



Maderaula

cese**for**



Aula de formación Construcción Eficiente con Madera



Especialista en cálculo y diseño estructural de construcciones en entramado ligero de madera





Maderaula cese**for**



Aula de formación Construcción Eficiente con Madera



Con la colaboración de:



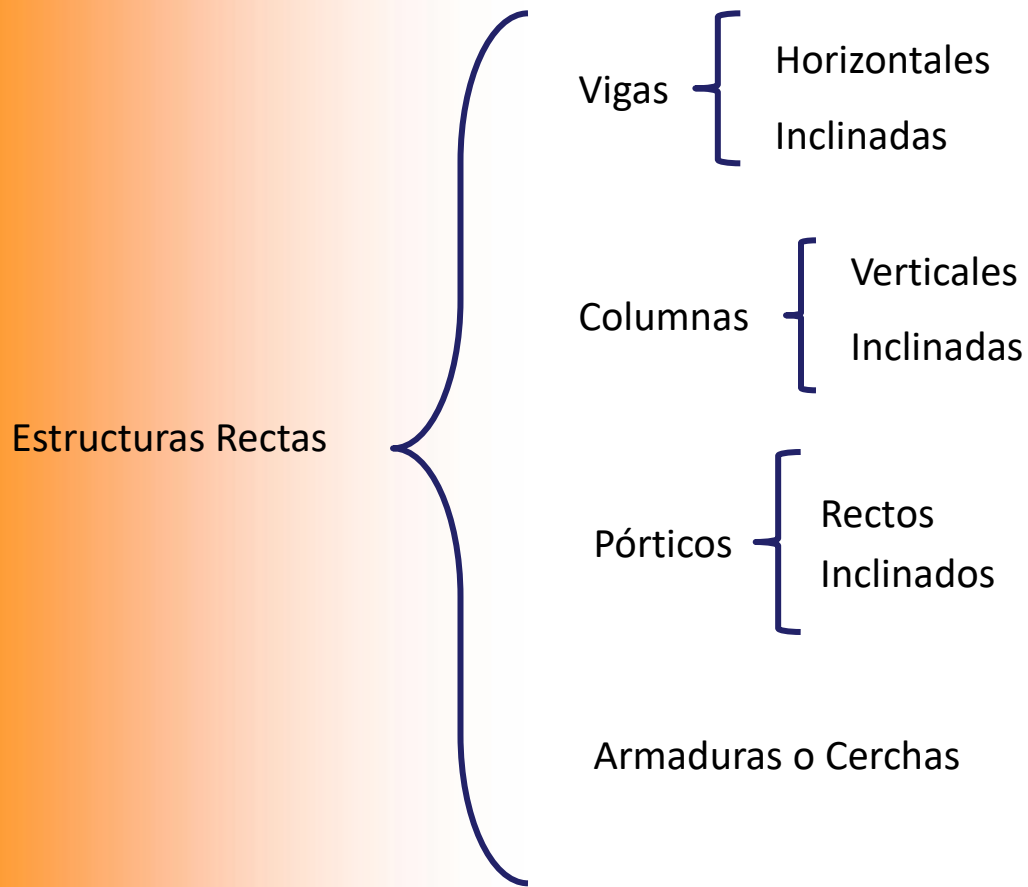
BASES DE CÁLCULO

CURSO DE CONSTRUCCIÓN CON MADERA

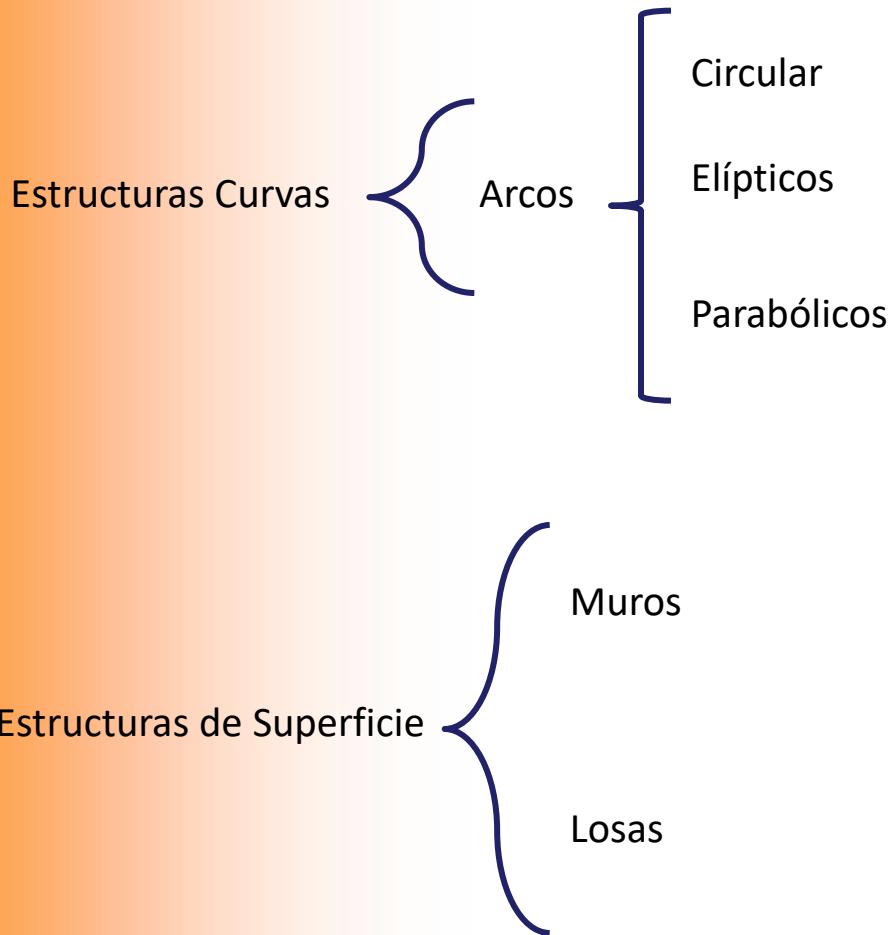
BASES DE CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE MADERA

3.1. ESFUERZOS Y TRANSMISIÓN DE CARGAS

Clasificación de estructuras



Clasificación de estructuras



Clasificación de estructuras. Estructuras rectas. Vigas



Fuente: https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss_desarrollo_foresto_industrial/madera_y_construccion/sistema-entramado/



Fuente: <https://e-struc.com/2015/04/08/como-calculer-con-e-struc-una-viga-de-madera/>

Clasificación de estructuras. Estructuras rectas. Columnas



Fuente: <https://tallerkaruna.org/sistema-con-estructura-de-madera-postes-y-vigas/>



Fuente: Alfonso Barreiro, Roberto

Clasificación de estructuras. Estructuras rectas. Pórticos



<http://blogtecnicodelamadera.blogspot.com>



Fuente: <https://www.nexesl.es/naves-est%C3%A1ndar/ganadera-tipo-ii/>



Fuente: <https://socotex.es/>

Clasificación de estructuras. Estructuras rectas. Armaduras o cerchas



Fuente: <https://www.sinergia.tech/como-funciona-una-cercha/>



Fuente: <https://www.ochiltimber.com/our-products/roof-trusses.aspx>

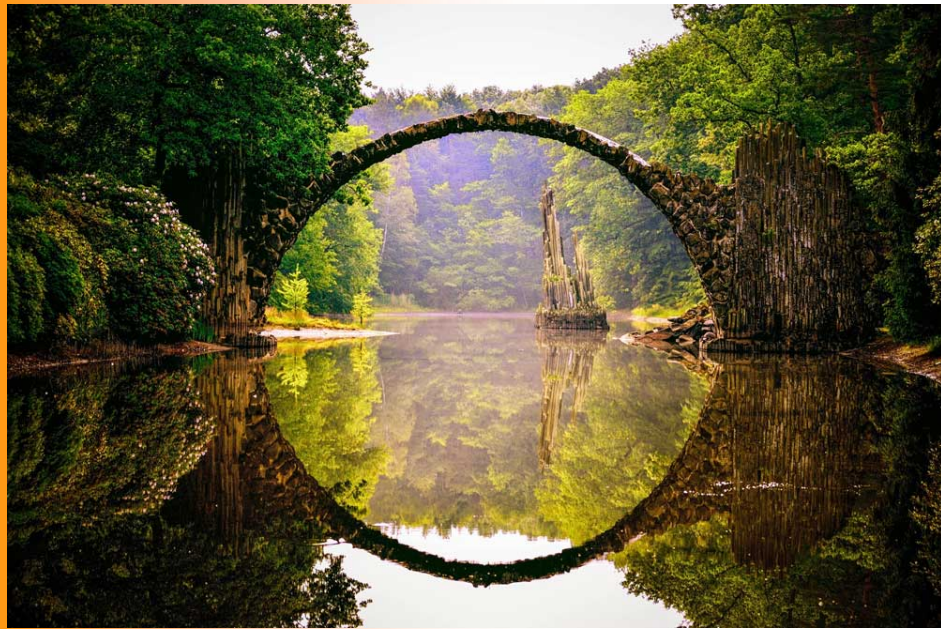


Fuente: <https://buildingproductsplus.com/timber-trusses-beams/>



Fuente: <https://constructionreviewonline.com/news/institute-for-timber-construction-south-africa-compliant-timber-roof-truss-construction/>

Clasificación de estructuras. Estructuras curvas. Arcos circulares



Fuente: <https://archivo.urgente24.com/282213-por-que-se-cree-que-algunos-puentes-de-europa-los-construyo-el-diablo>

Puentes de piedra, cimbra de madera



Fuente: <https://descubrecadadia.blogspot.com/2017/04/ruta-desde-el-puente-medieval-de-comboa.html>

Clasificación de estructuras. Estructuras curvas. Arcos elípticos



Fuente: <https://structurae.net/de/bauwerke/kintai-bruecke>



Clasificación de estructuras. Estructuras curvas. Arcos parabólicos



Fuente: <http://www.portalgaudi.cat/es/los-edificios/nau-gaudi-de-mataro/>



Fuente: <http://www.maderasdelrio.com/novedades/estructura-de-madera-laminada-56.html>



Fuente: <https://mediamadera.com/proyectos/4095-puente-de-4000-x-200-m-en-betanzos/>

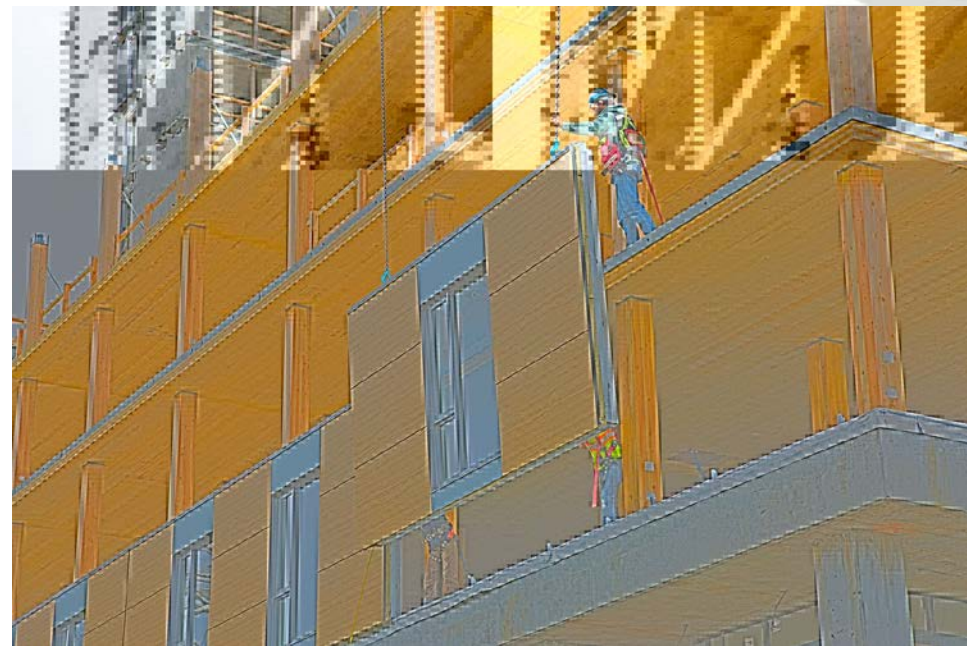


Fuente: <http://www.tublogdearquitectura.com/wp-content/uploads/2012/03/Bodegas-Protos-6.jpg>

Clasificación de estructuras. Estructuras de superficie. Muros



Fuente: <https://www.istockphoto.com/es/search/2/image?phrase=muro+de+contenci%C3%B3n+de+madera>



Fuente: <https://www.thinkwood.com/blog/supporting-tall-mass-timber-buildings-in-the-ibc>



Fuente: https://www.freepik.es/fotos-premium/construccion-casa-modular-nueva-moderna-paredes-hechas-paneles-sorbos-madera-compuestos-aislamiento-espuma-poliestireno-interior_8141519.htm#&position=3

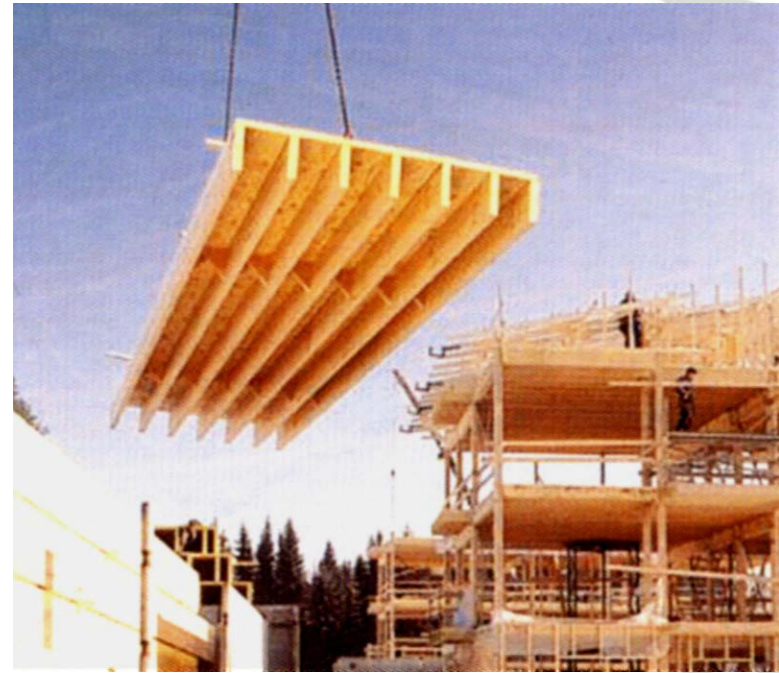


Fuente: <https://www.istockphoto.com/es/search/2/image?phrase=muro+de+contenci%C3%B3n+de+madera>

Clasificación de estructuras. Estructuras de superficie. Losas



Fuente: <https://tectonica.archi/materials/prefabricados-de-madera-para-forjados-de-grandes-luces/>



Fuente: <http://enrique.nuere.es/blog/?author=1>



Fuente: <https://www.construible.es/2012/10/05/egoin-recibe-la-certificacion-minergie-para-su-proyecto>



Fuente: <https://egoin.com/dos-villas-la-costa-del-sol/>

Esfuerzos

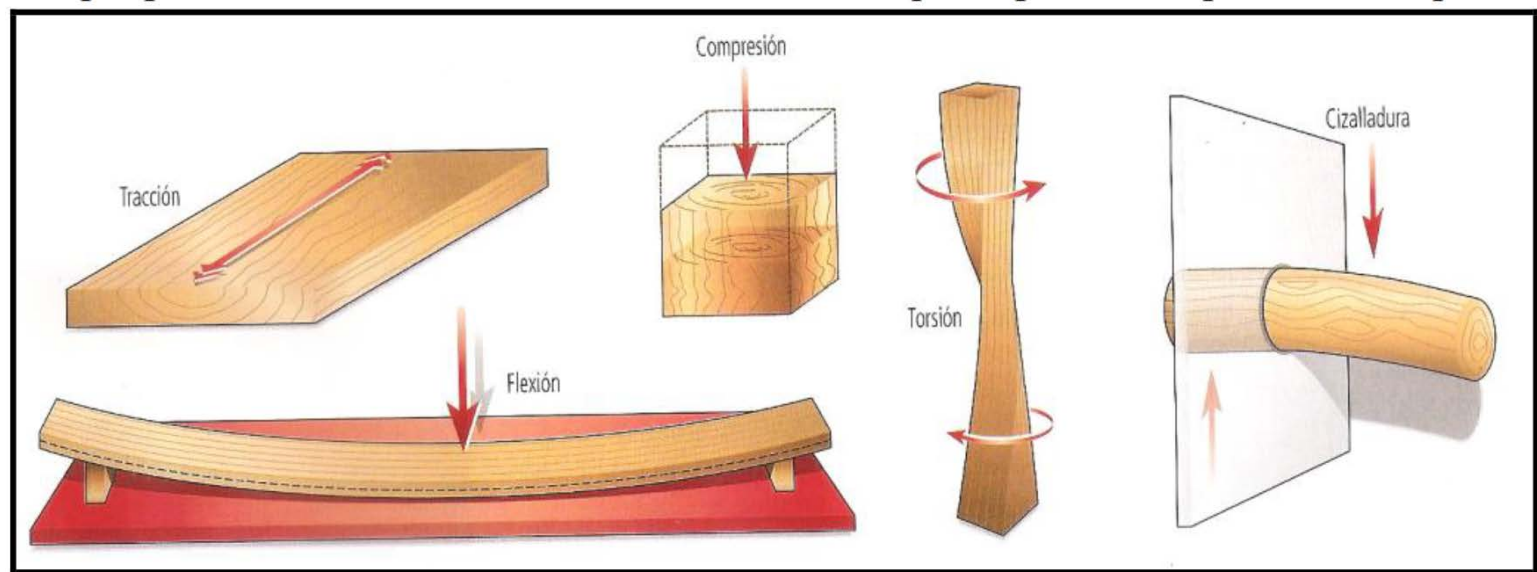
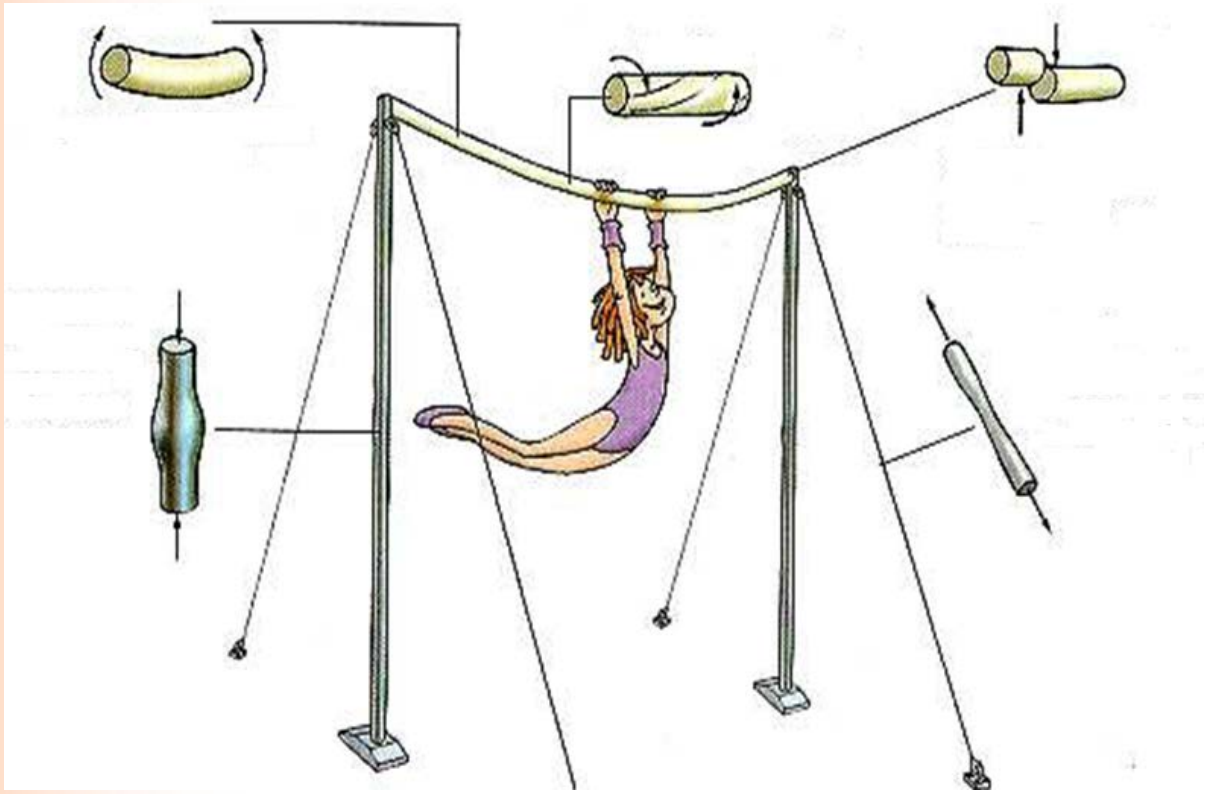
Las **acciones** que soportan las estructuras generan **fuerzas internas** en la propia estructura que tienden a deformarla y/o romperla. A estas fuerzas internas producidas por las acciones externas se denominan **esfuerzos**.

Dependiendo del modo en que trabaje una pieza estructural, ésta puede estar sometida a **5 esfuerzos distintos o a una combinación de los mismos** debido a la acción conjunta de varios esfuerzos.

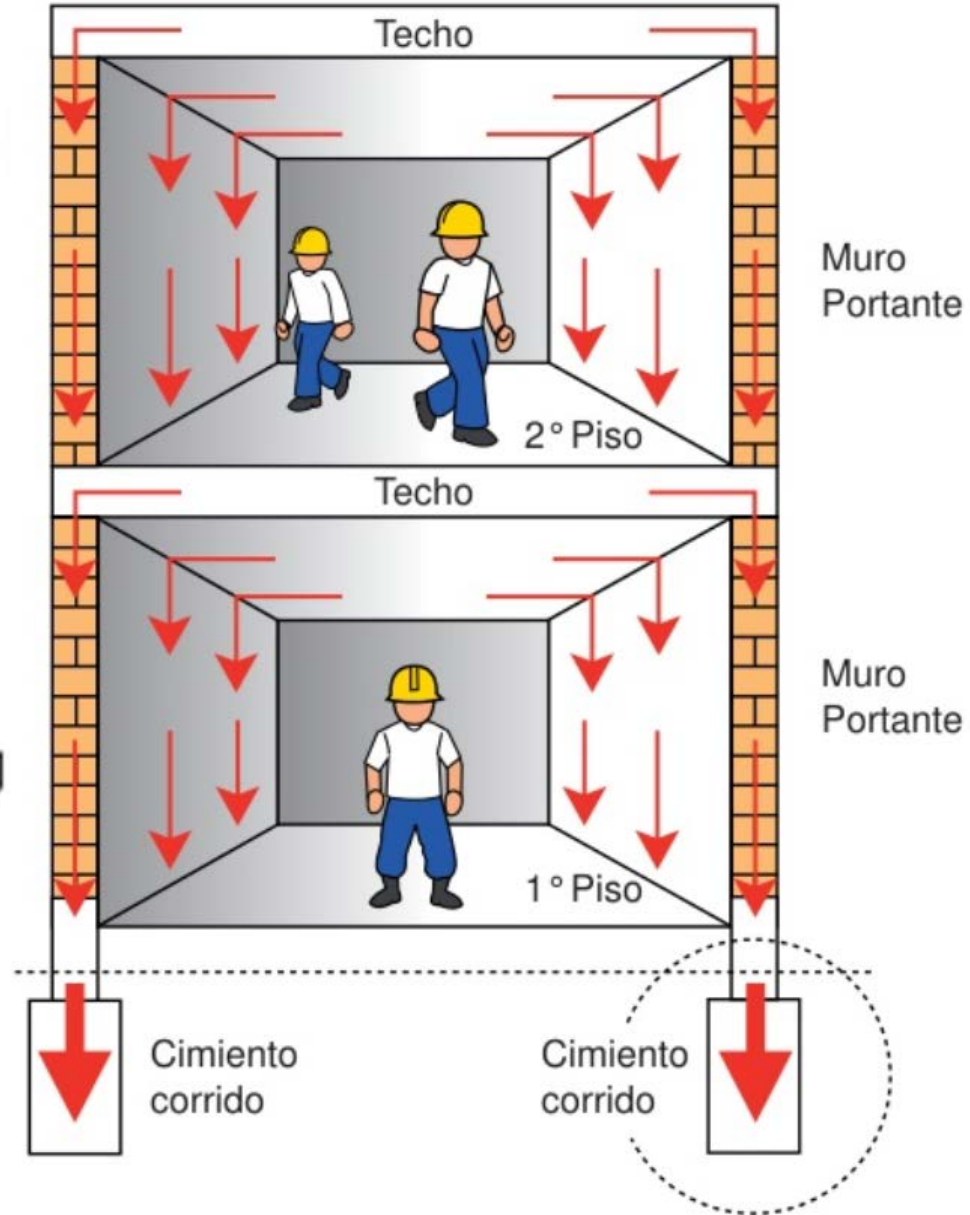
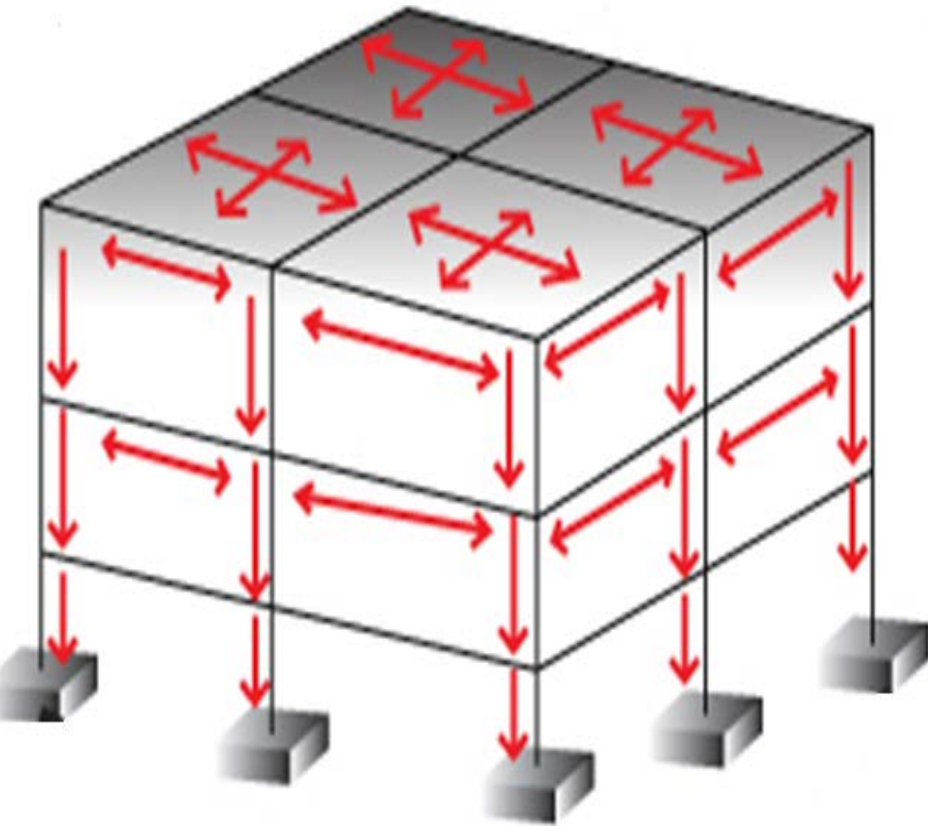
Los esfuerzos pueden ser de:

1. Tracción
 2. Compresión
 3. Flexión
 4. Cortante
 5. Torsión
-

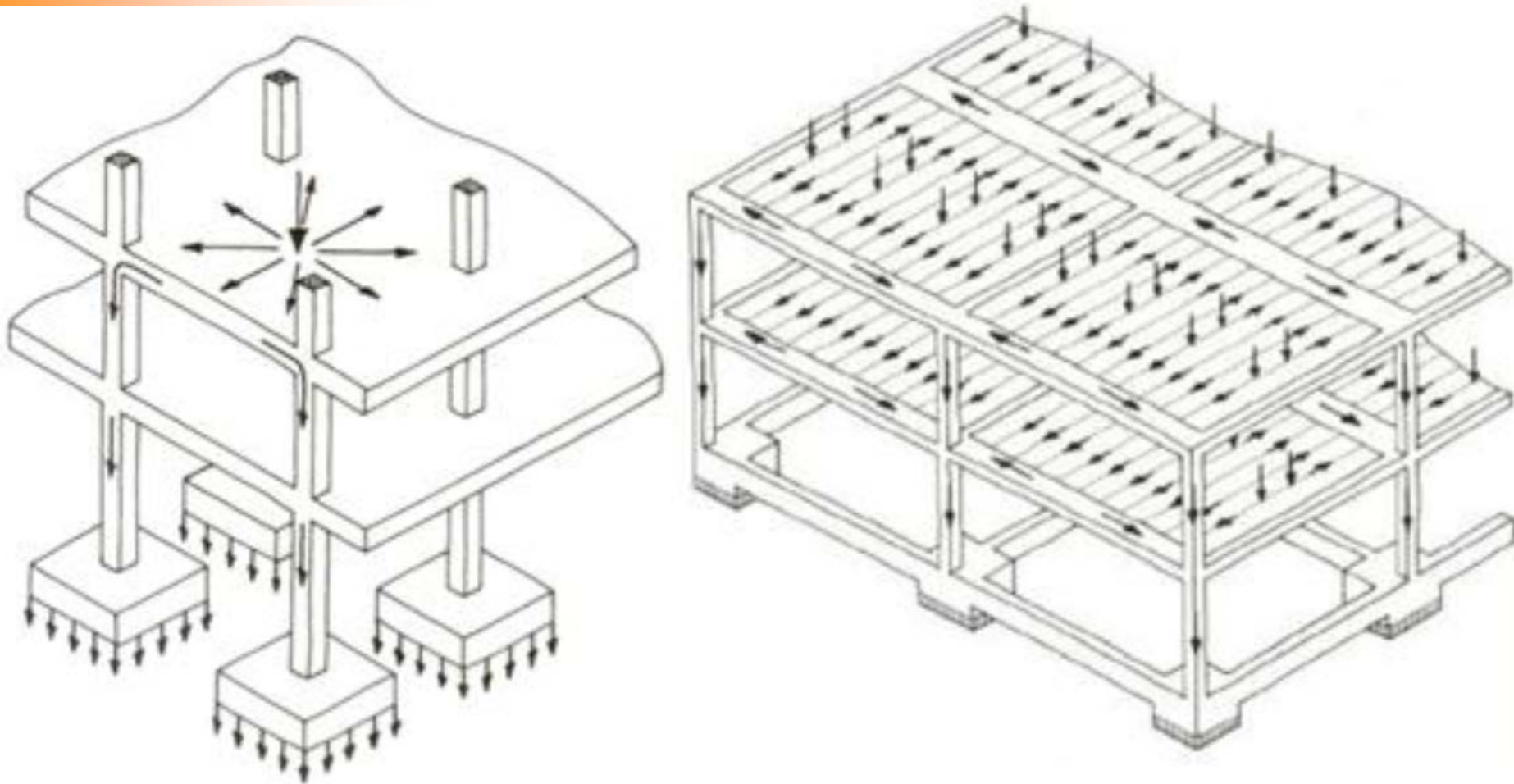
Esfuerzos. Resumen



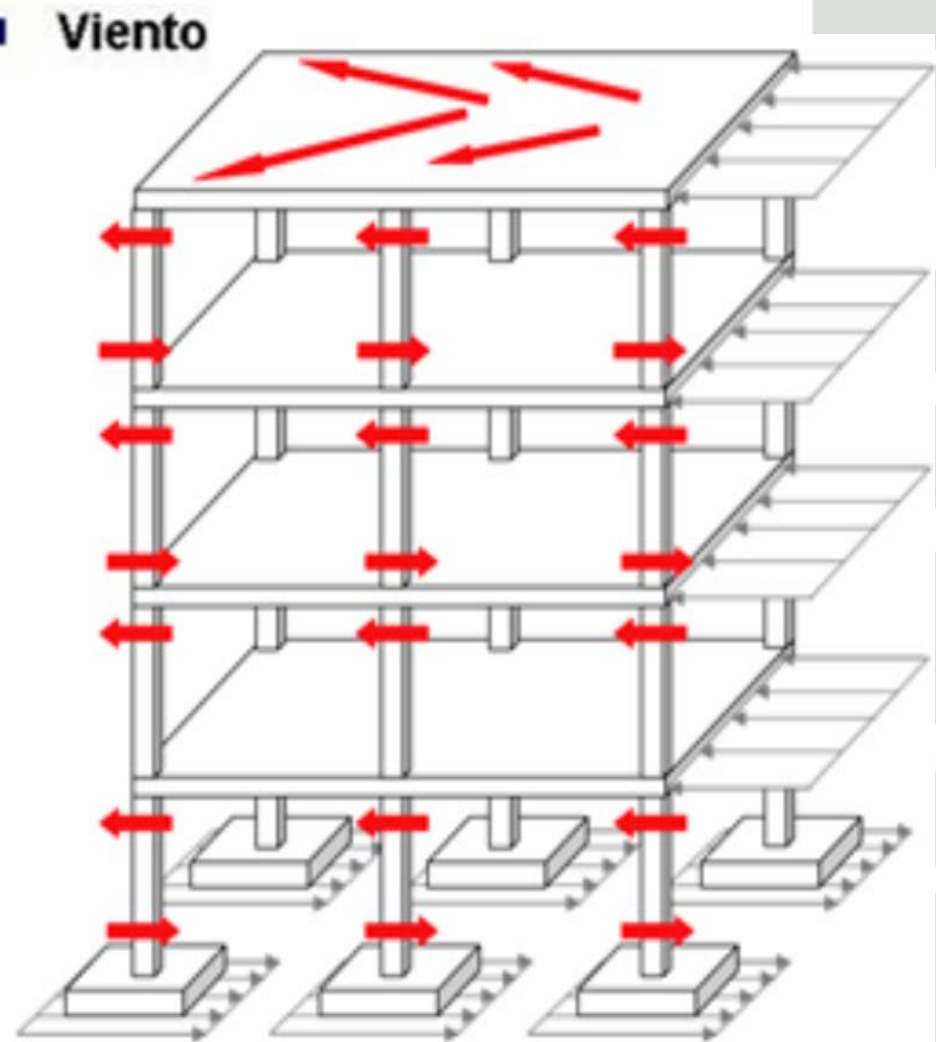
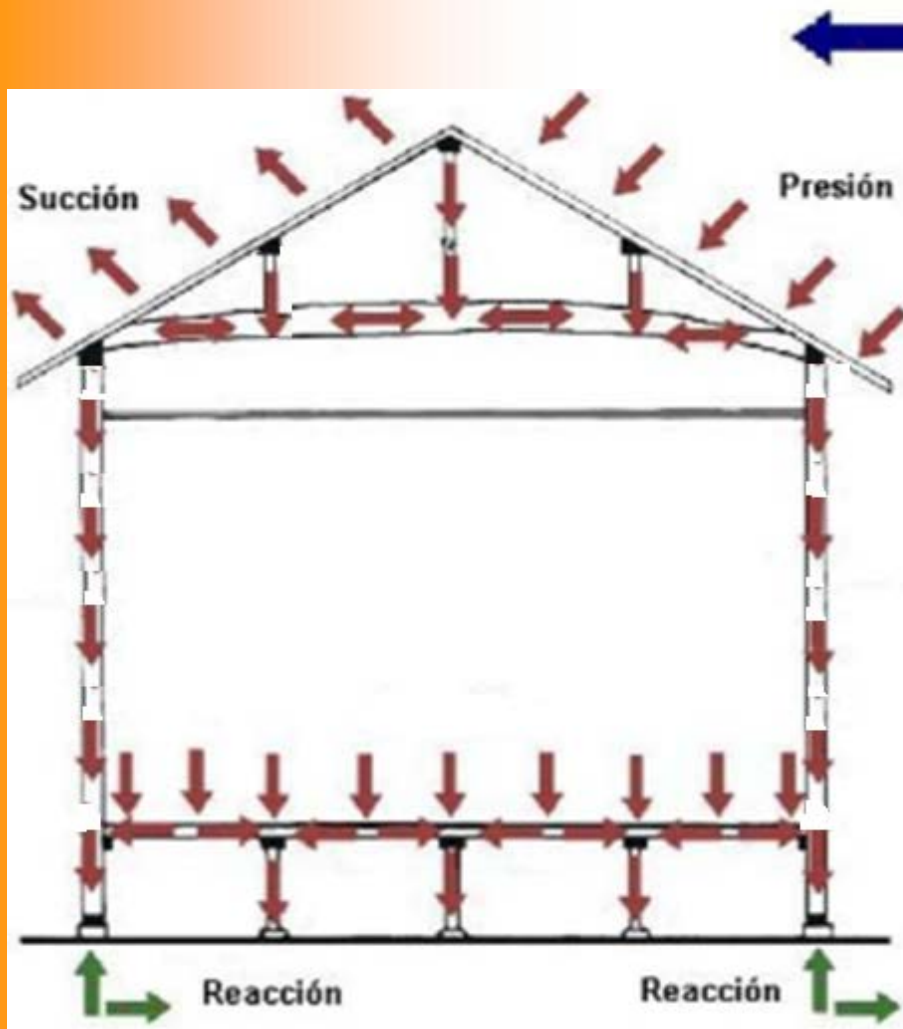
Transmisión de cargas en una estructura



Transmisión de cargas en una estructura

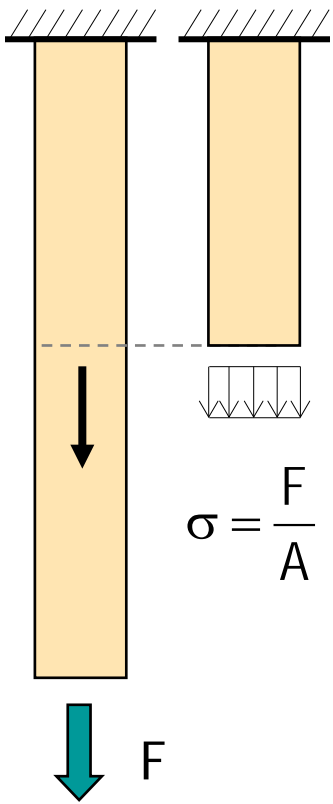


Transmisión de cargas en una estructura

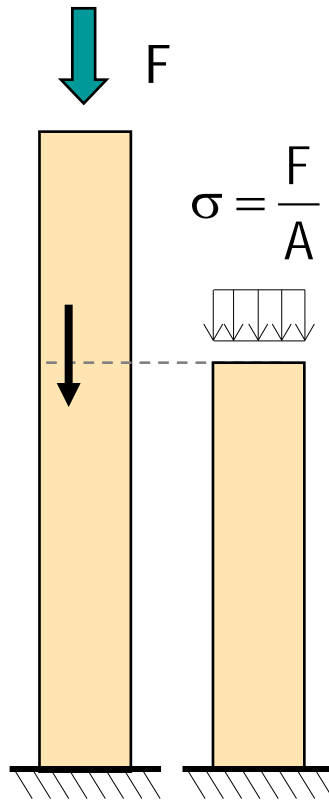


Tema 3. BASES DE CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE MADERA

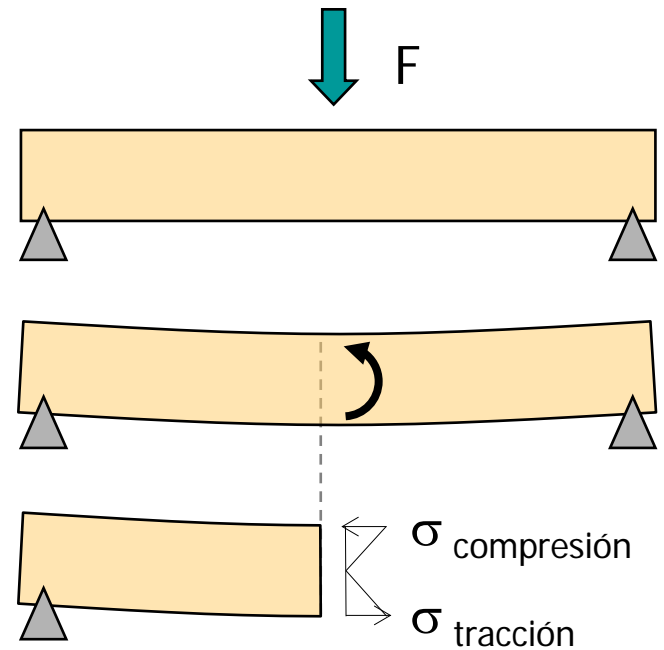
3.2. RELACIÓN ENTRE ESFUERZOS Y TENSIONES



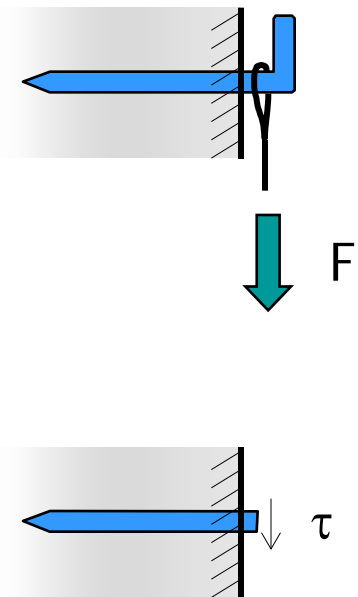
Un esfuerzo axial de tracción provoca una tensión normal de tracción



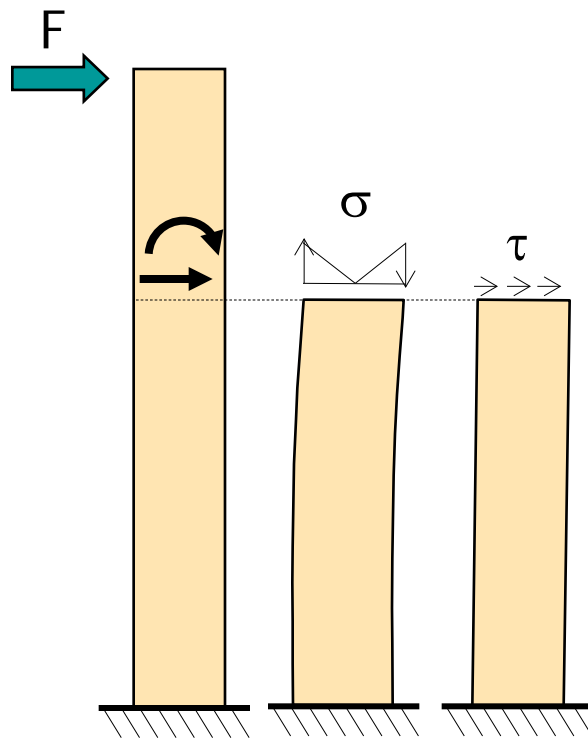
Un esfuerzo axial de compresión provoca una tensión normal de compresión



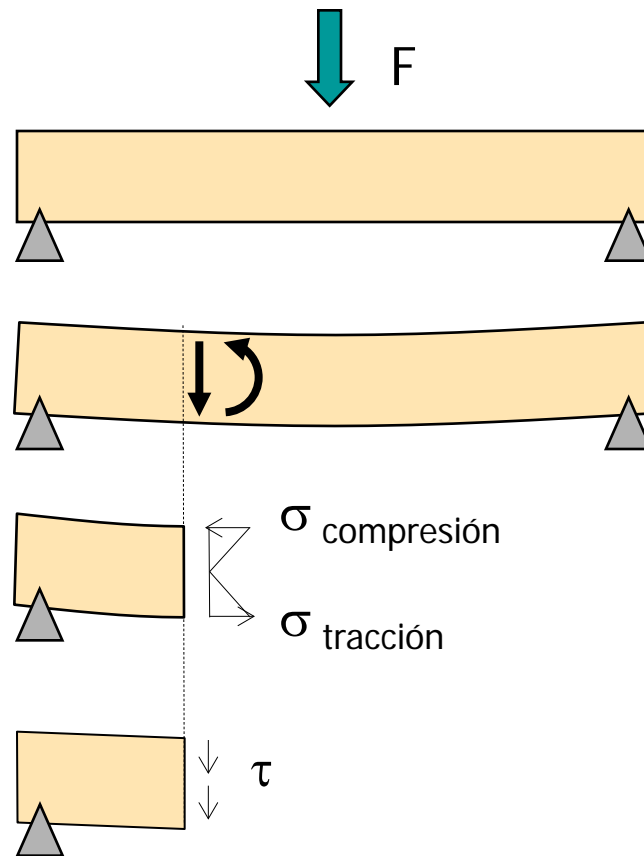
Un esfuerzo de flexión provoca una tensión normal de compresión (en la parte superior de la sección transversal de la pieza), y una tensión normal de tracción (en la parte inferior)



Un esfuerzo cortante provoca una tensión tangencial en la sección transversal de la pieza



Un esfuerzo de flexión+cortante provoca una tensión normal de compresión y de tracción + una tensión tangencial



Un esfuerzo de flexión+cortante provoca una tensión normal de compresión y de tracción + una tensión tangencial

Tema 3. BASES DE CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE MADERA

3.3. BASES DE CÁLCULO

Norma nacional (DE OBLIGADO CUMPLIMIENTO):

- Código Técnico de la Edificación (CTE).
CTE DB SE-AE (acciones en edificación)
CTE DB SE (combinación de acciones)
CTE DB SE-M (bases de cálculo madera y propiedades resistentes)

Norma europea (DE VOLUNTARIO CUMPLIMIENTO):

- Eurocódigo 5
-

Factores que influyen en las propiedades mecánicas

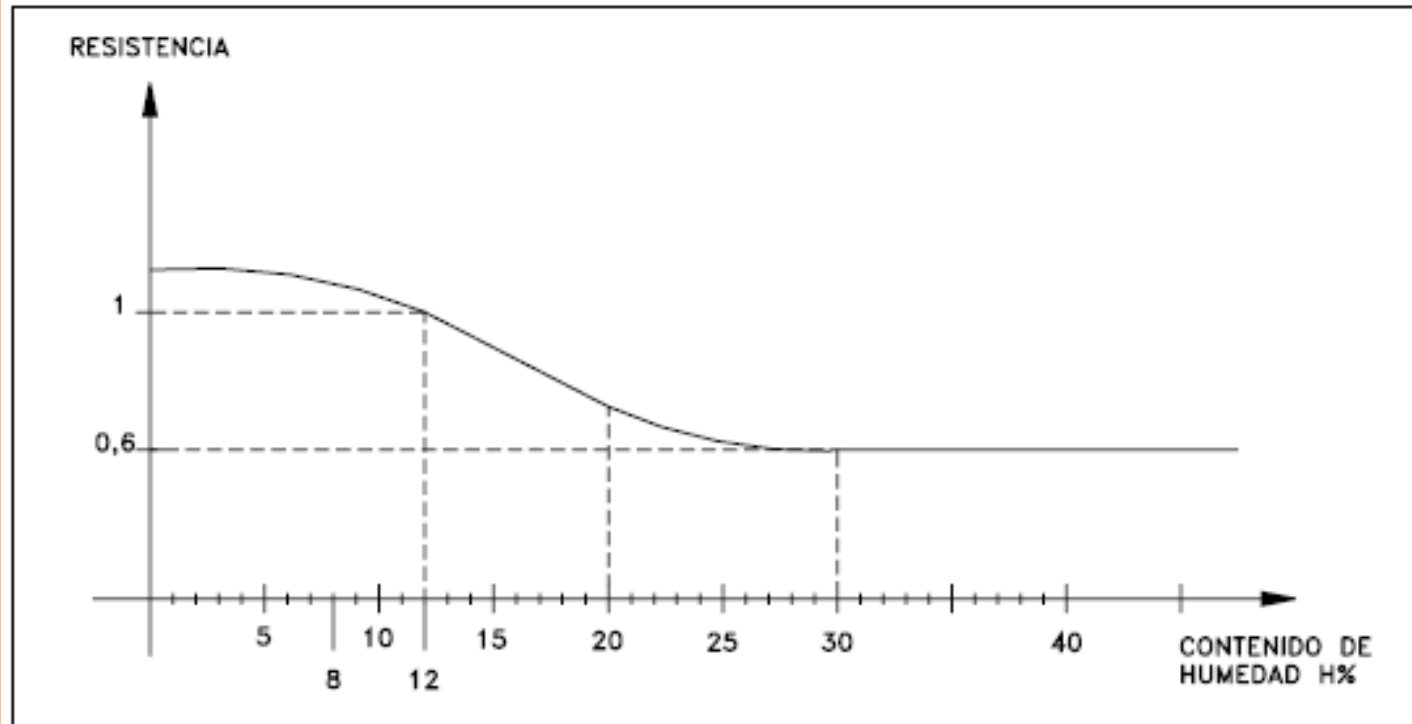
Contenido de humedad:

- Cuanto mayor sea el contenido de humedad de la madera menores son las resistencias.
- Clases de servicio.

Duración de la carga:

- Cuanto mayor sea la duración de la carga menores resistencias se alcanzan.
 - Clases de duración de la carga.
-

Contenido de humedad



Dado el contenido de humedad se dan diferentes clases de servicio y uso:

Las clases de servicio están relacionadas con las propiedades mecánicas de la madera: a más contenido de humedad menor resistencia mecánica

Las clases de uso están relacionadas con la degradación de la madera: valora la posible degradación de la madera ocasionada por los organismos xilófagos y servirán para definir el tipo de protección de la madera a aplicar.

2.2.2.2 Clases de servicio

- 1 Cada elemento estructural considerado debe asignarse a una de las clases de servicio definidas a continuación, en función de las condiciones ambientales previstas:
 - a) clase de servicio 1. Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 65% unas pocas semanas al año.
 - b) clase de servicio 2. Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 85% unas pocas semanas al año.
 - c) clase de servicio 3. Condiciones ambientales que conduzcan a contenido de humedad superior al de la clase de servicio 2.
- 2 En la clase de servicio 1 la humedad de equilibrio higroscópico media en la mayoría de las coníferas no excede el 12%. En esta clase se encuentran, en general, las estructuras de madera expuestas a un ambiente interior.
- 3 En la clase de servicio 2 la humedad de equilibrio higroscópico media en la mayoría de las coníferas no excede el 20%. En esta clase se encuentran, en general, las estructuras de madera a cubierto, pero abiertas y expuestas al ambiente exterior, como es el caso de cobertizos y viseras. Las piscinas cubiertas, debido a su ambiente húmedo, encajan también en esta clase de servicio.
- 4 En la clase de servicio 3 la humedad de equilibrio higroscópico media en la mayoría de las coníferas excede el 20%. En esta clase se encuentran, en general, las estructuras de madera expuestas a un ambiente exterior sin cubrir.

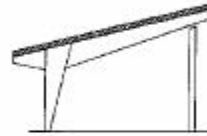
CLASES DE SERVICIO



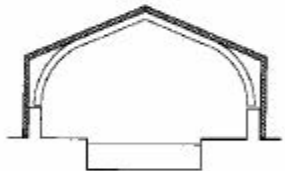
C.S. 1



CUBIERTO Y CERRADO: CS1



CUBIERTO: CS2



PISCINA CUBIERTA: CS2



PASARELA DESCUBIERTA: CS3



C.S. 2



C.S. 2



C.S. 3

CLASES DE SERVICIO

a) Clase de servicio 1 (CS1):

Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 65% unas pocas semanas al año.

Situación de servicio interior, no expuesto a la intemperie. Ambiente seco.

La humedad de equilibrio higroscópico media en la mayoría de las coníferas no excede el 20%.



CLASES DE SERVICIO

a) Clase de servicio 2 (CS2):

Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 85% unas pocas semanas al año.

Situación de servicio bajo cubierta, pero abiertas y expuestas al ambiente exterior. Las piscinas cubiertas también encajan en esta clase de servicio con ambiente ocasionalmente húmedo.

La humedad de equilibrio higroscópico media en la mayoría de las coníferas no excede el 20%



CLASES DE SERVICIO

a) Clase de servicio 3 (CS3):

Condiciones climáticas que conduzcan a contenidos de humedad superiores al de la clase de servicio 2.

Situación de servicio exterior, expuesto a la intemperie sin cubrir. Ambiente predominantemente o permanentemente húmedo.

La humedad de equilibrio higroscópico media en la mayoría de las coníferas excede el 20%.



3.2.1.2 Clases de uso

1 El concepto de clase de uso está relacionado con la probabilidad de que un elemento estructural sufra ataques por agentes bióticos, y principalmente es función del grado de humedad que llegue a alcanzar durante su vida de servicio. Se definen las siguientes clases de uso.

a) **clase de uso 1:** el elemento estructural está a cubierto, protegido de la intemperie y no expuesto a la humedad. En estas condiciones la madera maciza tiene un contenido de humedad menor que el 20%. Ejemplos: vigas o pilares en el interior de edificios;

b) **clase de uso 2:** el elemento estructural está a cubierto y protegido de la intemperie pero, debido a las condiciones ambientales, se puede dar ocasionalmente un contenido de humedad de la madera mayor que el 20 % en parte o en la totalidad del elemento estructural. Ejemplos: estructura de una piscina cubierta en la que se mantiene una humedad ambiental elevada con condensaciones ocasionales y elementos estructurales próximos a conductos de agua;

c) **clase de uso 3:** el elemento estructural se encuentra al descubierto, no en contacto con el suelo. El contenido de humedad de la madera puede superar el 20% Se divide en dos clases;

Clase de uso 3.1. El elemento estructural se encuentra al exterior, por encima del suelo y protegido, es decir sujeto a medidas de diseño y constructivas destinadas a impedir una exposición excesiva a los efectos directos de la intemperie, inclemencias atmosféricas o fuentes de humedad. En estas condiciones la humedad de la madera puede superar ocasionalmente el contenido de humedad del 20%. Ejemplos: viga que vuela al exterior pero que en su zona superior y testas están protegidas por una albardilla o piezas de sacrificio.

Clase de uso 3.2. el elemento estructural se encuentra al exterior, por encima del suelo y no protegido. En estas condiciones la humedad de la madera supera frecuentemente el contenido de humedad del 20%. Ejemplos: cualquier elemento cuya cara superior o testa se encuentre sometida a la acción directa del agua de la lluvia, pilar que sin estar empotrado en el suelo guarda con éste una distancia reducida y está sometido a salpicaduras de lluvia o acumulaciones de nieve, etc.

d) **clase de uso 4:** el elemento estructural está en contacto con el suelo o con agua dulce y expuesto por tanto a una humidificación en la que supera permanentemente el contenido de humedad del 20%. Ejemplos: construcciones en agua dulce y pilares en contacto directo con el suelo;

e) **clase de uso 5:** situación en la cual el elemento estructural está permanentemente en contacto con agua salada. En estas circunstancias el contenido de humedad de la madera es mayor que el 20%, permanentemente. Ejemplo: construcciones en agua salada.

Fuente: CTE-DB-SE-M

CLASE DE USO

Madera de uso interior

Clase de uso 1: Elemento estructural está a cubierto, protegido de la intemperie y no expuesto a la humedad. En estas condiciones la madera maciza tiene un contenido de humedad menor que el 20%.

Estas piezas no necesitan protección, siempre y cuando sean durables según la UNE EN 350-2.



CLASES DE USO (UNE-EN 335:2013)

CLASES DE USO

Madera de uso interior

Clase de uso 2: Elemento estructural está a cubierto, protegido de la intemperie pero, debido a las condiciones ambientales, se puede dar ocasionalmente un contenido de humedad mayor que el 20% en parte o en la totalidad del elemento estructural.



CLASES DE USO (UNE-EN 335:2013)

CLASES DE USO

Madera de uso exterior

Clase de uso 3: Elemento estructural se encuentra al descubierto, no en contacto con el suelo. El contenido de humedad de la madera puede superar el 20 %.

Clase de uso 3.1: Elemento estructural se encuentra al exterior, por encima del suelo y protegido de la intemperie, inclemencias atmosféricas o fuentes de humedad. La humedad de la madera supera ocasionalmente el contenido de humedad del 20%.

El agua no se acumula.



CLASES DE USO (UNE-EN 335:2013)

CLASES DE USO

Madera de uso exterior

Clase de uso 3: Elemento estructural se encuentra al descubierto, no en contacto con el suelo. El contenido de humedad de la madera puede superar el 20 %.

Clase de uso 3.2: Elemento estructural se encuentra al exterior, por encima del suelo y no protegido. En estas condiciones la humedad de la madera supera frecuentemente el contenido de humedad del 20%.

El agua puede acumularse.

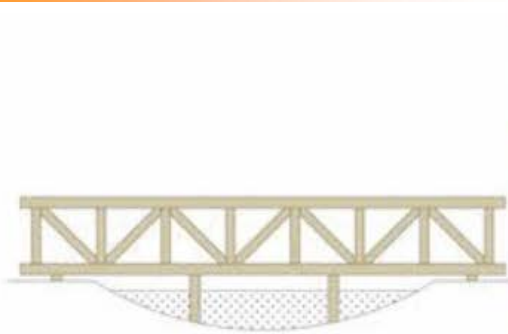


CLASES DE USO

Madera de uso exterior

Clase de uso 4: Elemento estructural se encuentra en contacto con el suelo o con el agua dulce y expuesto por tanto a una humidificación en la que supera permanentemente el contenido de humedad del 20%.

Predominante o permanentemente húmedo.



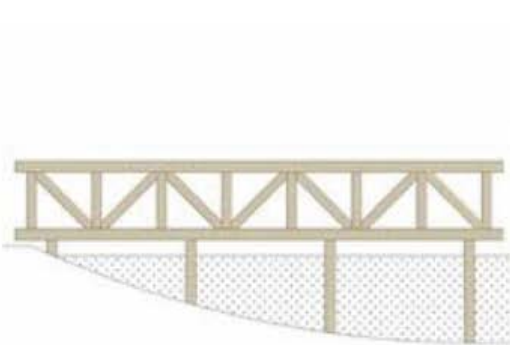
CLASES DE USO (UNE-EN 335:2013)

CLASES DE USO

Madera de uso exterior

Clase de uso : Situación en la cual el elemento estructural está permanentemente en contacto con agua salada. En estas circunstancias el contenido de humedad de la madera es mayor que el 20%, permanente.

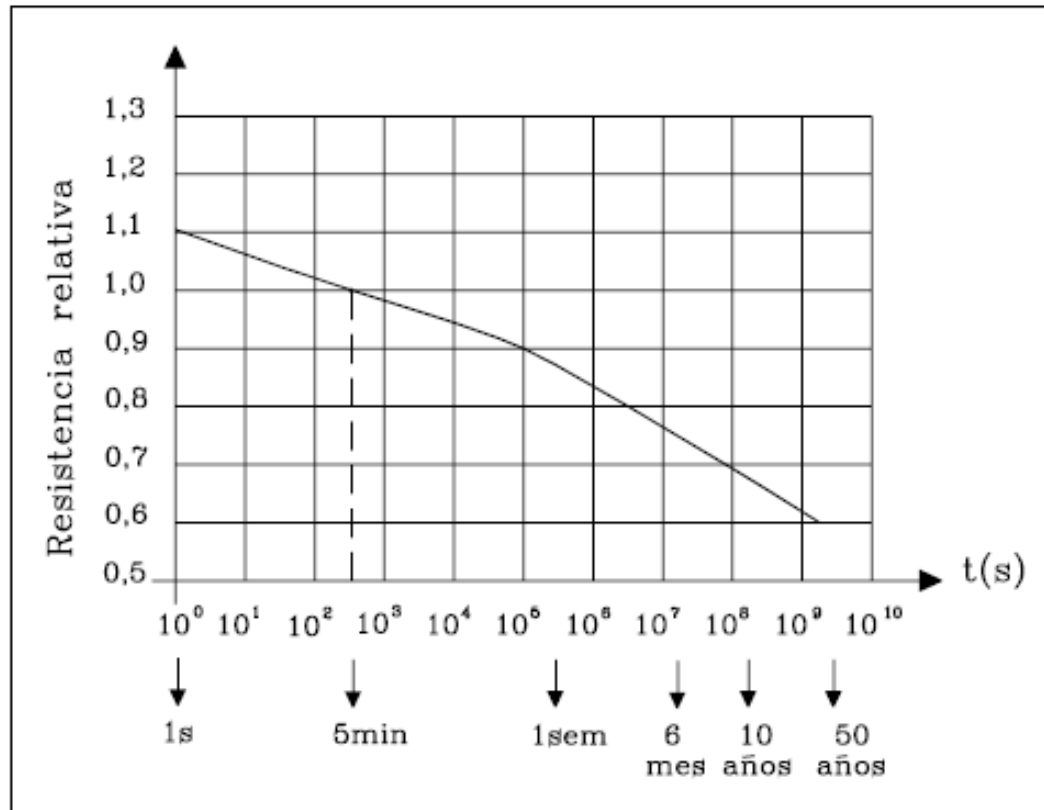
Predominante o regularmente húmedo.



CLASE DE USO		CLASE DE SERVICIO	
Clase de uso	Contenido humedad de la madera (H)	Contenido humedad de la madera (H)	Clase de servicio
1 Interior, bajo cubierta	máxima 20%	inferior al 12%	1
2 Interior o bajo cubierta	Ocasionalmente > 20%	inferior al 20%	2
3 Al exterior, por encima del suelo 3.1 protegido 3.2 no protegido	Frecuentemente > 20%	superior al 20%	3
4 Al exterior, en contacto 4.1 con el suelo o con agua dulce 4.2 con el suelo (intenso) y/o con agua dulce	Permanentemente > 20%		
5 En contacto con agua salada	Permanentemente > 20%		

Tabla Resumen de las Clases de uso - Clases de servicio

Clases de duración de la carga



$$\sigma_{5\text{min}} = 1,0 \cdot \sigma_{\text{rot}}$$

$$\sigma_{2\text{días}} = 0,9 \cdot \sigma_{\text{rot}}$$

$$\sigma_{2\text{meses}} = 0,8 \cdot \sigma_{\text{rot}}$$

$$\sigma_{10\text{años}} = 0,7 \cdot \sigma_{\text{rot}}$$

$$\sigma_{\text{perm}} = 0,6 \cdot \sigma_{\text{rot}}$$

Insta. Corta Media Larga Permanente

Tabla 2.2 Clases de duración de las acciones

Fuente: CTE-DB-SE-M

Clase de duración	Duración aproximada acumulada de la acción en valor característico	Acción
Permanente	más de 10 años	Permanente, peso propio
Larga	de 6 meses a 10 años	Apeos o estructuras provisionales no itinerantes
Media	de una semana a 6 meses	sobrecarga de uso; nieve en localidades de >1000 m
Corta	menos de una semana	viento; nieve en localidades de < 1000 m
Instantánea	algunos segundos	sismo

Tema 3. BASES DE CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE MADERA

3.4. COMPROBACIÓN DE SECCIONES

Índice de agotamiento

$$\text{índice} = \frac{\text{tensión}_{\text{(de cálculo)}}}{\text{resistencia}_{\text{(de cálculo)}}}$$

$$\text{resistencia} \geq \text{tensión}$$

$$\text{índice} \leq 1$$

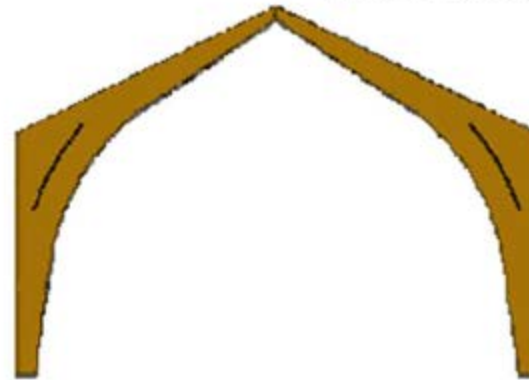
Ej. índice = 0,86 → agotamiento 86 %

Piezas con tracción perpendicular

VIGA A DOS AGUAS



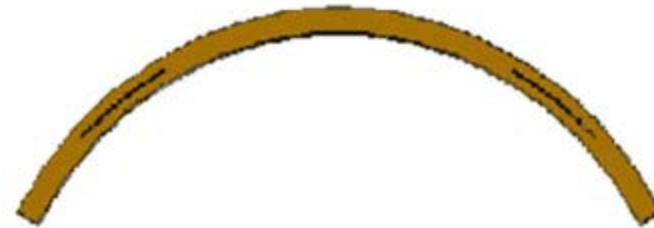
PORTICOS



VIGAS CURVAS



ARCOS



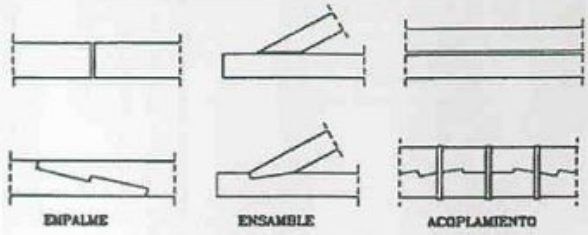


Figura 9.1. Empalmes, ensambles y acoplamientos.

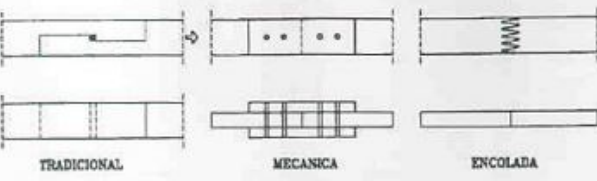


Figura 9.2. Uniones tradicionales, mecánicas y encoladas.

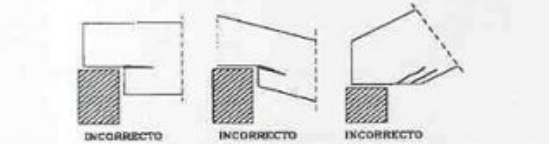


Figura 15.4. Tracción perpendicular en encuentros incorrectos.

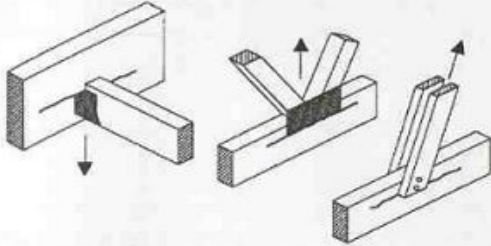


Figura 9.8. Ejemplos de tensiones perpendiculares originadas en la unión.

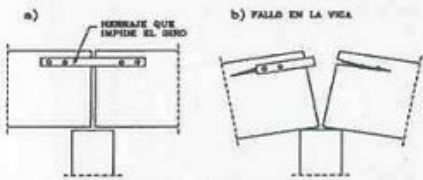


Figura 15.2. Herrajes colocados inadecuadamente impidiendo el giro.

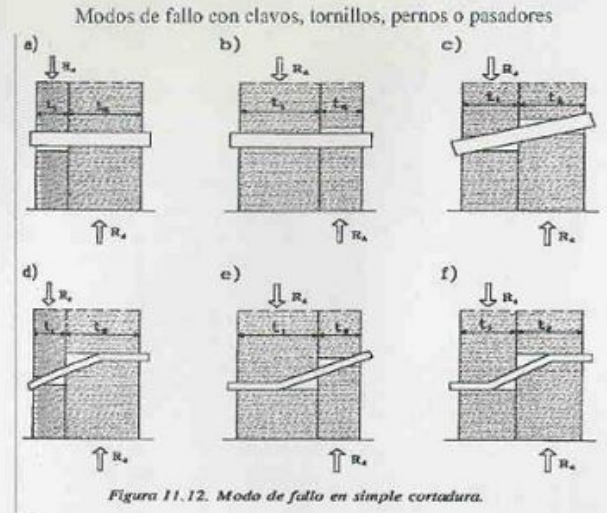


Figura 11.12. Modo de fallo en simple cortadura.

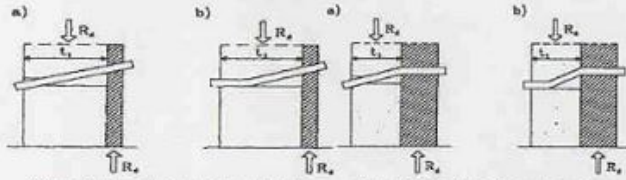


Figura 11.15. Placa de acero delgada.

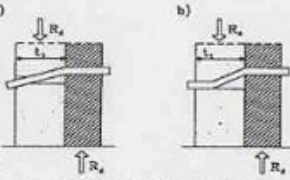


Figura 11.16. Placa de acero gruesa.

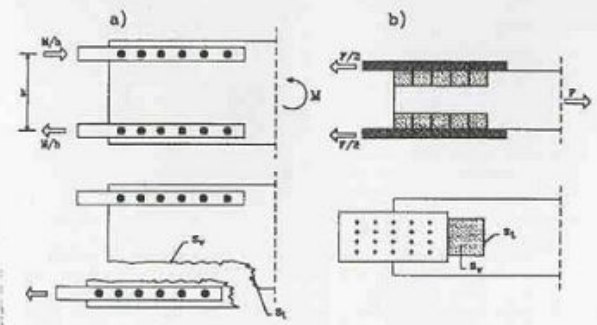


Figura 9.5. Desgarramiento en una unión (a) con elementos en línea y (b) agrupados.

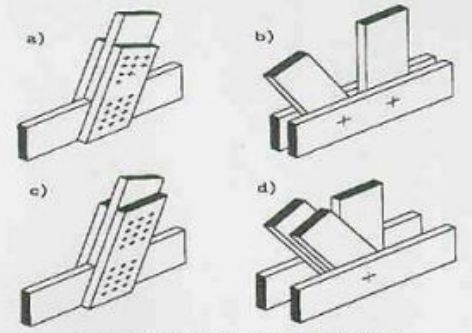


Figura 9.6. Excentricidad de las uniones.

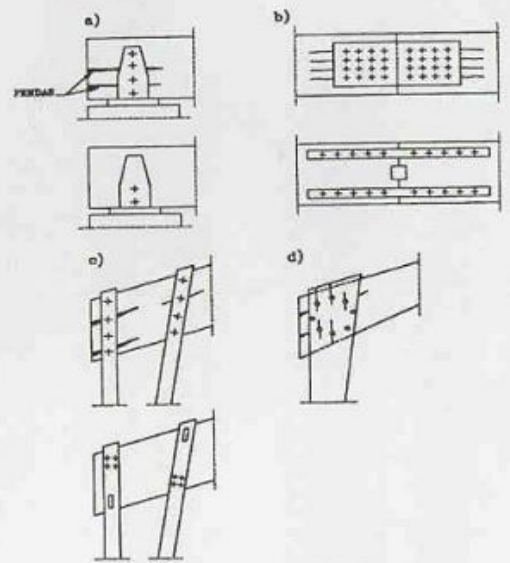


Figura 9.7. Fendado en uniones, debidas a la merma de la madera.

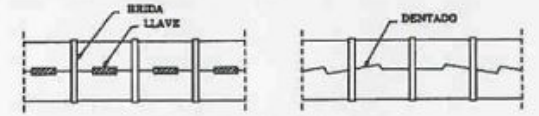
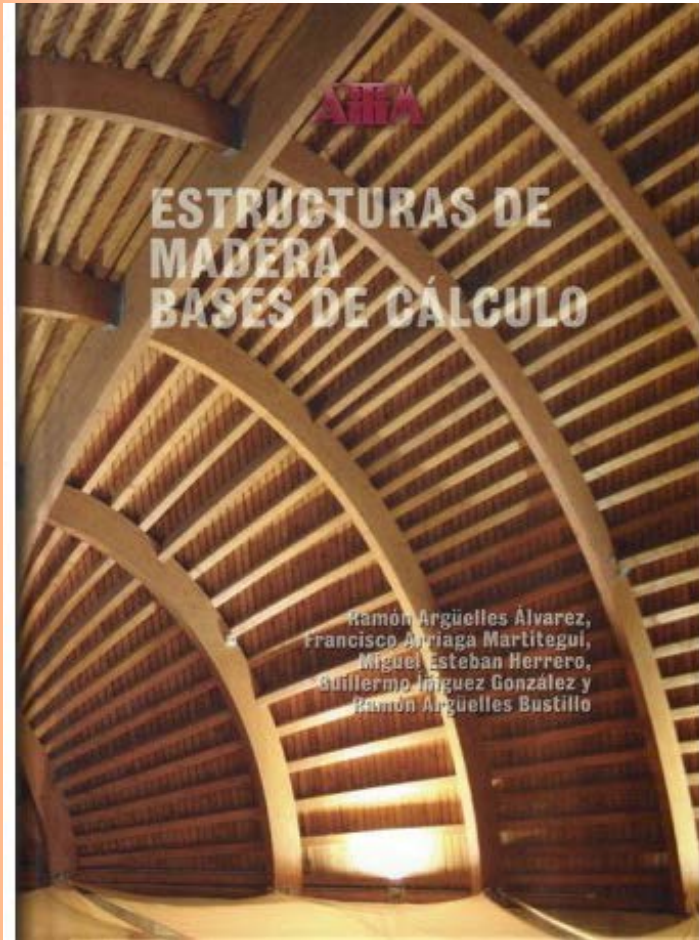


Figura 10.15. Acoplamientos.

BIBLIOGRAFÍA



Tema 3.5 DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE MADERA

Durabilidad de una obra de madera

Especie de madera	Durabilidad estimada del duramen frente a los hongos de pudrición				Durabilidad natural (hongos)	Resistencia insectos de ciclo larvario	Resistencia termitas
	2	3a	3b	4			
Roble europeo (<i>Quercus</i> spp.)	>100 años		50-100 años	10-50 años	2	Si	No
Alerce (<i>Larix decidua</i>)	>100 años	50-100 años	10-50 años	<10 años	3-4	Si	No
Pino gallego (<i>Pinus pinaster</i>)	>100 años	50-100 años	10-50 años	<10 años	3-4	Si	No
Abeto rojo (<i>Picea abies</i>)	50-100 años	10-50 años	<10 años		4	No	No
Chopo (<i>Populus</i> spp.)	50-100 años	10-50 años	<10 años		5	Si	No

Fuente: "FD P20-651 Durabilité des éléments et ouvrages en bois"

PERIODO DE SERVICIO DE LA OBRA : Asegurar con la fiabilidad requerida, la estabilidad del conjunto y la resistencia necesaria durante un tiempo determinado.

- Edificaciones \geq 50 años (CTE)
- Entarimados de exterior, fachadas de madera, mobiliario urbano, pasarelas peatonales ... \geq 20 - 30 años ?

APTITUD AL SERVICIO : Asegurar el funcionamiento de la obra, el confort de los usuarios y el aspecto visual.

Clase de Uso \approx Riesgo humectación \approx f (Climatología, Diseño constructivo, Masividad, etc)

ELEMENTOS DE MADERA, AL EXTERIOR, POR ENCIMA DEL SUELO, MUY EXPUESTOS AL CLIMA				
MASIVIDAD	DISEÑO CONSTRUCTIVO	CONDICIONES CLIMÁTICAS		
		Secas	Moderadas	Húmedas
		Clase de uso		
Reducida	Correcto	3a		
	Medio	3a	3b	
	Incorrecto	3b	4	
Media	Correcto	3a		3b
	Medio	3a	3b	
	Incorrecto	3b	4	
Elevada	Correcto	3a	3b	
	Medio	3b		4
	Incorrecto	4		

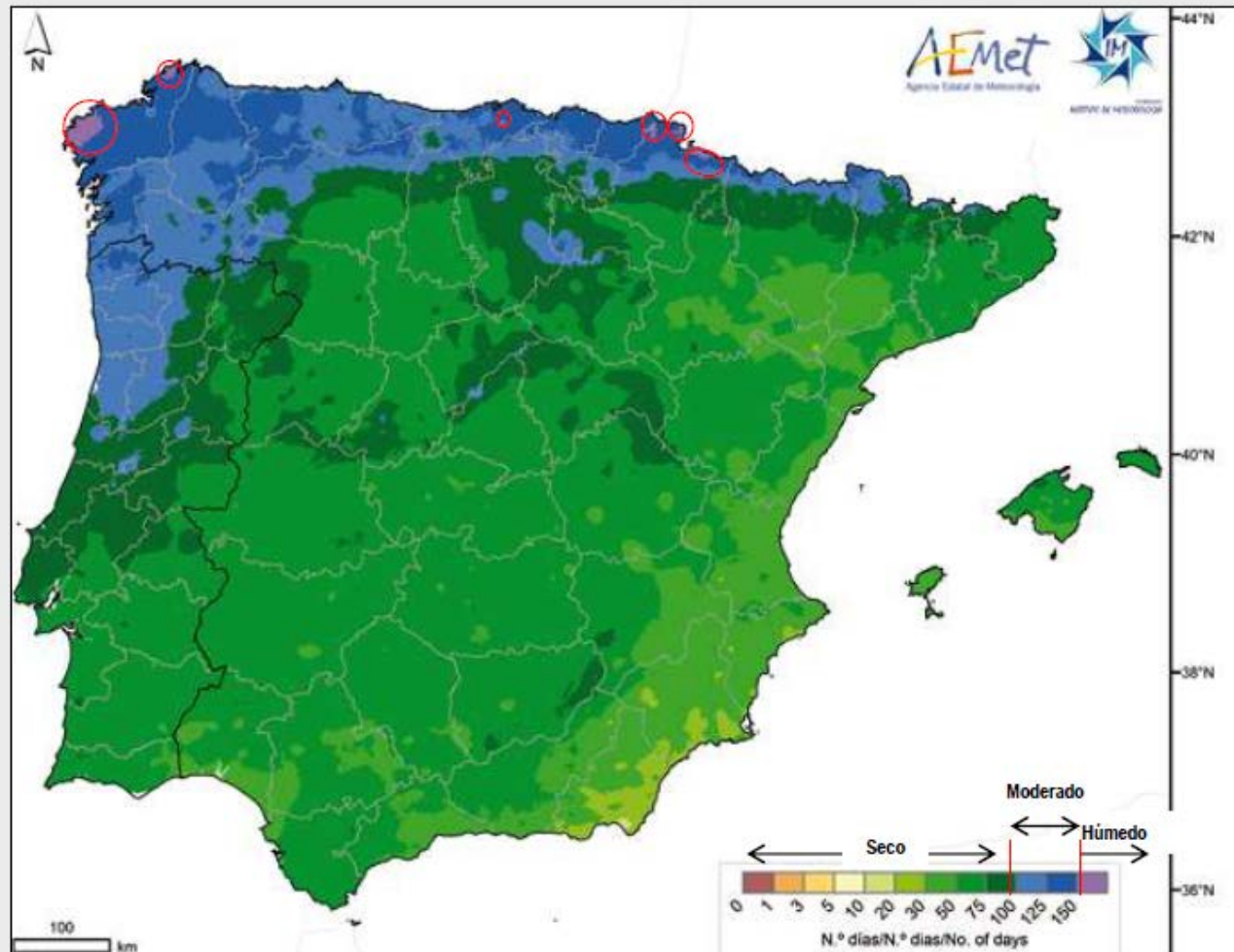
TIPO DE PRODUCTO	MASIVIDAD		
	Reducida	Media	Elevada
Madera maciza	Esp. \leq 27 mm	Esp. entre 27 y 75 mm	Esp. $>$ 75 mm
Madera laminada (láminas \leq 35 mm)	Esp. \leq 28 mm	Esp. entre 28 y 210 mm	Esp. $>$ 210 mm

CRITERIO	CONDICIONES CLIMÁTICAS		
	Secas	Moderadas	Húmedas
Días/año con precipitación \geq 1 mm	$<$ 100	100-150	\geq 150

Fuente: "FD P20-651 Durabilité des éléments et ouvrages en bois"

Manuel Touza

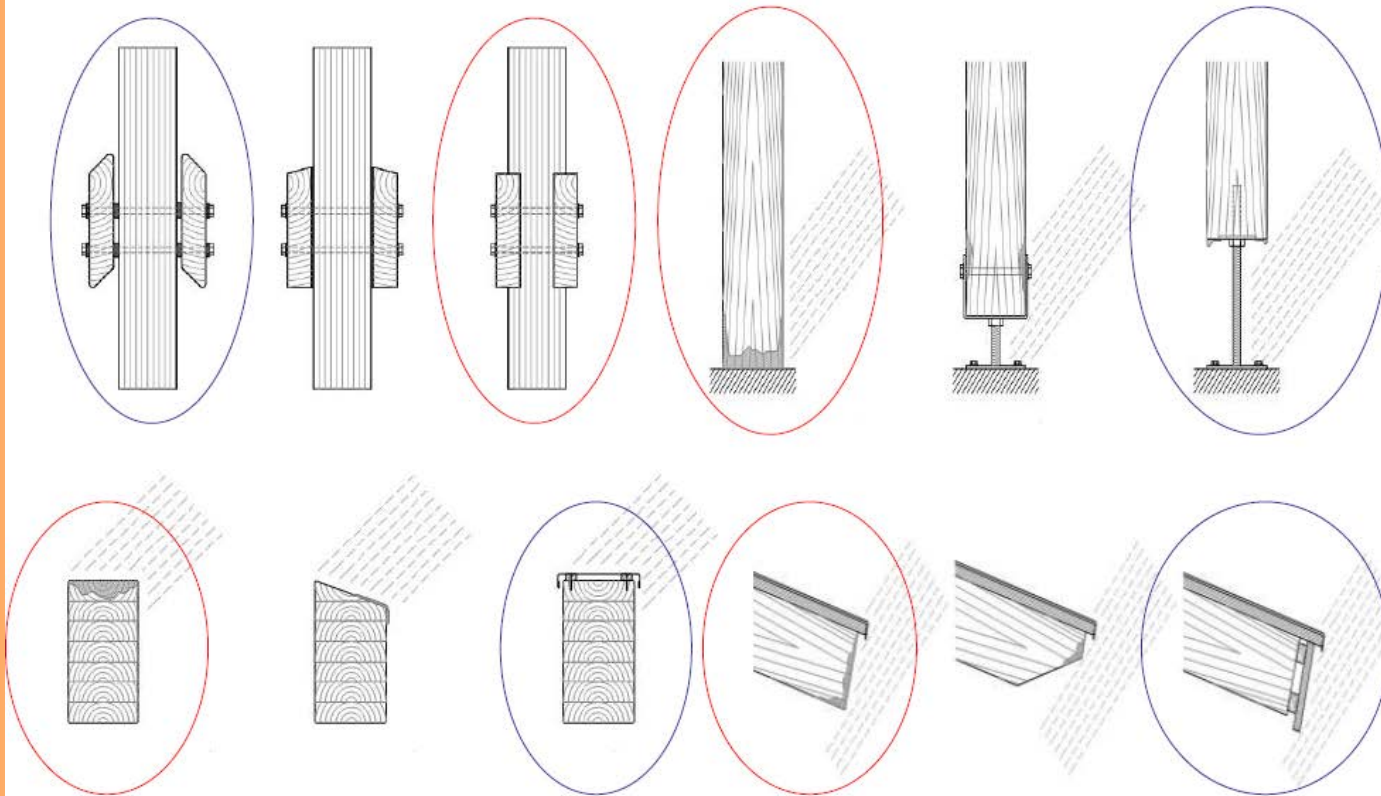
Mapa Pluviométrico de España (Número de días/año con una precipitación > 1 mm)



Fuente: Atlas Climático Ibérico / Agencia Estatal de Meteorología (España) - Instituto de Meteorología (Portugal)

DURABILIDAD, SISTEMA CONSTRUCTIVO

Clase de uso \approx Riesgo humectación \approx f (Climatología, Diseño constructivo, Masividad, etc)



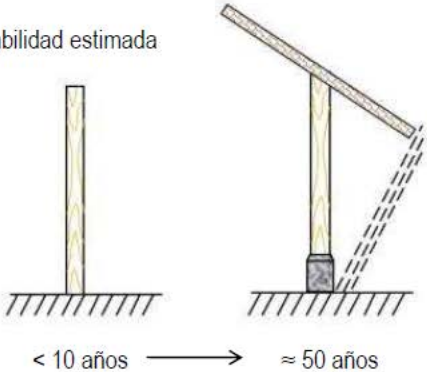
Manuel Touza

DURABILIDAD, SISTEMA CONSTRUCTIVO

Detalles constructivos con *Picea abies*



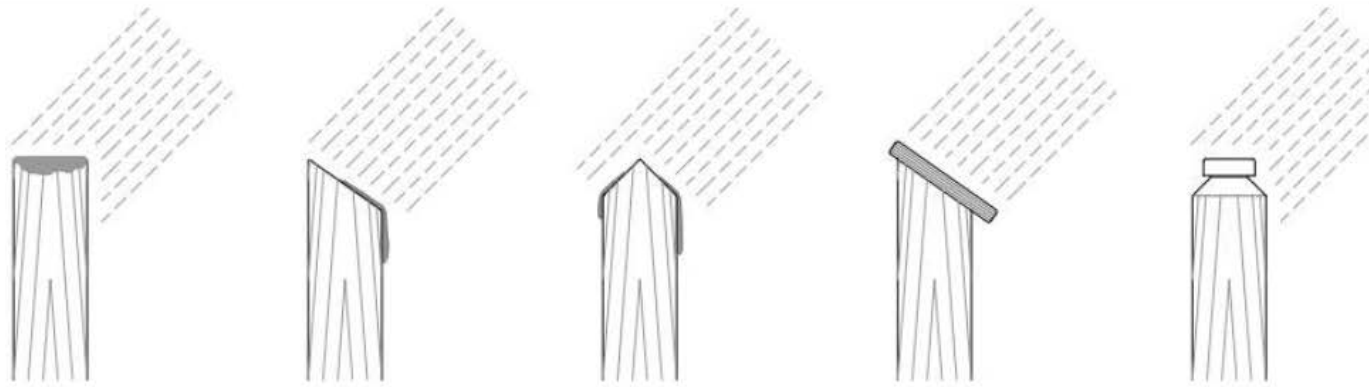
Durabilidad estimada



Manuel Touza

DURABILIDAD, SISTEMA CONSTRUCTIVO

Detalles constructivos : Protección de testas



Manuel Touza

Detalles constructivos: Protección de testas



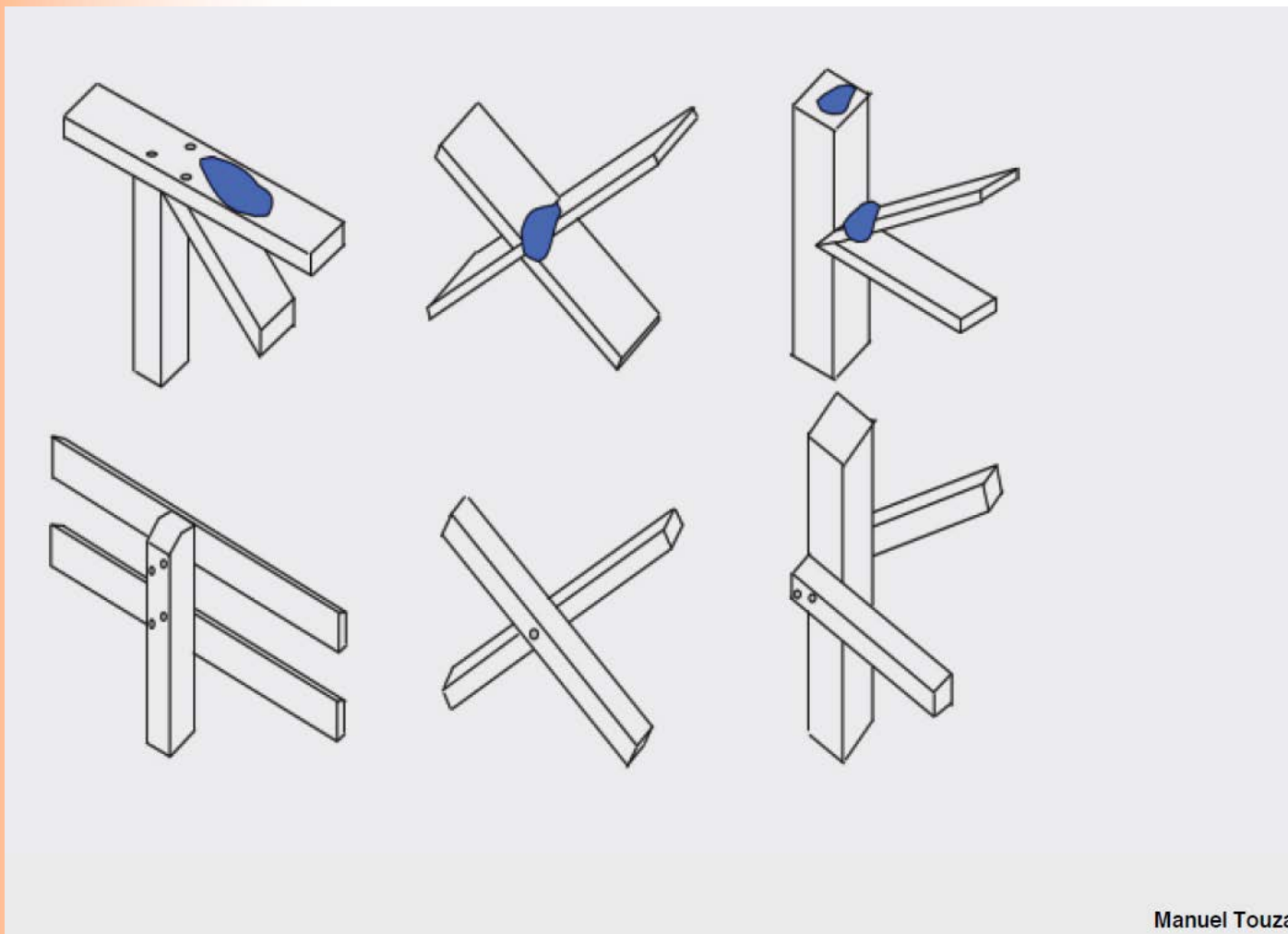
Manuel Touza

DURABILIDAD, SISTEMA CONSTRUCTIVO



ceste for

DURABILIDAD, SISTEMA CONSTRUCTIVO



Manuel Touza

ceste for

DURABILIDAD, SISTEMA CONSTRUCTIVO



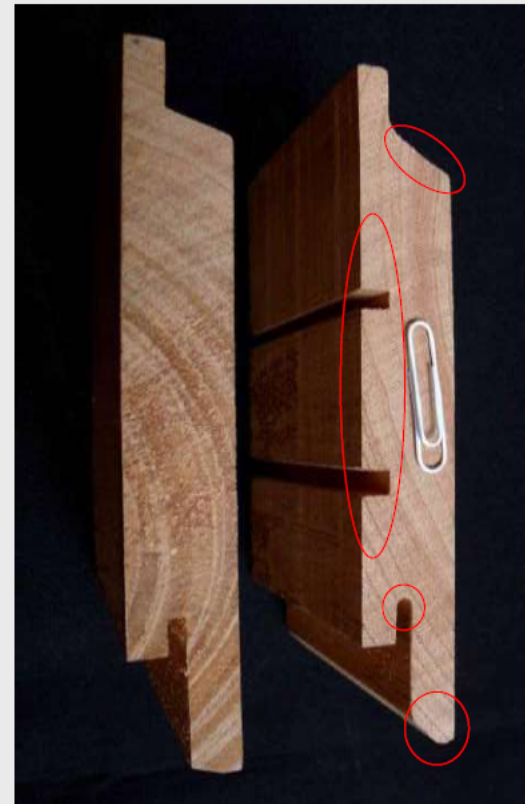
1) Incremento de la pendiente de la lama y redondeo del canto para mejorar la evacuación del agua.



2) Mecanizado de ranuras en la contracara de las lamina para mejorar su estabilidad durante la hinchazón y merma.

3) Aumentó de la longitud de la ranura para evitar que quede unida a tope con la grapa, facilitando la hinchazón de la lama.

4) Incremento de la pendiente para disminuir la retención de agua.



Manuel Touza

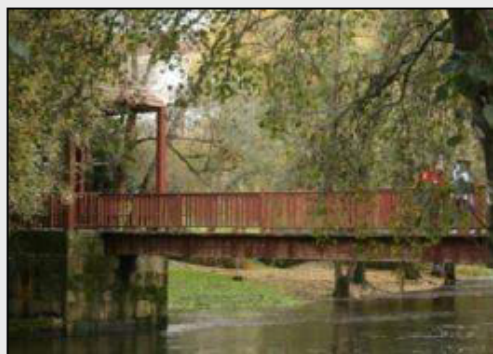
Ejemplo de aplicación : Condiciones climáticas moderadas

MASIVIDAD	DISEÑO CONSTRUCTIVO	CONDICIONES CLIMÁTICAS MODERADAS
		CLASE DE USO
Reducida	Correcto	3a
	Medio	3a
	Incorrecto	4
Media	Correcto	3a
	Medio	3b
	Incorrecto	4
Elevada	Correcto	3b
	Medio	3b
	Incorrecto	4

Clase de uso 4
Masividad elevada
Diseño incorrecto
< 10 años

Clase de uso 3b
Masividad media
Diseño medio
10-50 años

Clase de uso 3a
Masividad reducida
Diseño correcto
50-100 años



Manuel Touza

ELECCIÓN DEL TIPO DE MADERA, PASOS A SEGUIR

