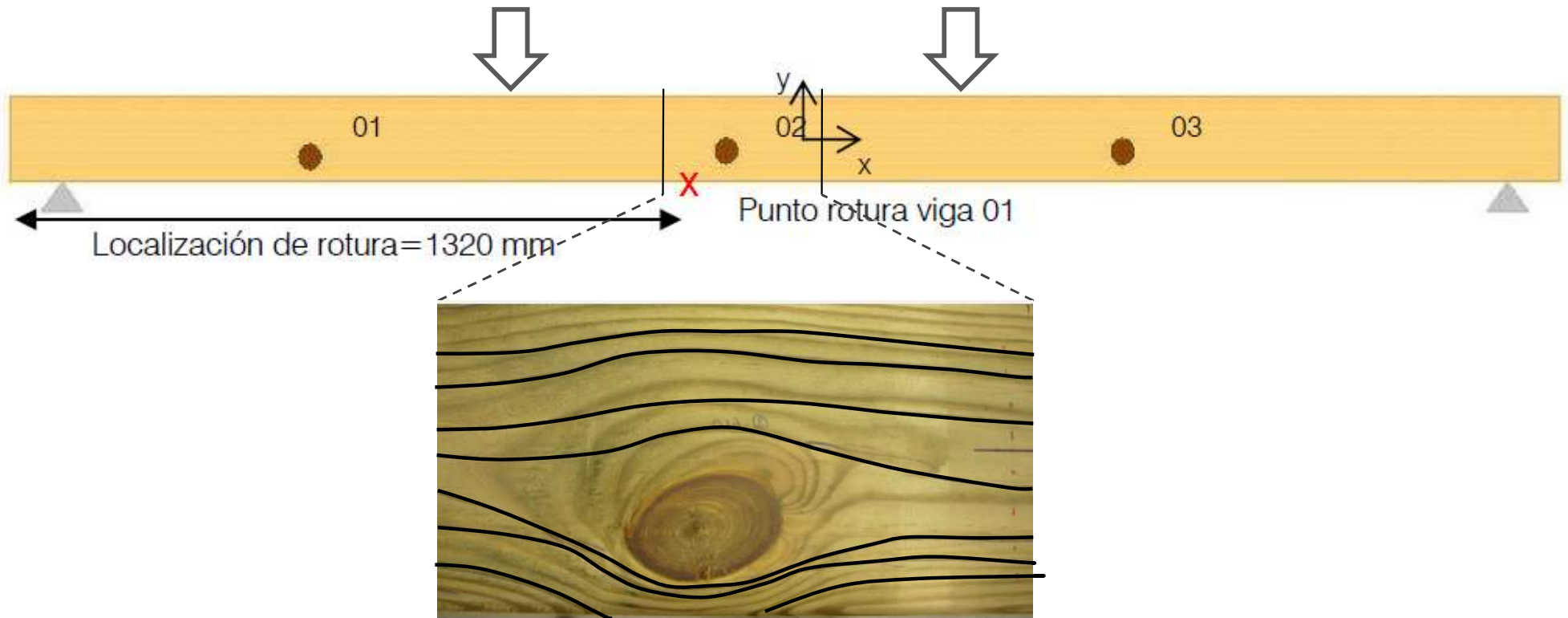
Fuente: Baño, 2009

Fuente: Argüelles y Arriaga, 1996

LEY CONSTITUTIVA MADERA ESTRUCTURAL

MADERA ESTRUCTURAL DE TAMAÑO REAL CON DEFECTOS (NUDOS, DESVIACIÓN DE FIBRA, ETC)

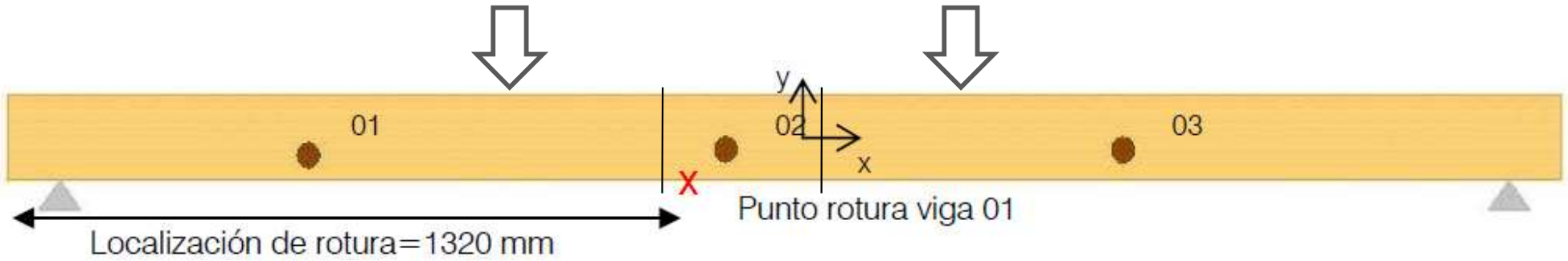
Pinus sylvestris



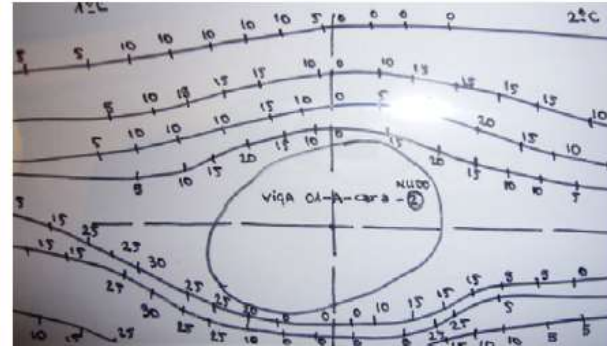
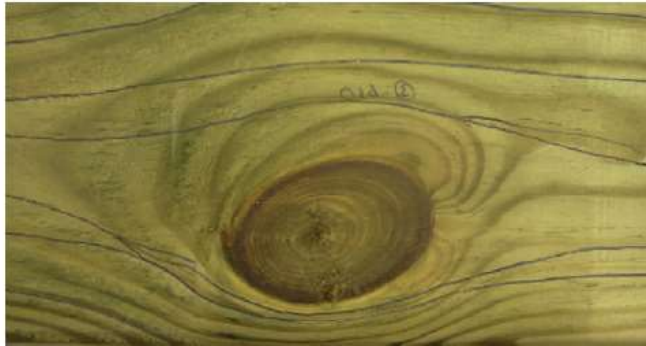
LEY CONSTITUTIVA MADERA ESTRUCTURAL

MADERA ESTRUCTURAL DE TAMAÑO REAL CON DEFECTOS (NUDOS, DESVIACIÓN DE FIBRA, ETC)

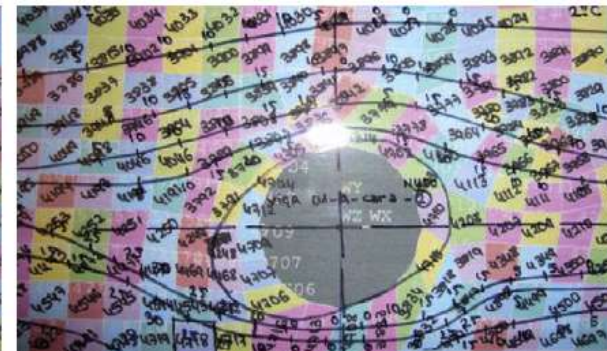
Pinus sylvestris



VIGA



FEM



LEY CONSTITUTIVA MADERA ESTRUCTURAL

MADERA ESTRUCTURAL DE TAMAÑO REAL CON DEFECTOS (NUDOS, DESVIACIÓN DE FIBRA, ETC)

Pinus sylvestris

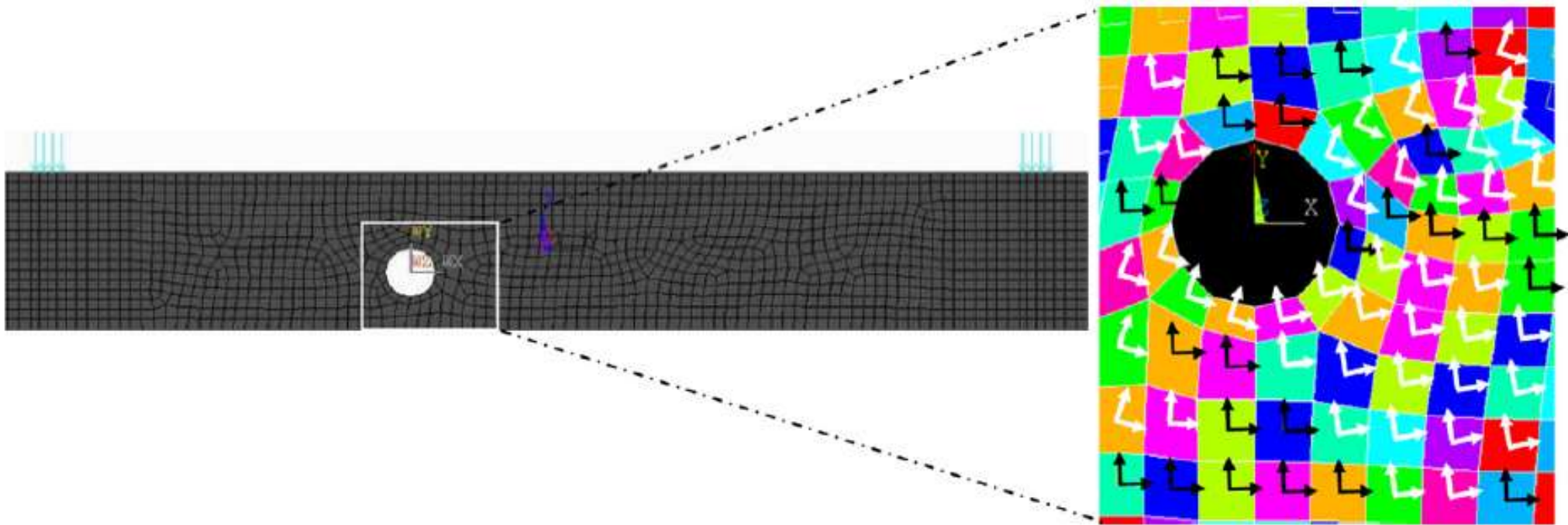
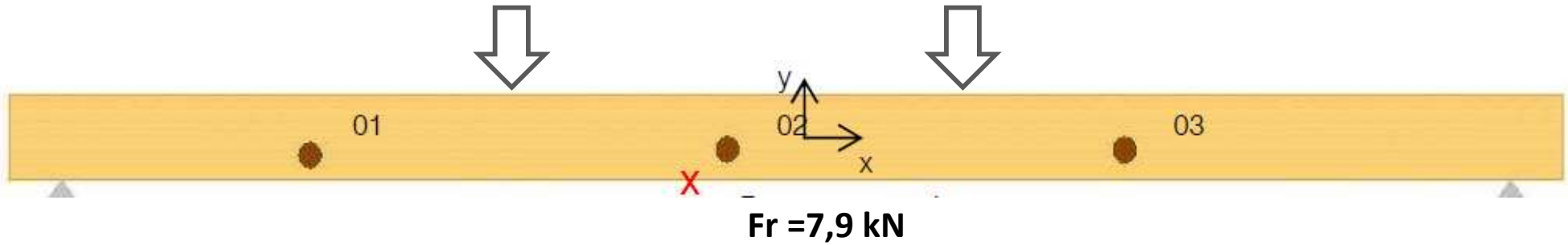


Fig. 8 – Simulation of slope of grain: local axis of main direction in each element of the mesh around knots.

LEY CONSTITUTIVA MADERA ESTRUCTURAL

MADERA ESTRUCTURAL DE TAMAÑO REAL CON DEFECTOS (NUDOS, DESVIACIÓN DE FIBRA, ETC)

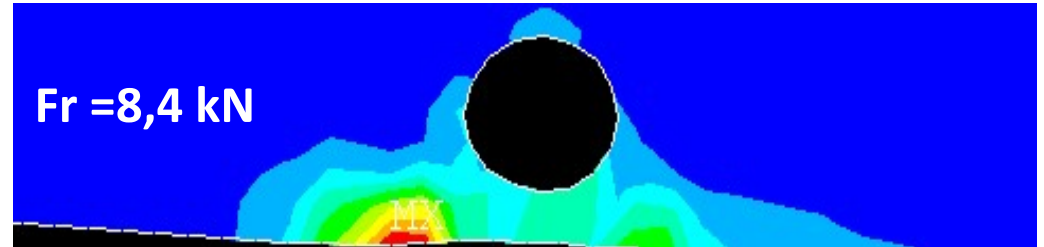
Pinus sylvestris



ensayo experimental



simulación numérica (FEM)



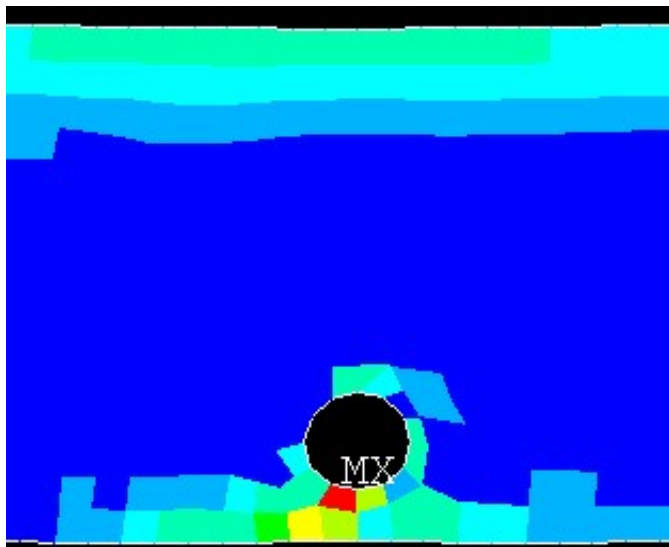
criterio de rotura cuadrático a tracción(Aicher and Klöck, 2001) :

$$(\sigma_{t,0} / f_{t,0})^2 + (\sigma_{t,90} / f_{t,90})^2 + (\tau / f_v)^2 = 1$$

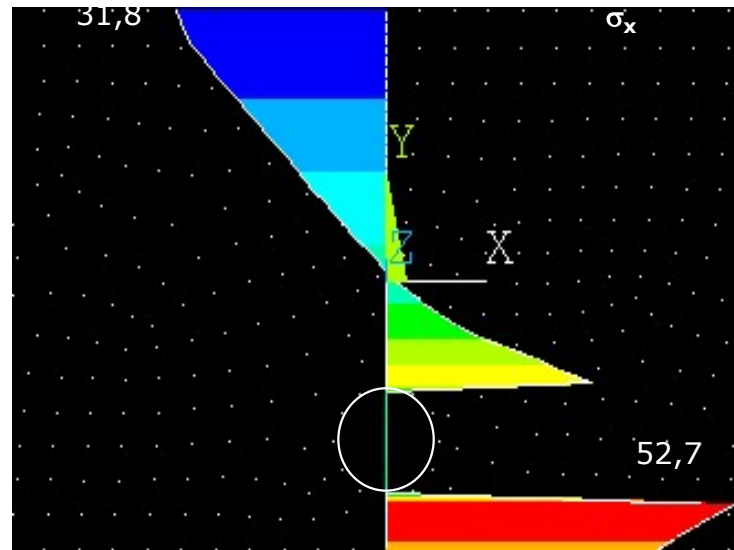
LEY CONSTITUTIVA MADERA ESTRUCTURAL

MADERA ESTRUCTURAL DE TAMAÑO REAL CON DEFECTOS (NUDOS, DESVIACIÓN DE FIBRA, ETC)

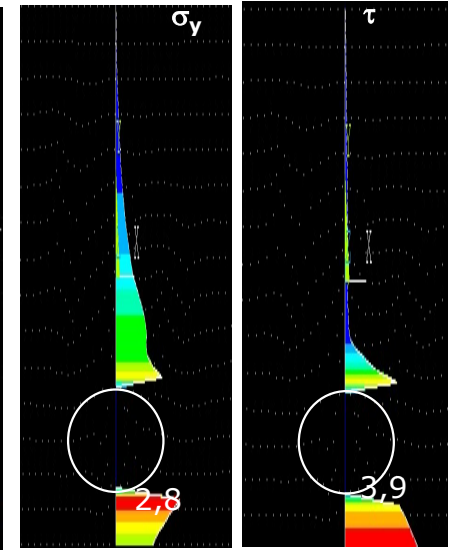
Pinus sylvestris



tensiones en los elementos



tensiones en la sección en las direcciones:
paralela, perpendicular y cortante



criterio de rotura cuadrático a tracción(Aicher and Klöck, 2001) :

$$(\sigma_{t,0} / f_{t,0})^2 + (\sigma_{t,90} / f_{t,90})^2 + (\tau / f_v)^2 = 1$$

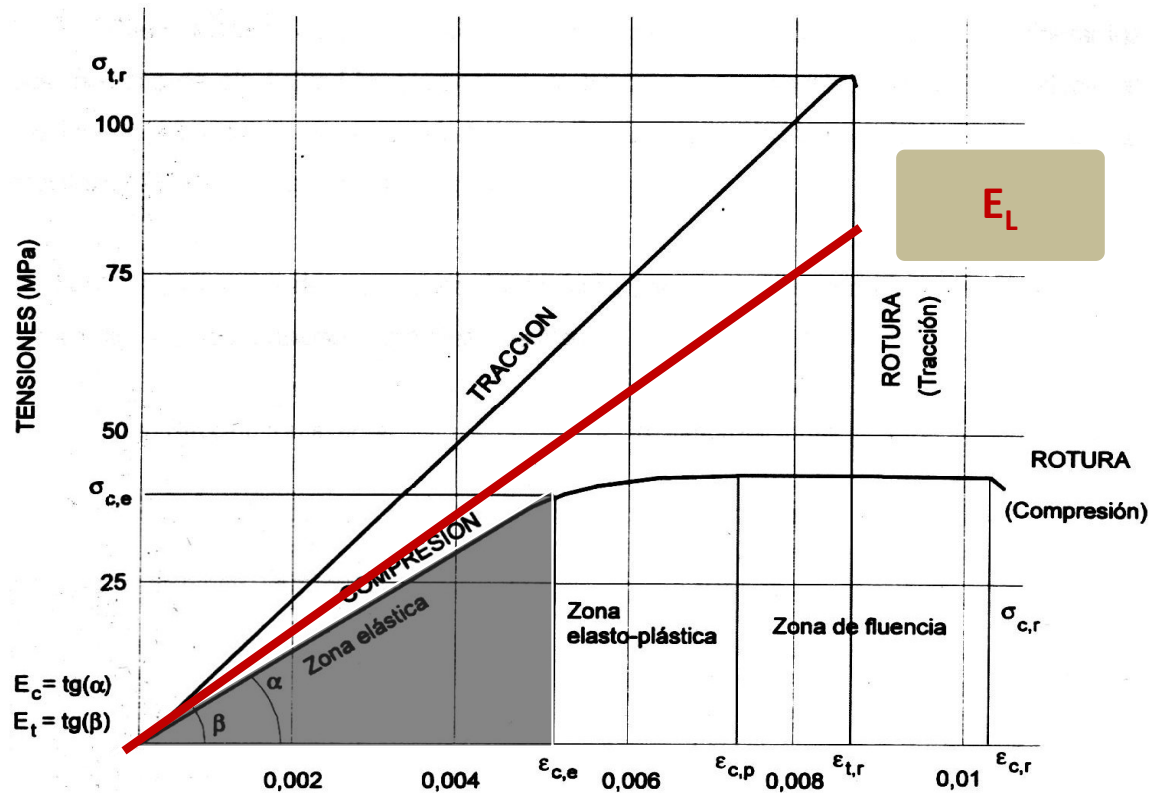
1. Propiedades mecánicas de la madera
2. Propiedades mecánicas en el cálculo estructural con madera
3. Factores que influyen en las propiedades mecánicas

2.3. Propiedades mecánicas

SIMPLIFICACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE LA MADERA PARA EL CÁLCULO ESTRUCTURAL

Se calcula en tramo elástico de comportamiento

Los módulos de elasticidad a tracción y a compresión en flexión se simplifican en uno sólo llamado módulo de elasticidad "aparente"



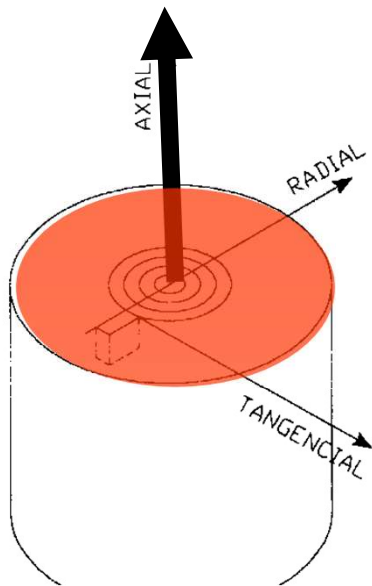
SIMPLIFICACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE LA MADERA PARA EL CÁLCULO ESTRUCTURAL

Se calcula en tramo elástico de comportamiento

Los módulos de elasticidad a tracción y a compresión en flexión se simplifican en uno sólo llamado módulo de elasticidad "aparente"

Se simplifica a dos direcciones de la fibra:

Paralela a la fibra (axial o longitudinal)



Perpendicular a la fibra (o transversal)



SIMPLIFICACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE LA MADERA PARA EL CÁLCULO ESTRUCTURAL

RIGIDEZ (MÓDULOS DE ELASTICIDAD)

Paralela a la fibra o longitudinal (E_L)

Módulo elasticidad paralelo: E_0

Módulo elasticidad perpendicular: E_{90}

Transversal o de cortante (G)

Módulo elasticidad transversal: G

Resistencia

SIMPLIFICACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE LA MADERA PARA EL CÁLCULO ESTRUCTURAL

RESISTENCIAS

Flexión



SIMPLIFICACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE LA MADERA PARA EL CÁLCULO ESTRUCTURAL

RESISTENCIAS

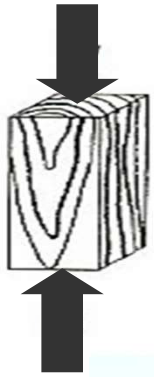
Tracción paralela a la fibra



SIMPLIFICACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE LA MADERA PARA EL CÁLCULO ESTRUCTURAL

RESISTENCIAS

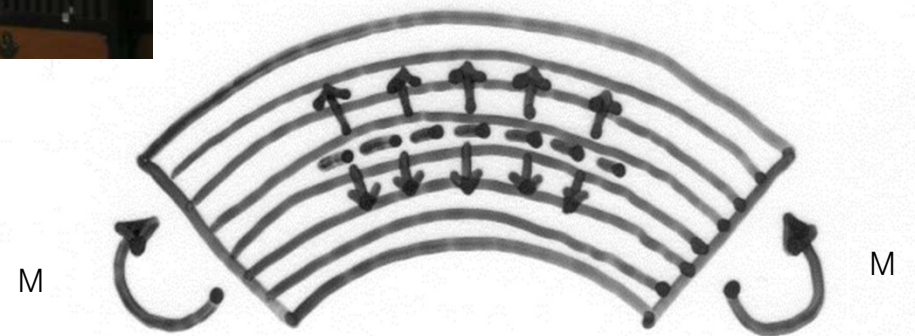
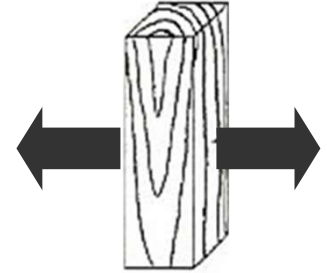
Compresión paralela a la fibra



SIMPLIFICACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE LA MADERA PARA EL CÁLCULO ESTRUCTURAL

RESISTENCIAS

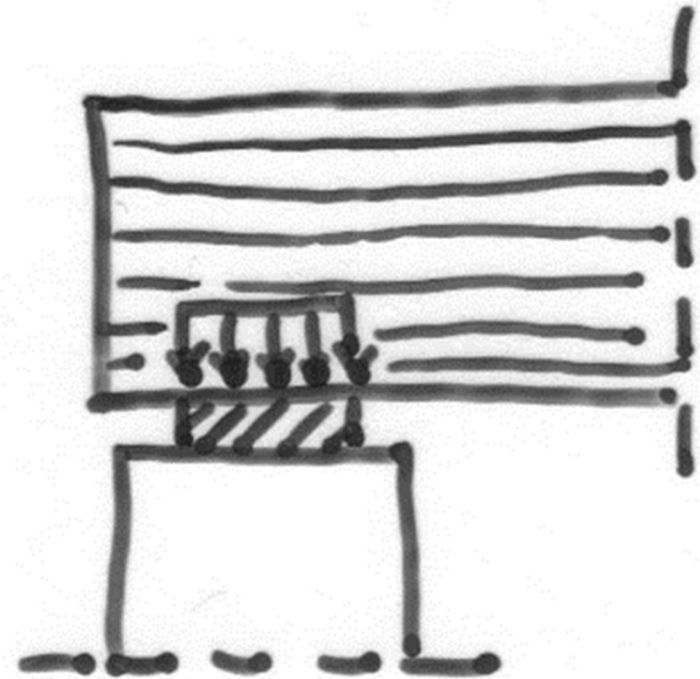
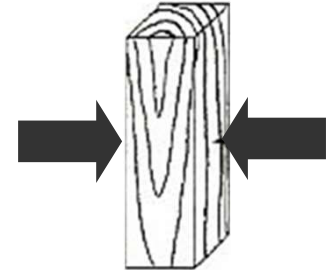
Tracción perpendicular a la fibra



SIMPLIFICACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE LA MADERA PARA EL CÁLCULO ESTRUCTURAL

RESISTENCIAS

Compresión perpendicular a la fibra

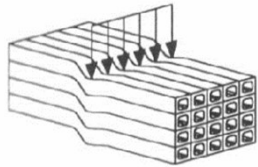


SIMPLIFICACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE LA MADERA PARA EL CÁLCULO ESTRUCTURAL

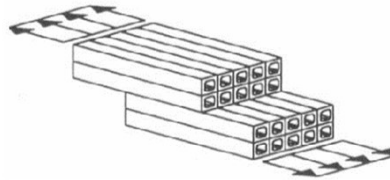
RESISTENCIAS

Cortante

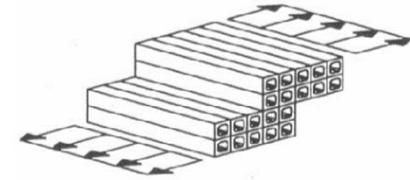
de cortadura



de deslizamiento



de rodadura



2.3. PROPIEADES MECÁNICAS

Comparación de propiedades mecánicas de la madera, el acero y el hormigón armado (N/mm²)

	Flexión	Tracción paralela	Tracción perpend.	Compres. paralela	Compres. perpend.	Cortante	Módulo elasticidad
Madera	18	11	0.4	18	4.8	2.0	11.000
Hormigón	-	1.8		20		0.6	25.000
Acero	240	240		240		140	210.000

Elevada resistencia a flexión comparada con su peso propio.

La relación resistencia/peso es 1.3 veces superior a la del acero y 10 veces superior a la del hormigón

Buena resistencia a tracción y a compresión paralela a la fibra

Escasa resistencia a cortante, similar a la del hormigón y menor que la del acero

Escasa resistencia tracción y compresión perpendicular a la fibra

Bajo módulo de elasticidad: mitad que el hormigón y 20 veces menos que el acero

Fuente: Argüelles y Arriaga, 1996

2.3. PROPIEADES MECÁNICAS

Comparación de propiedades mecánicas de la madera, el acero y el hormigón armado (N/mm²)

Elevada resistencia a flexión comparada con su peso propio.

La relación resistencia/peso es 1.3 veces superior a la del acero y 10 veces superior a la del hormigón

Datos de entrada		Acero		Madera		Hormigón	
L	6.0 m	Fy	248 MPa	Clase	C14	Cálculo aproximado	
pp	25%	E	200 GPa	b	145 mm	b	150 mm
scu	75%	Perfil	IPN 260	h	585 mm	h	600 mm
qser	10.0 kN/m	h	260 mm	f _{m,k}	14.0 MPa	G	225.0 kg/m
qult	14.6 kN/m	tw	9.4 mm	f _{v,k}	3.0 MPa		
CS	2	Aw	24.4 cm ²	E _{0,m}	7.0 GPa		
kmod	0.6 0.8	A	53.3 cm ²	A	848.3 cm ²		
kdef	0.8	Z _x	514 cm ³	W _x	8270 cm ³		
Solicitaciones		I _x	5740 cm ⁴	I _x	241910 cm ⁴		
Vu	43.9 kN	Vr	363.7 kN	Vr	97.9 kN		
Mu	65.8 kN.m	Mr	114.7 kN.m	Mr	66.8 kN.m		
f _{max} . EI	169 kN.m ³	f _{max} . EI	172 kN.m ³	f _{max} . EI	176 kN.m ³		
		G	41.9 kg/m	G	29.7 kg/m		
						Resumen	
						Madera	29.7 kg/m
						Acero	41.9 kg/m
						Hormigón	225.0 kg/m

1. Propiedades mecánicas de la madera
2. Propiedades mecánicas en el cálculo estructural con madera
3. Factores que influyen en las propiedades mecánicas

2.3. Propiedades mecánicas

FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS PROPIEADES MECÁNICAS

Contenido de
humedad



contenido de humedad madera

(para contenido humedad < 30% = P.S.F.)



RESISTENCIA



MÓDULO DE ELASTICIDAD

ENSAYOS MECÁNICOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEADES MECÁNICAS: $20 \pm 2^\circ\text{C}$ y $65 \pm 5\%$

CONTENIDO DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO CONÍFERAS $\approx 12\%$

LA INFLUENCIA DEPENDE DE LA PROPIEDAD MECÁNICA:

RESISTENCIA A TRACCIÓN PARALELA

POCA INFLUENCIA EN MADERA CON MUCHOS DEFECTOS

RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARALELA

MUY SENSIBLE AL CONTENIDO DE HUMEDAD

RESISTENCIA A FLEXIÓN

POCA INFLUENCIA EN VALORES CARACTERÍSTICOS

FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS PROPIEADES MECÁNICAS

Contenido de
humedad

Clase de
servicio

SE DEFINEN PARA ASIGNAR LOS VALORES RESISTENTES Y PARA EL CÁLCULO DE DEFORMACIONES BAJO UNAS CONDICIONES AMBIENTALES DETERMINADAS

CLASE SERVICIO 1

Contenido de humedad de la madera:
 $T^a : 20 \pm 2^{\circ}\text{C}$
 H.R. > 65% unas pocas semanas al año



Fuente: www.mediamadera.com

H.E.H. $\approx 12\%$

CLASE SERVICIO 2

Contenido de humedad de la madera:
 $T^a : 20 \pm 2^{\circ}\text{C}$
 H.R. > 85% unas pocas semanas al año



Fuente: www.mediamadera.com

H.E.H. $\approx 16\%$

CLASE SERVICIO 3

Contenido de humedad de la madera:
 H.R. > 85% habitualmente



Fuente: www.mediamadera.com

H.E.H. > 20%

FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS PROPIEADES MECÁNICAS

Contenido de
humedad

Clase de
servicio

Duración
carga



duración de la carga



RESISTENCIA

LA RESISTENCIA DE LA MADERA ANTE CARGAS PERMANENTES SON APROXIMADAMENTE EL 60% DE LA RESISTENCIA ANTE UNA CARGA DE CORTA DURACIÓN (ensayo de duración 5 ± 2 min)

LOS ENSAYOS DE DETERMINACIÓN DE PROPIEADES MECÁNICAS SE REALIZAN CON UNA DURACIÓN NORMALIZADA ENTRE 3-7 MINUTOS

FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS PROPIEADES MECÁNICAS

Contenido de
humedad

Clase de
servicio

**Duración
carga**



duración de la carga



RESISTENCIA

Tabla 2.1
Clases de duración de la carga

Clase de duración de la carga	Orden de duración acumulada de la carga característica
Permanente	más de 10 años
Larga	6 meses – 10 años
Media	1 semana – 6 meses
Corta	menos de una semana
Instantánea	

Fuente: EUROCÓDIGO 5

FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS PROPIEADES MECÁNICAS

Contenido de
humedadClase de
servicio**Duración**
carga

Tabla 2.2
Ejemplos de asignación de duración de la carga

Clase de duración de la carga	Ejemplos de carga
Permanente	peso propio
Larga	almacenamiento
Media	sobrecarga de uso, nieve
Corta	nieve, viento
Instantánea	viento, acciones accidentales

Fuente: EUROCÓDIGO 5

FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS PROPIEADES MECÁNICAS

Contenido de
humedad

Clase de
servicio

Duración
carga

k_{mod} : factor de modificación que tiene en cuenta el efecto de la duración de la carga y del contenido de humedad en los valores resistentes

Table 3.1 – Values of k_{mod}

Material	Standard	Service class	Load-duration class				
			Permanent action	Long term action	Medium term action	Short term action	Instantaneous action
Solid timber	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Glued laminated timber	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Fuente: EUROCÓDIGO 5

FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS PROPIEADES MECÁNICAS

Contenido de
humedad

Clase de
servicio

Duración
carga

Calidad de
la madera

ES EL FACTOR DE MAYOR RELEVANCIA EN LA RESISTENCIA DE LA MADERA



Nº singularidades madera

(también denominados defectos)

NUDOS

FENDAS

ACEBOLLADURAS

DESVÍO DE FIBRA

MADERA DE REACCIÓN

MADERA JUVENIL

ESPEJOR ANILLOS CRECIMIENTO



RESISTENCIA



FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS PROPIEADES MECÁNICAS

Contenido de
humedadClase de
servicioDuración
cargaCalidad de
la maderaTamaño de
la pieza

Volumen de madera



RESISTENCIA

TEORÍA DE LA ROTURA FRÁGIL: el material se asimila a una cadena con eslabones, donde el fallo de un eslabón supone el fallo de la cadena. Cuanto > el nº de eslabones, más probabilidad de fallo

MADERA ASERRADA

Canto = 150mm

FLEXIÓN
TRACCIÓN PARALELA

MADERA LAMINADA

Canto = 600 mm

FLEXIÓN
TRACCIÓN PARALELA
TRACCIÓN PERPENDICULAR k_h

FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS PROPIEADES MECÁNICAS

Contenido de
humedad

Clase de
servicio

Duración
carga

Calidad de
la madera

Tamaño de
la pieza

Carga
compartida



k_{sys}



GRACIAS POR
LA ATENCIÓN

FACULTAD DE
INGENIERIA

