



ESTRUCTURAS DE MADERA

2.2. Propiedades físicas

1. El agua en la madera

2. Contenido de humedad
3. Humedad de equilibrio higroscópico
4. Estabilidad dimensional
5. Densidad

2.2. Propiedades físicas

EL AGUA EN LA MADERA

1. AGUA DE CONSTITUCIÓN

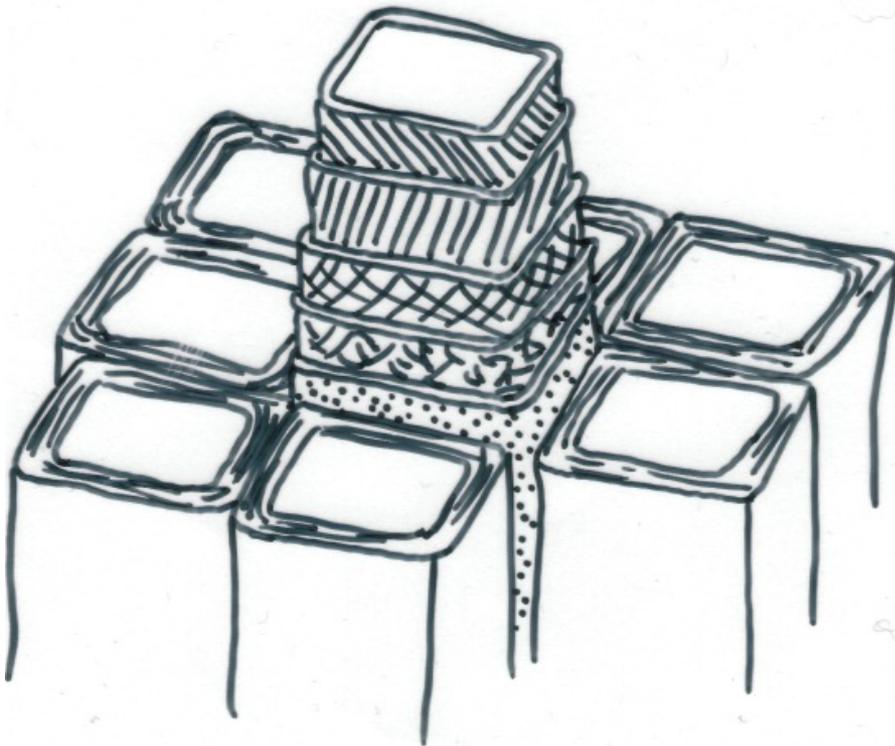
Forma parte de la madera

2. AGUA DE IMPREGNACIÓN

Agua contenida en las paredes celulares

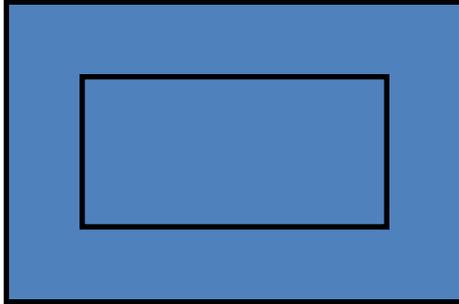
3. AGUA LIBRE

Agua que se encuentra llenando las cavidades de las células



EL AGUA EN LA MADERA

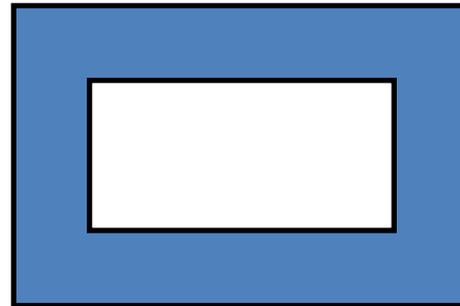
AGUA LIBRE



CH ~ 100%

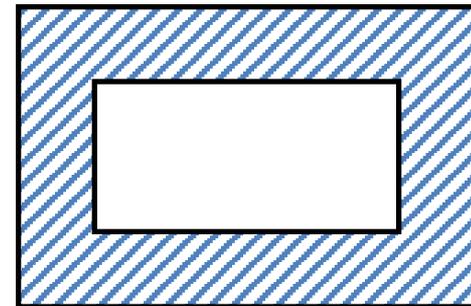
Punto de saturación
de las fibras

AGUA DE IMPREGNACIÓN



Paredes saturadas de
Agua (CH ~ 30%)

Humedad de
equilibrio higroscópico



Fibras en equilibrio
con el ambiente
CH ~ 15%

Fuente: modificado de A. Dieste 2015

EL AGUA EN LA MADERA

AGUA LIBRE



1. Sobre PSF

AGUA DE IMPREGNACIÓN



2. PSF



3. Bajo PSF

EL AGUA EN LA MADERA

1. AGUA DE CONSTITUCIÓN

Forma parte de la madera

2. AGUA DE IMPREGNACIÓN

Agua contenida en las paredes celulares



contenido de humedad madera



RESISTENCIA MECÁNICA



RIGIDEZ



RESISTENCIA AL IMPACTO

3. AGUA LIBRE

Agua que se encuentra llenando las cavidades de las células

No influye en las propiedades mecánicas

Influye en la densidad aparente

1. El agua en la madera
2. Contenido de humedad
3. Humedad de equilibrio higroscópico
4. Estabilidad dimensional
5. Densidad

2.2. Propiedades físicas

CONTENIDO DE HUMEDAD

norma española

UNE-EN 13183-1

Julio 2002

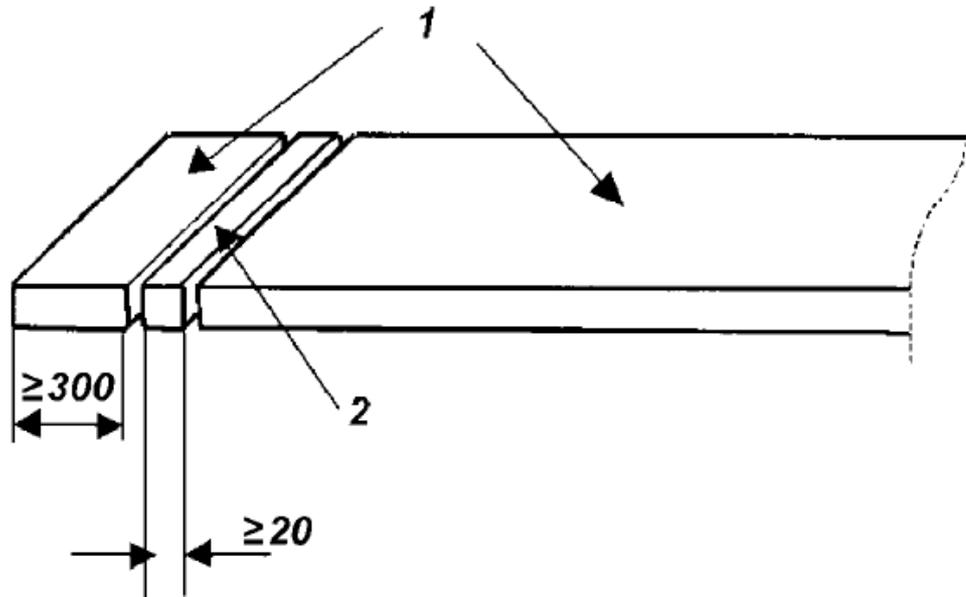
TÍTULO

Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada

Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa

MEDICIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LABORATORIO

Dimensiones en milímetros



1. PESAR LA MUESTRA AL MOMENTO DE CORTARLA (m_1)

2. SECAR A UNA TEMPERATURA DE 103 ± 2 °C

HASTA QUE LA DIFERENCIA ENTRE PESADAS SUCESIVAS EN UN INTERVALO DE 2 HORAS SEA MENOR DEL 0,1%

3. PESAR LA MUESTRA SECA (m_0)

CONTENIDO DE HUMEDAD

$$CH (\%) = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100$$

CH contenido de humedad

m_1 masa húmeda

m_0 masa seca

SECADO INDUSTRIAL



Fuente: www.nardi.it 2011

CONTENIDO DE HUMEDAD

norma española

UNE-EN 13183-2

Julio 2002

TÍTULO

Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada

Parte 2: Estimación por el método de la resistencia eléctrica

CONTENIDO DE HUMEDAD

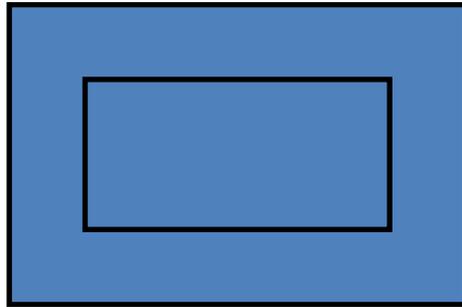
Xilohigrómetros (CH<30%)

1. El agua en la madera
2. Contenido de humedad
3. Humedad de equilibrio higroscópico
4. Estabilidad dimensional
5. Densidad

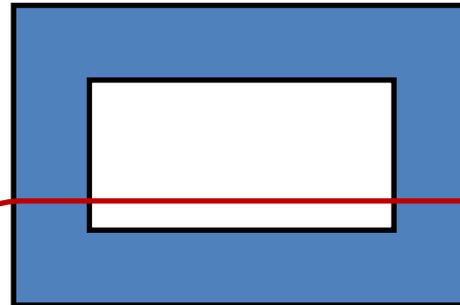
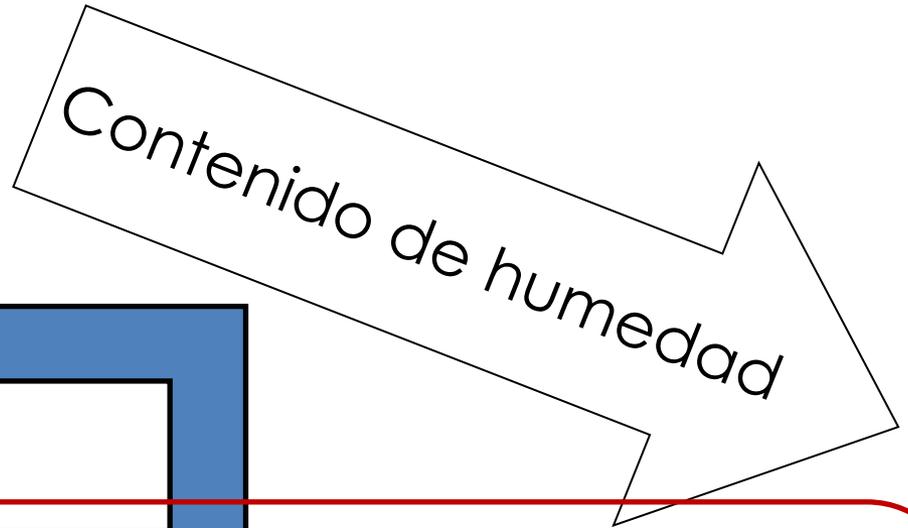
2.2. Propiedades físicas

HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO

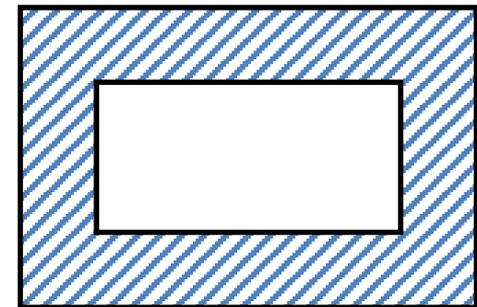
Por ser un material higroscópico, la madera tiende a absorber o perder agua en función de las condiciones del ambiente: humedad relativa y temperatura del aire



CH ~ 100%



Paredes saturadas de
Agua (CH ~ 30%)



Fibras en equilibrio
con el ambiente
CH ~ 15%

**Humedad de
equilibrio higroscópico**

HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO

Por ser un material higroscópico, la madera tiende a absorber o perder agua en función de las condiciones del ambiente: humedad relativa y temperatura del aire

Ejemplo 1

T^a ambiente:

20°C

Humedad relativa ambiental:

40%



HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO:

Contenido de humedad de la madera = **8%**

Ejemplo 2

T^a ambiente:

20°C

Humedad relativa ambiental:

65%



HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO:

Contenido de humedad de la madera = **12%**

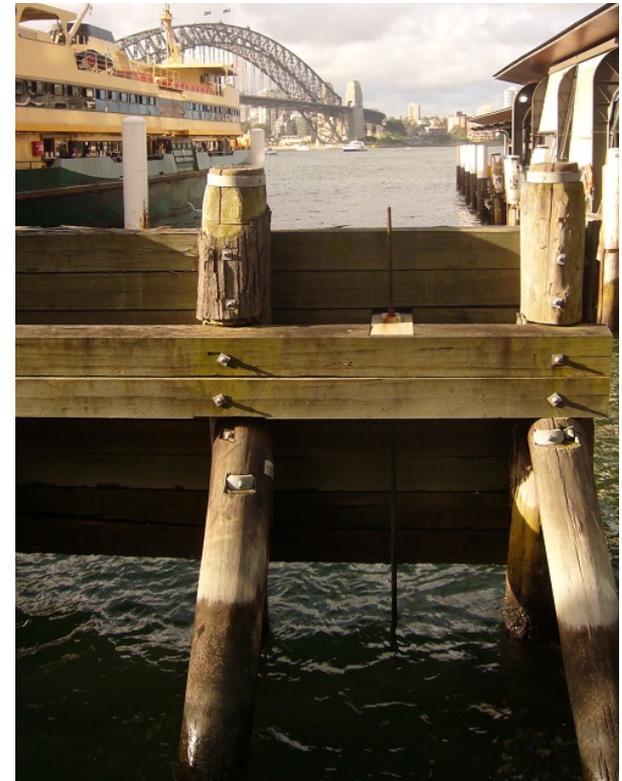
HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO

En obra, la madera deberá tener un contenido de humedad lo más parecido posible a las condiciones de equilibrio higroscópico.

Contenido de humedad aconsejable para diferentes condiciones de servicio:

Obras hidráulicas

30 %



HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO

En obra, la madera deberá tener un contenido de humedad lo más parecido posible a las condiciones de equilibrio higroscópico.

Contenido de humedad aconsejable para diferentes condiciones de servicio:

Obras hidráulicas

30 %

Medios muy húmedos

25-30 %



HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO

En obra, la madera deberá tener un contenido de humedad lo más parecido posible a las condiciones de equilibrio higroscópico.

Contenido de humedad aconsejable para diferentes condiciones de servicio:

Obras hidráulicas

30 %

Medios muy húmedos

25-30 %

Expuestas a la humedad (no cubiertas)

18-25 %



www.mediamadera.com

HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO

En obra, la madera deberá tener un contenido de humedad lo más parecido posible a las condiciones de equilibrio higroscópico.

Contenido de humedad aconsejable para diferentes condiciones de servicio:

Obras hidráulicas

30 %

Medios muy húmedos

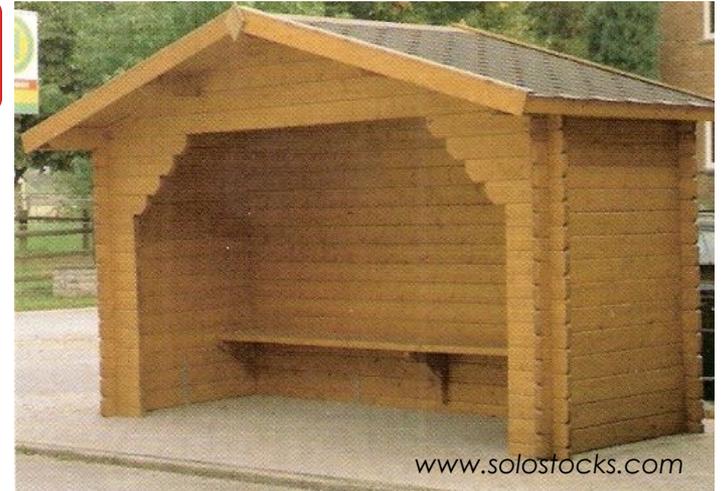
25-30 %

Expuestas a la humedad (no cubiertas)

18-25 %

Obras cubiertas pero abiertas

16-20 %



HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO

En obra, la madera deberá tener un contenido de humedad lo más parecido posible a las condiciones de equilibrio higroscópico.

Contenido de humedad aconsejable para diferentes condiciones de servicio:

Obras hidráulicas	30 %
Medios muy húmedos	25-30 %
Expuestas a la humedad (no cubiertas)	18-25 %
Obras cubiertas pero abiertas	16-20 %
Obras cubiertas y cerradas	13-17%

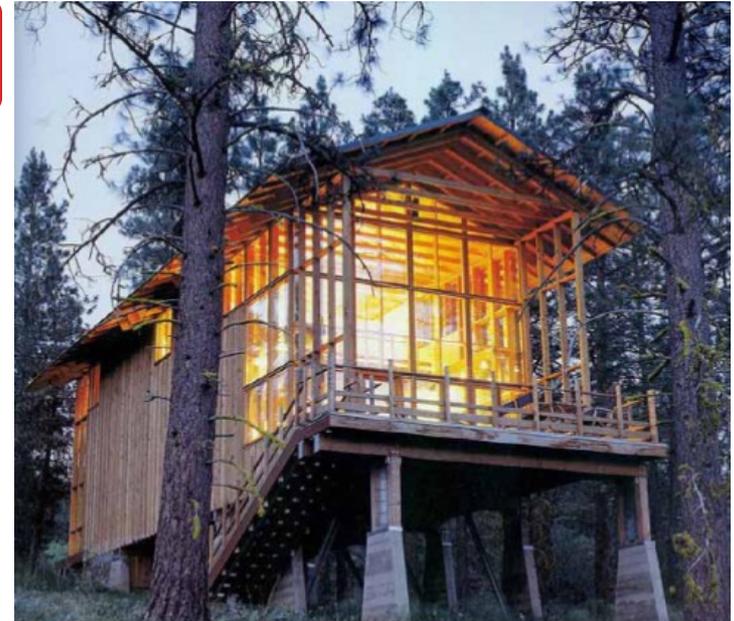


HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO

En obra, la madera deberá tener un contenido de humedad lo más parecido posible a las condiciones de equilibrio higroscópico.

Contenido de humedad aconsejable para diferentes condiciones de servicio:

Obras hidráulicas	30 %
Medios muy húmedos	25-30 %
Expuestas a la humedad (no cubiertas)	18-25 %
Obras cubiertas pero abiertas	16-20 %
Obras cubiertas y cerradas	13-17%
Local cerrado y calefactado	12-14 %



HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO

En obra, la madera deberá tener un contenido de humedad lo más parecido posible a las condiciones de equilibrio higroscópico.

Contenido de humedad aconsejable para diferentes condiciones de servicio:

Obras hidráulicas	30 %
Medios muy húmedos	25-30 %
Expuestas a la humedad (no cubiertas)	18-25 %
Obras cubiertas pero abiertas	16-20 %
Obras cubiertas y cerradas	13-17%
Local cerrado y calefactado	12-14 %
Local con calefacción continua	10-12 %

HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO

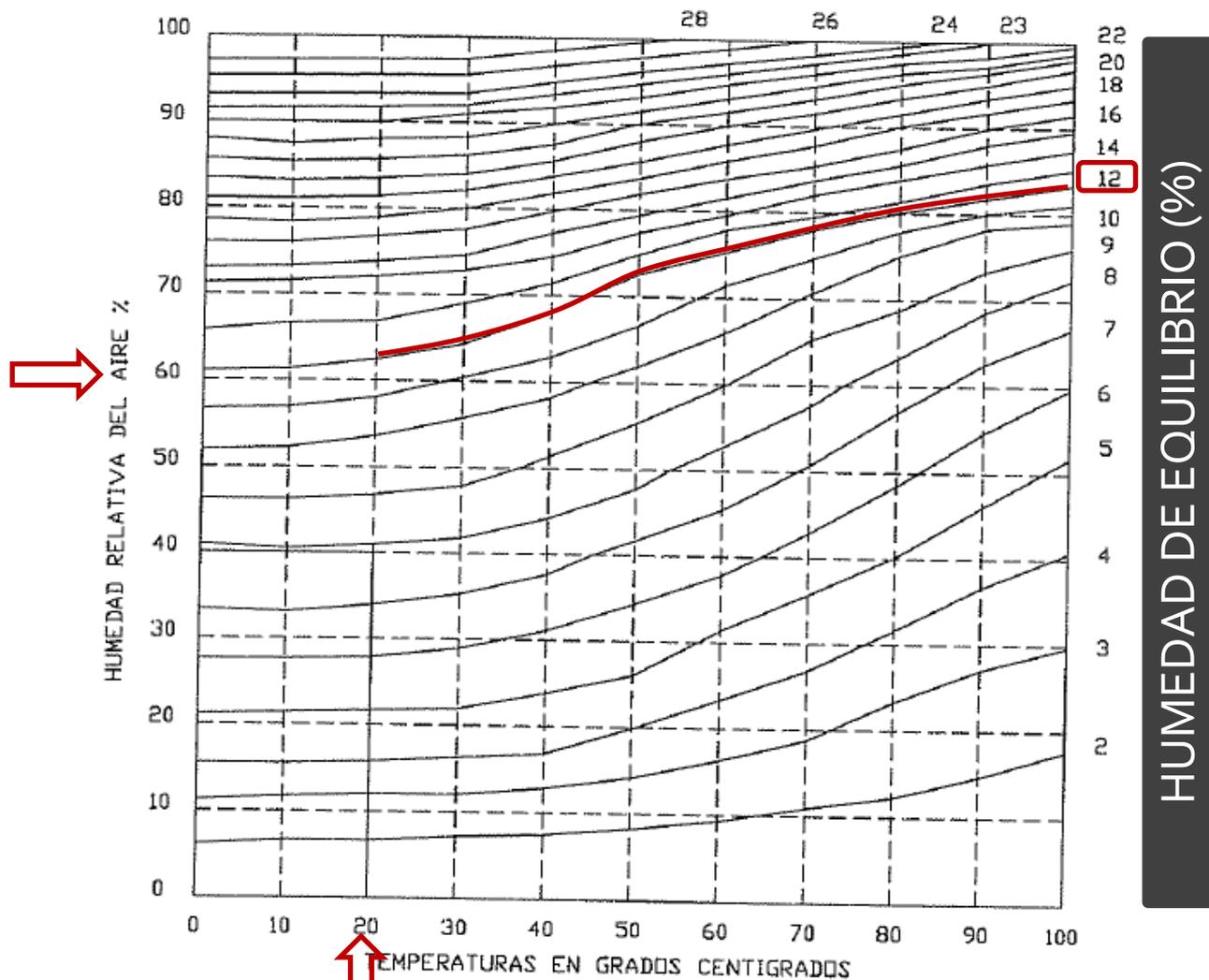
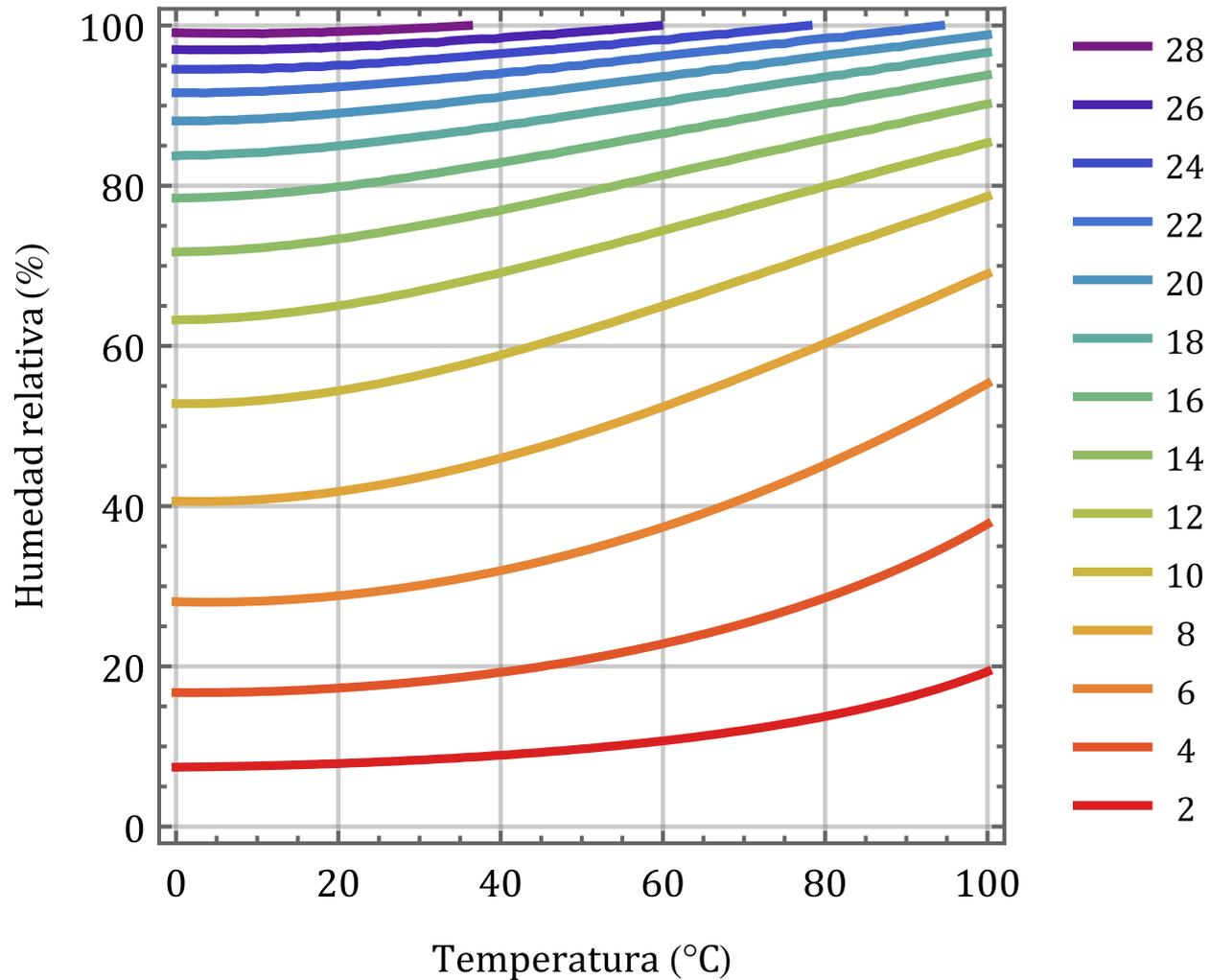


Figura 2.1. Curvas de equilibrio higroscópico de la madera.

Fuente: Argüelles et al. 1996

HUMEDAD DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO



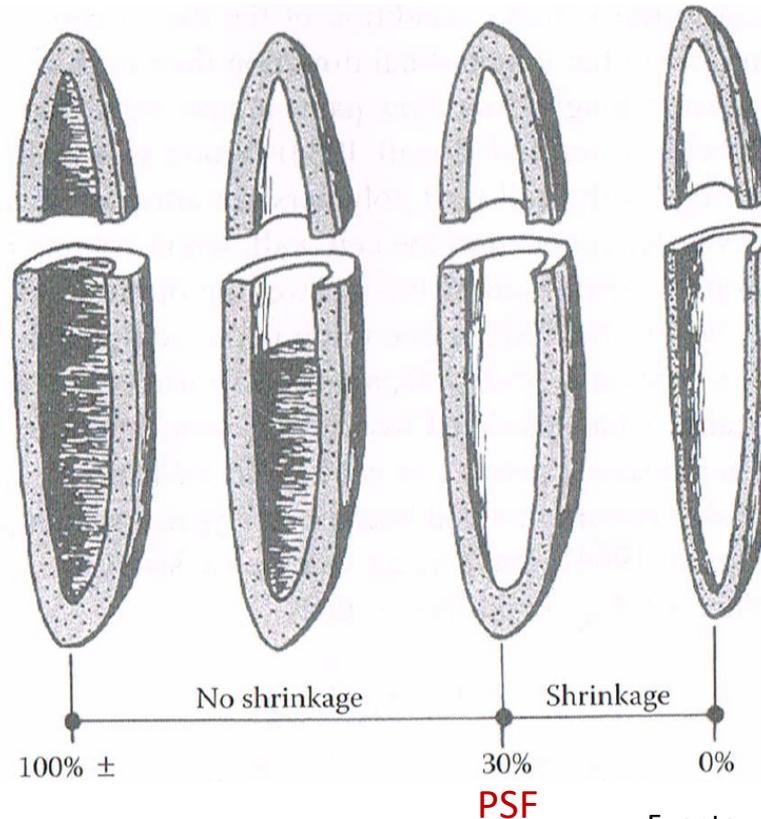
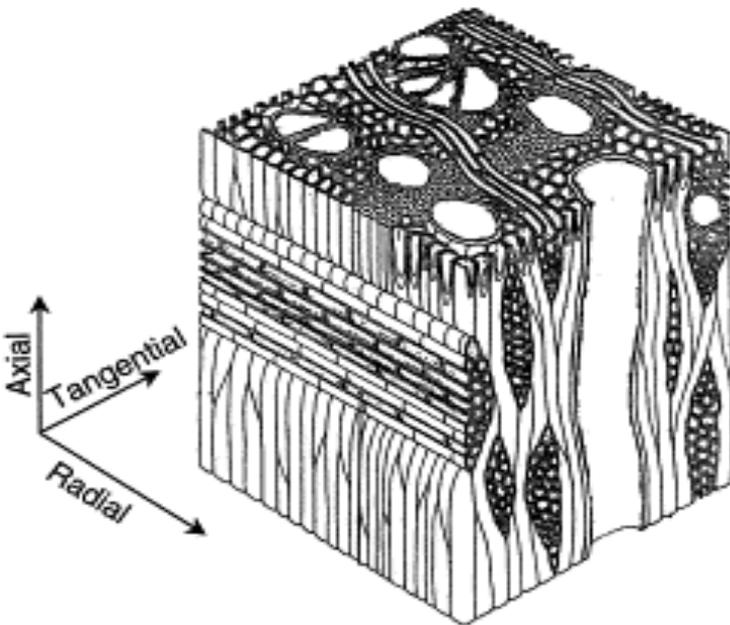
Fuente: Simpson 1973

1. El agua en la madera
2. Contenido de humedad
3. Humedad de equilibrio higroscópico
4. Estabilidad dimensional
5. Densidad

2.2. Propiedades físicas

ESTABILIDAD DIMENSIONAL

Cuando el contenido de humedad de la madera se encuentra por debajo del punto de saturación de la fibra (P.S.F.=30%), tienen lugar los siguientes fenómenos:



www.sciencedirect.com

Fuente: modificado Rowell 2013

ESTABILIDAD DIMENSIONAL

Como la madera es un material anisótropo, las variaciones dimensionales son diferentes en cada dirección de la fibra:

dirección tangencial

la que más varía



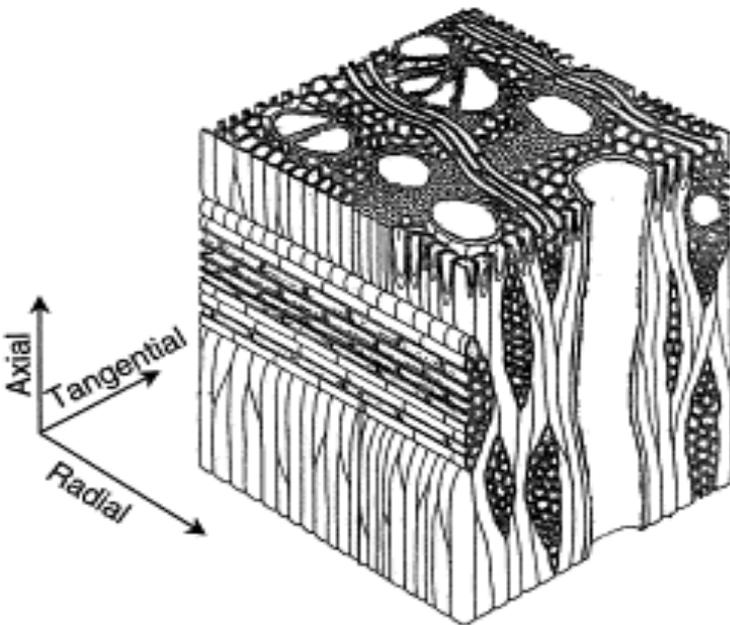
dirección radial

50-60% de d. tangencial

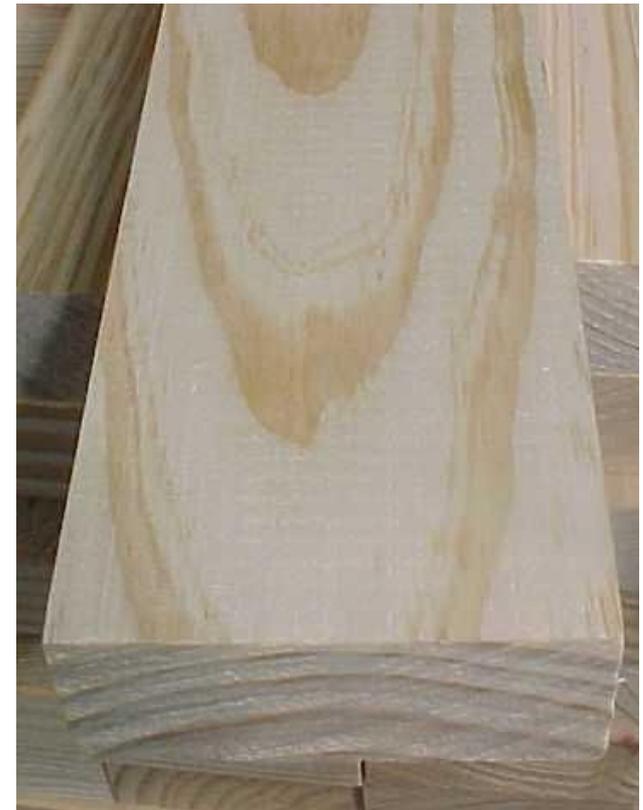


dirección longitudinal

despreciable: 2-4% de la d. radial



www.sciencedirect.com



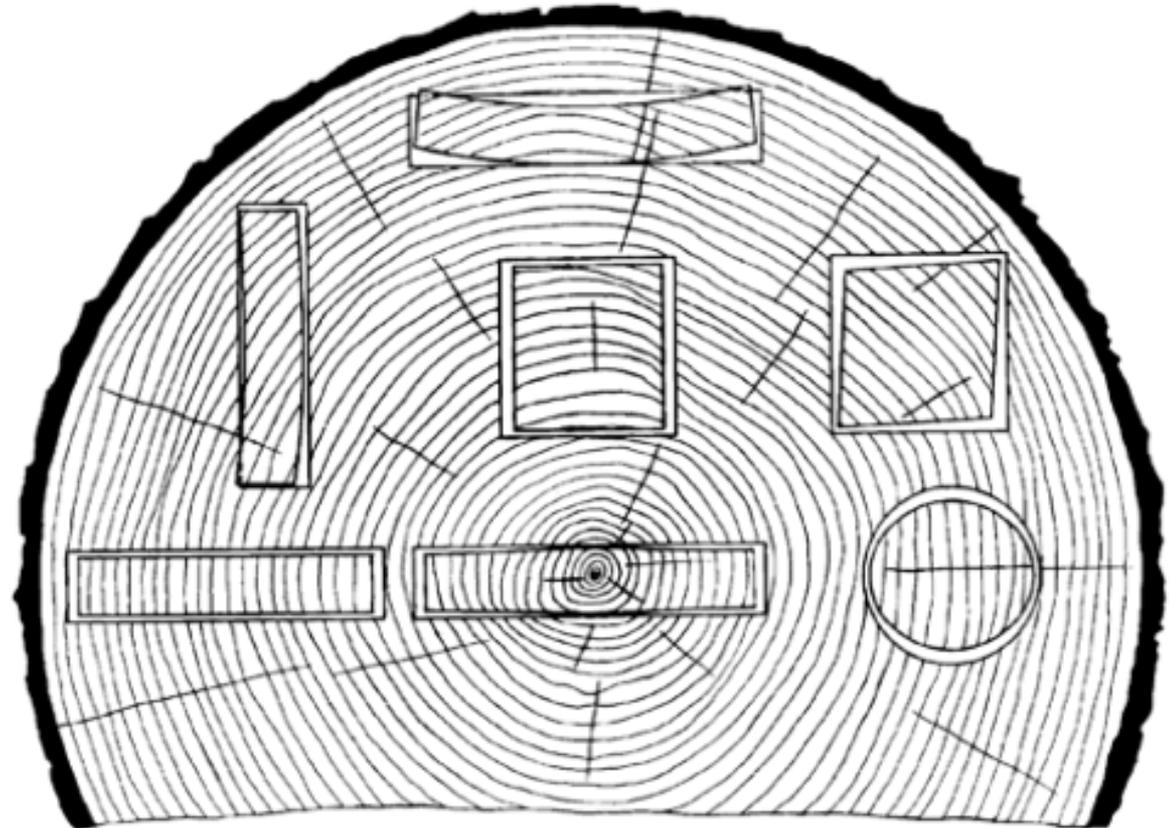
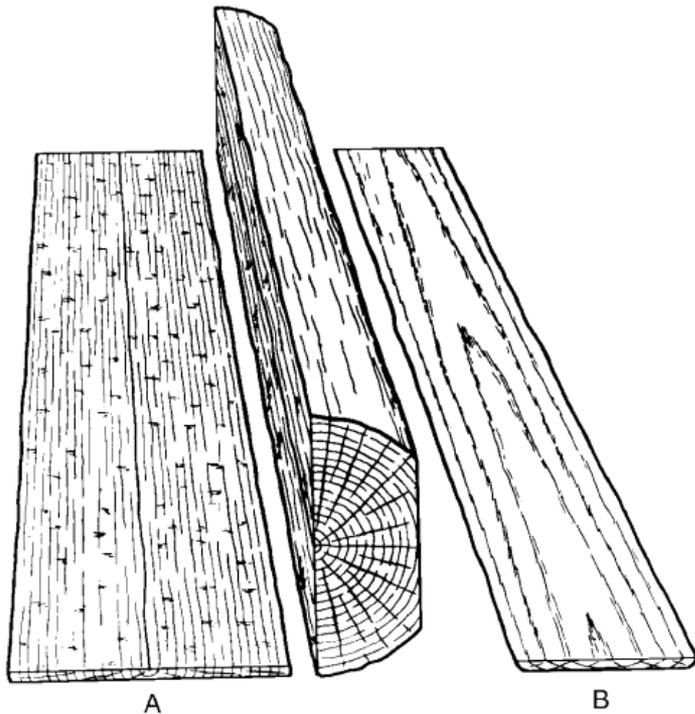
ESTABILIDAD DIMENSIONAL

Hinchazón



ESTABILIDAD DIMENSIONAL

Contracción



Fuente: USDA FPL 2010

ESTABILIDAD DIMENSIONAL

CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA

Variación de volumen entre el estado saturado y el estado anhidro (%)

$$C_v = \frac{V_s - V_0}{V_0} 100$$

V_s , volumen de la probeta saturada en agua

V_0 , volumen de la probeta en estado anhidro

COEFICIENTE DE CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA

Variación de volumen que experimenta la madera cuando existe una variación de humedad de un 1% (%). Es casi constante cuando la humedad de la madera es menor al PSF.

$$v = \frac{V_s - V_0}{V_0 H} 100$$

V_h , volumen de la probeta con una humedad H (%)

V_0 , volumen de la probeta en estado anhidro

H, contenido de humedad de la madera

ESTABILIDAD DIMENSIONAL

CONTRACCIÓN RADIAL Y TANGENCIAL

$$R = \frac{R_s - R_0}{R_0} 100 \quad T = \frac{T_s - T_0}{T_0} 100$$

R_s , longitud radial de la probeta saturada en agua

R_0 , longitud radial de la probeta en estado anhidro

T_s , longitud tangencial de la probeta saturada en agua

T_0 , longitud tangencial de la probeta en estado anhidro

COEFICIENTE DE CONTRACCIÓN RADIAL Y TANGENCIAL

$$v_R = \frac{R_h - R_0}{R_0 H} 100 \quad v_T = \frac{T_h - T_0}{T_0 H} 100$$

R_h , longitud radial de la probeta con una humedad H (%)

R_0 , longitud radial de la probeta en estado anhidro

T_h , longitud tangencial de la probeta con una humedad H (%)

T_0 , longitud tangencial de la probeta en estado anhidro

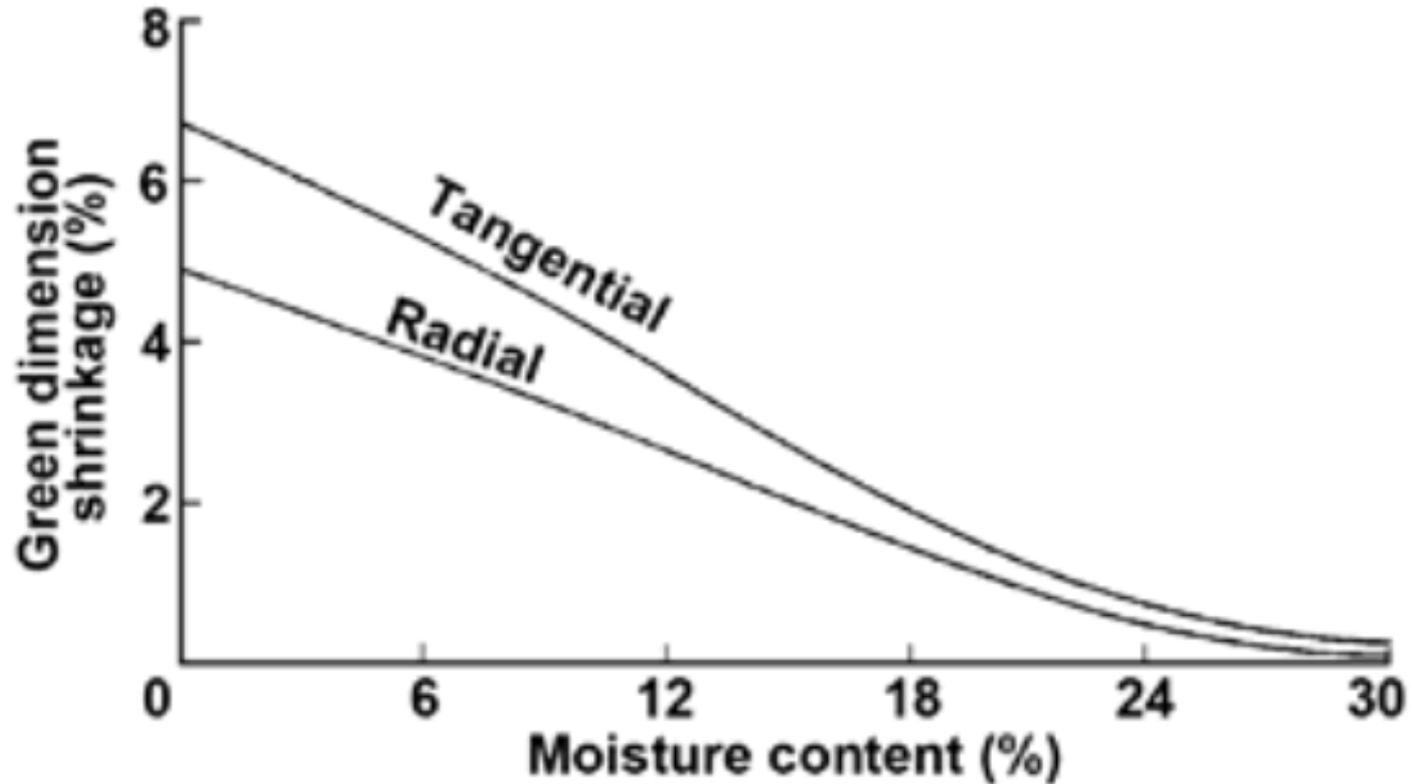
H, contenido de humedad de la madera

Para el pino silvestre estos valores son aproximadamente:

$$\begin{array}{ll} C_v \dots\dots\dots 12 \% ; & v \dots\dots\dots 0,37 \%/\% \\ R \dots\dots\dots 3,85 \% ; & v_r \dots\dots\dots 0,12 \%/\% \\ T \dots\dots\dots 6,82 \% ; & v_t \dots\dots\dots 0,21 \%/\% \end{array}$$

ESTABILIDAD DIMENSIONAL

Contracción



Fuente: USDA FPL 2010

ESTABILIDAD DIMENSIONAL

La merma de la madera puede tener repercusiones en la seguridad de la estructura:

Tensiones originadas en los medios de unión

Desajustes y holguras en los medios de unión

Aparición de fendas de secado



1. El agua en la madera
2. Contenido de humedad
3. Humedad de equilibrio higroscópico
4. Estabilidad dimensional
5. Densidad

2.2. Propiedades físicas

DENSIDAD

La densidad de la madera se mide como la relación entre masa y volumen referida a un contenido de humedad de referencia del 12%

Densidad de la madera para diferentes especies (Kg/m³)

Coníferas		Fronosas		Tropicales	
Pino silvestre	500-540	Eucalipto glob.	740-830	Iroko	630-670
Abeto blanco	440-480	Castaño	540-650	Tatajuba	800
Picea abies	440-470	Roble europeo	670-760	Teca	650-750
Abeto Douglas	470-520	Haya	690-750	Jatoba	955-970
Pino pinaster	530-550	Roble americano	650-790	Sucupira	915
Pino taeda Uruguay	~400	Eucalipto grandis Uruguay	~500		

Referencias

- Bulian, F. y Graystone, J. (2009) Wood coatings. Theory and practice. Elsevier, Amsterdam
- CETEMAS (2011) Curso “Máster de Rehabilitación en Edificación. Restauración de la Madera. Patología y su tratamiento”. Fundación Laboral de la Construcción del Principado de Asturias. España
- Dieste A, Krause A, Mai C, et al. (2009) Modification of *Fagus sylvatica* L. with 1,3-dimethylol-4,5-dihydroxy ethylene urea (DMDHEU). Part 2: Pore size distribution determined by differential scanning calorimetry. *Holzforschung* 63:89–93.
- Dieste A, Krause A, Mai C, Militz H (2010) The calculation of EMC for the analysis of wood/water relations in *Fagus sylvatica* L. modified with 1,3-dimethylol-4,5-dihydroxyethylenurea. *Wood Sci Technol* 44:597–606.
- Fernández, K. (2011) Determinación de las propiedades físicas de la madera de castaño de procedencia asturiana en función del contenido de humedad. Proyecto de fin de carrera. Ingeniería Técnica Forestal. Universidad de Oviedo
- O’Neill H, Tarigo F, Trambauer C (2004a) Propiedades mecánicas de *Pinus taeda* L. del litoral de Uruguay. 48 p.
- O’Neill H, Tarigo F, Iraola P (2004b) Propiedades mecánicas de *Eucalyptus grandis* H. del norte de Uruguay. 45 p.
- Skaar, C. (1988) Wood-Water Relations. Springer-Verlag. Berlin, Heiderlberg, Alemania
- USDA Forest Product Laboratory (2010) Wood Handbook - Wood as Engineering Material. General Technical. Madison, EEUU
- Wagenführ y Scholz (2008). Taschenbuch der Holztechnik. Hanser, Alemania
- Williams, R. (2005) Weathering of wood. In: Handbook of wood chemistry and wood composites. CRC, Boca Ratón



EJERCICIOS

Letra

Examen marzo 2021

Ejercicio 2

Se está estudiando la influencia de la variación de humedad en una estructura particular, fabricada de madera aserrada de pino (*Pinus elliotii/taeda*) nacional ($E_{mean} = 7.14$ GPa).

Parte a

Para conocer el contenido de humedad de la madera aserrada, se somete una probeta al ensayo de determinación de la humedad por el método de secado en estufa. Al cortar la probeta, esta tiene una masa de 0.596 kg; mientras que luego de secarla en estufa, la masa pasa a ser 0.548 kg.

Determinar el estiramiento en la dirección perpendicular a la fibra que experimentará un taco de 11 cm de lado en un ambiente con una temperatura de 20° C y una humedad relativa de 80 %. Para ello, considerar las curvas higroscópicas de Simpson (1973) (ver diapositivas y tomar el valor redondo en %), y asumir un único coeficiente de contracción radial y tangencial, igual a 0.17. Expresar el valor en mm, con dos cifras después de la coma.



GRACIAS POR
LA ATENCIÓN

FACULTAD DE
INGENIERIA

