

La madera como **material** **estructural**

Tipología y resistencia

Soledad Rodríguez Lazcano

Área de **Tecnología, Madera Estructural y Construcción**



CETEMAS
CENTRO TECNOLÓGICO FORESTAL Y DE LA MADERA



asmadera

ASOCIACIÓN ASTURIANA DE
EMPRESARIOS FORESTALES Y
DE LA MADERA



1. La madera como **material de construcción**

2. **Campo normativo:** clases resistentes

3. Variables a tener en cuenta para **proyectar con madera**

4. **Tipos** de productos y derivados



Fundación privada, sin ánimo de lucro (2009). Impulsada por el **Gobierno Regional del Principado de Asturias, las asociaciones sectoriales y las empresas líderes del sector**.

1. Aprovechamientos forestales y logística

2. Mejora y producción forestal

3. Gestión forestal

4. Cambio climático y huella de carbono

5. Tecnología, construcción y madera estructural

Laboratorio de **madera estructural**

Laboratorio de **técnicas no destructivas**

Laboratorio de **cerramientos**

Laboratorio de **recubrimientos, tratamientos y sellantes.**

Objetivo: promover la investigación, desarrollo e innovación en los diferentes sectores envueltos en la cadena de valor bosque-industria.



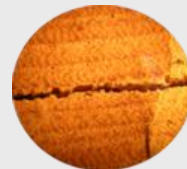
Externalidades
Huella de carbono



Construcción
y
rehabilitación



Tecnología de
la madera y nuevos
productos



Normalización
de madera cilindrada
o aserrada



Mejora y
herramientas de
gestión



Optimización de
aprovechamiento
de productos
maderables y no
maderables



1. La madera como material de construcción

Origen **biológico**

Proceso “productivo” distinto al resto de materiales (emisión de **CO₂** y función sumidero)

Propiedades **intrínsecas** no modificables

Alta **variabilidad**



Desconocimiento del material

Problemática: **mal** diseño, cálculo y ejecución

Falta de **caracterización** de material y productos, **industrialización**

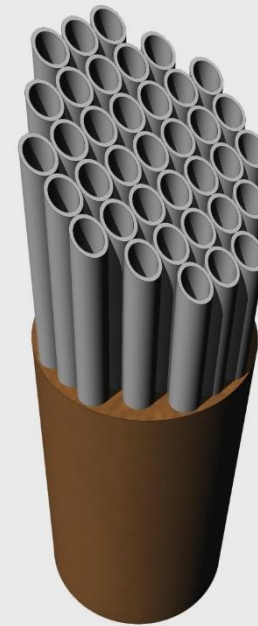
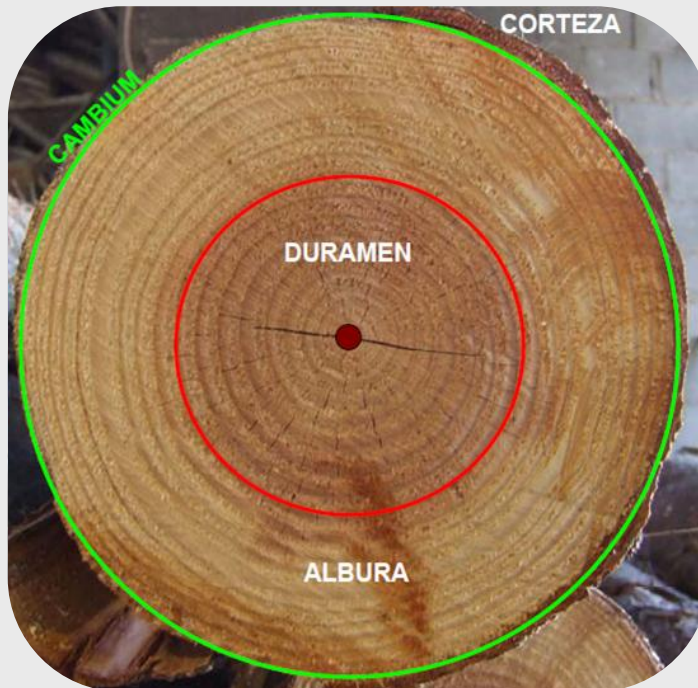
Carencias en la **normativa** y en los procedimientos constructivos

1. La madera como material de construcción

Material orgánico heterogéneo con estructura celular: **celulosa, hemicelulosa, lignina**

Estructura macroscópica: **duramen y albura**

Estructura microscópica: estructura en **fibras**, disposición mayoritariamente **longitudinal**



1. La madera como material de construcción

Propiedades
físicas de la
madera



HIGROSCOPICIDAD

Equilibrio higroscópico:
Máx. humedad alcanzada
en función de t^a y humedad
relativa del aire

Condiciones higrotérmicas de servicio

En obras hidráulicas	30%
En medios muy húmedos	25-30%
Expuestas a la humedad	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%

1. La madera como material de construcción

Propiedades
físicas de la
madera



DENSIDAD

Relación entre **masa leñosa** 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

1. La madera como material de construcción

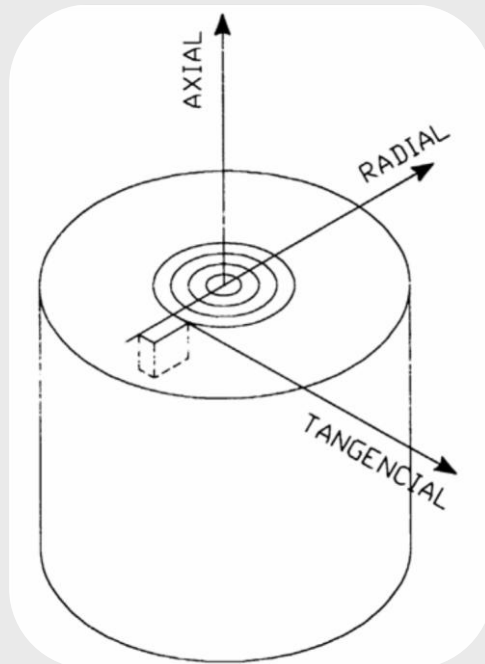
Propiedades
mecánicas de
la madera



ANISOTROPÍA



Características
mecánicas



Simplificación
para el cálculo
estructural
según C.T.E.:

Paralela a la fibra (**axial o longitudinal**)

Perpendicular (**transversal**)

1. La madera como material de construcción

Propiedades mecánicas de la madera

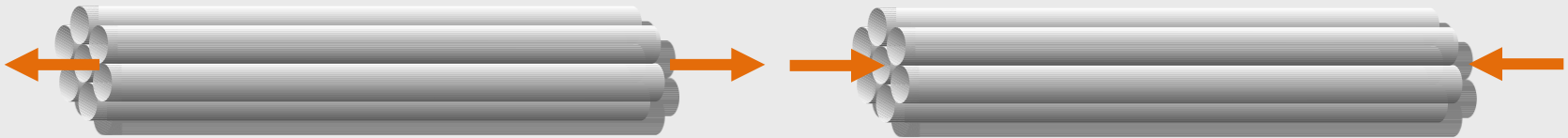
Propiedades mecánicas **paralelas a la fibra**

Propiedades mecánicas **perpendiculares a la fibra**

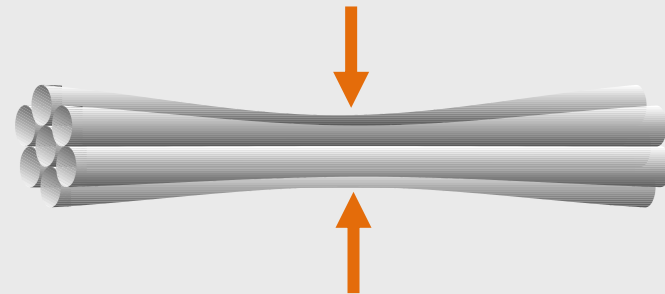
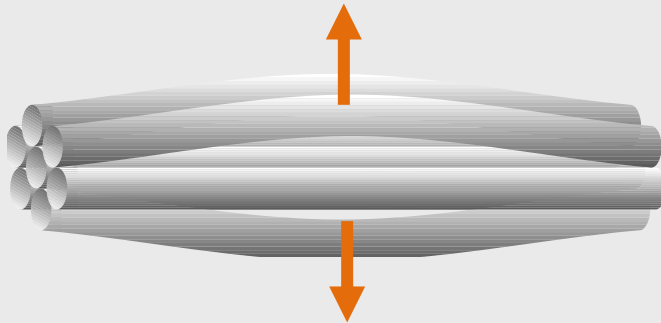


1. La madera como material de construcción

Propiedades mecánicas de la madera



Elevada resistencia a compresión y a tracción paralela a la fibra



Débil resistencia a compresión y a tracción perpendicular a la fibra

Las resistencias y módulos de elasticidad en la dirección paralela a la fibra son **mucho más elevados** que en la dirección perpendicular

1. La madera como material de construcción

Capacidades resistentes: Comparación de tensiones admisibles de **madera, acero y hormigón armado** (N/mm²)

	Flexión	Tracción paralela	Tracción perpen.	Compres. paralela	Compres. perpend.	Cortante	Módulo elasticidad
Madera	18	11	0.3	18	4.8	2.0	11.000
Hormigón	8	0.6		8		0.6	20.000
Acero	170	170		170		100	210.000

- Elevada **resistencia a flexión (14-30)** 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

1. La madera como material de construcción

Factores que influyen en las propiedades mecánicas

1. Contenido de humedad



contenido de humedad
madera



Resistencia



Módulo de
elasticidad

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

2. Duración de la carga



duración de la carga



Resistencia

3. Calidad de la madera



Nº de singularidades madera



Resistencia

(también denominados defectos)

1. La madera como material de construcción

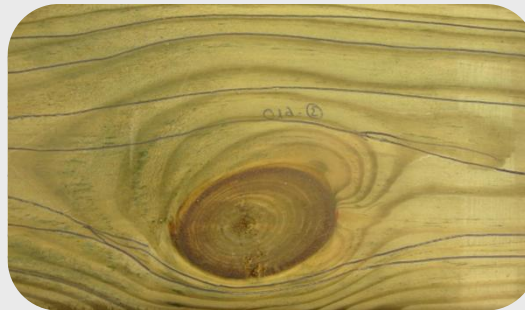
Propiedades mecánicas: calidad de la madera

singularidades anatómicas

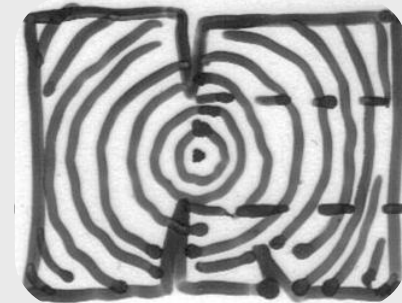
nudos



desviación de fibra



fendas

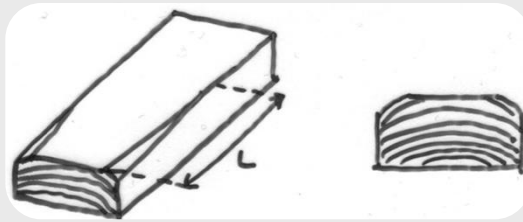


1. La madera como material de construcción

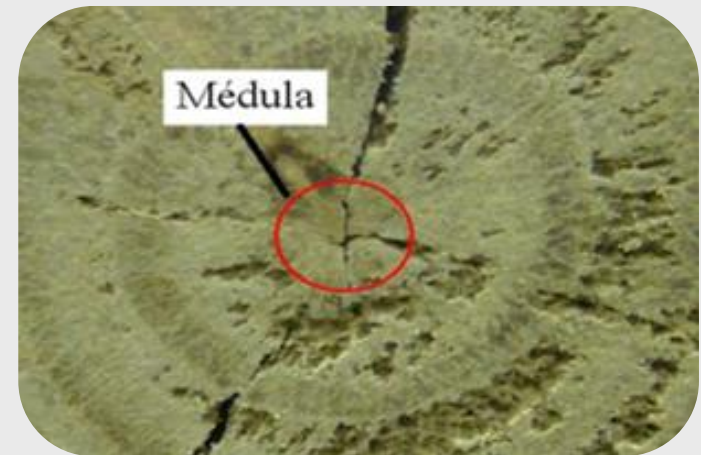
Propiedades mecánicas: calidad de la madera

singularidades de aserrado

gemas



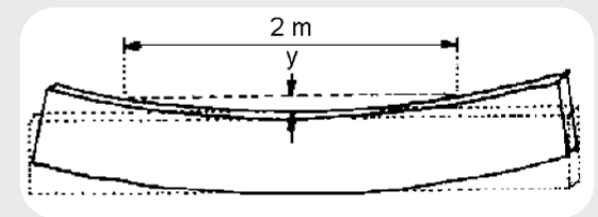
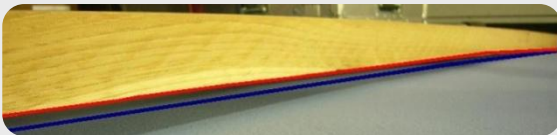
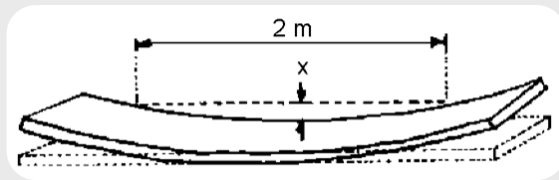
médula



1. La madera como material de construcción

Propiedades mecánicas: calidad de la madera

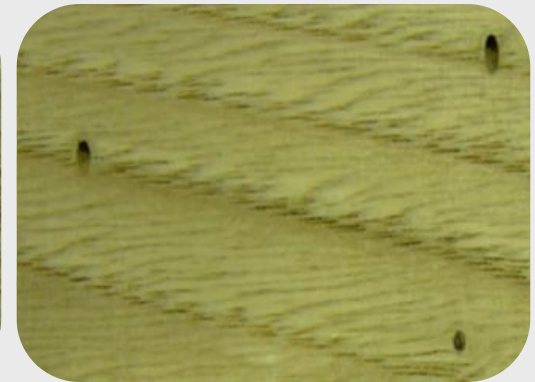
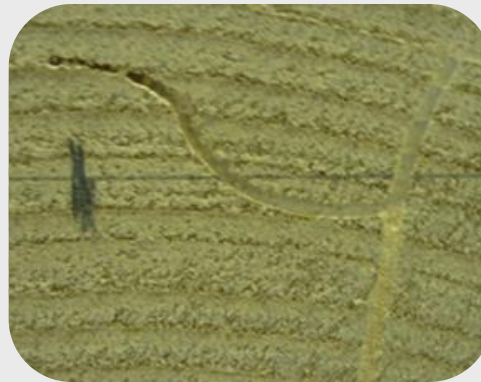
deformaciones



1. La madera como material de construcción

Propiedades mecánicas: **calidad de la madera**

ataque por agentes biológicos



2. Campo normativo: clases resistentes

Normativa de cálculo

Código Técnico de la Edificación (C.T.E.)

C.T.E. - D.B. – A.E.

Acciones en la edificación

C.T.E. - D.B. – S.E.

Seguridad estructural

C.T.E. - D.B. – S.E. -M

Seguridad estructural. Madera

C.T.E. - D.B. – S.I.

Seguridad en caso de incendio

Otros

IAP - 11

Instrucción de acciones
sobre puentes de
carretera

EC - 5

Eurocódigo 5

norma
española

UNE-EN 14080

Diciembre 2013

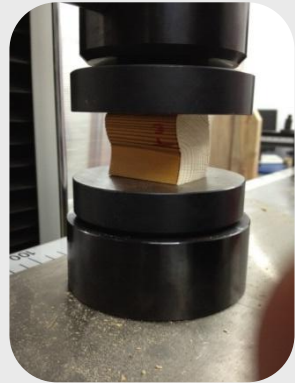
TÍTULO

Estructuras de madera

Madera laminada encolada y madera maciza encolada

Requisitos

2. Campo normativo: clases resistentes



Calidad de la madera



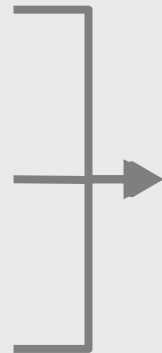
Clasificación estructural



Variedad de especies de
madera

Diversas procedencias de la
madera

Distintas normas de
clasificación



**CLASES
RESISTENTES**



Combinación de
especies y calidades de
madera en grupos con
propiedades de
**resistencia, rigidez y
densidad similares**

2. Campo normativo: clases resistentes (UNE EN 338)

D = frondosas

Clase resistente D30

30 = resistencia a flexión (N/mm²)

		Coníferas y chopo											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Propiedades de resistencia (en N/mm ²)													
Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tracción paralela a la fibra	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
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
Compresión paralela a la fibra	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
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
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
Propiedades de rigidez (en kN/mm ²)													
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
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra (5% percentil)	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	7,1	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	
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
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
Densidad (en kg/m ³)													
Densidad	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Densidad media	ρ_{medio}	350	370	380	390	410	420	430	460	480	500	520	550

CONÍFERAS + CHOPO

		Frondosas							
		D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Propiedades de resistencia (en N/mm ²)									
Flexión	$f_{m,k}$	18	24	30	35	40	50	60	70
Tracción paralela a la fibra	$f_{t,0,k}$	11	14	18	21	24	30	36	42
Tracción perpendicular a la fibra	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compresión paralela a la fibra	$f_{c,0,k}$	18	21	23	25	26	29	32	34
Compresión perpendicular a la fibra	$f_{c,90,k}$	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
Cortante	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
Propiedades de rigidez (en kN/mm ²)									
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra	$E_{0,medio}$	9,5	10	11	12	13	14	17	20
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra (5% percentil)	$E_{0,05}$	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
Módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra	$E_{90,medio}$	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
Módulo medio de cortante	G_{medio}	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
Densidad (en kg/m ³)									
Densidad	ρ_k	475	485	530	540	550	620	700	900
Densidad media	ρ_{medio}	570	580	640	650	660	750	840	1080

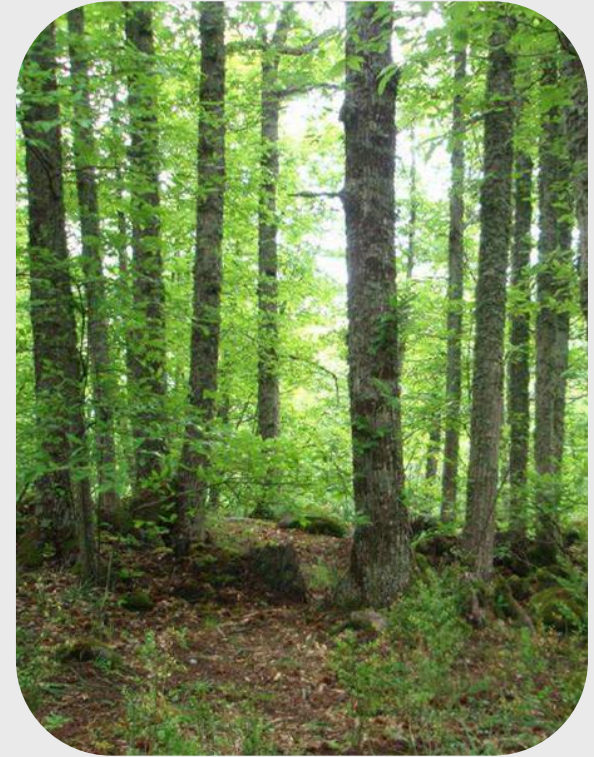
FRONDOSAS

3. Variables a tener en cuenta para **proyectar con madera**

ESPECIE

CONÍFERAS

FRONDOSAS





3. Variables a tener en cuenta para **proyectar con madera**

ESPECIE

CONÍFERAS

FRONDOSAS

Especies nacionales

Pino silvestre (*Pinus sylvestris*)

Pino laricio (*Pinus nigra*)

Pino pinaster (*Pinus pinaster*)

Pino radiata (*Pinus radiata*)

Castaño (*Castanea sp.*)

Roble (*Quercus robur* o *Quercus petraea*)

Chopo (*Populus sp.*)

Eucalipto (*Eucaliptus globulus*)

Especies de procedencia Europa del norte y Europa central

Pino silvestre (*Pinus sylvestris*)

Picea (*Picea abies*)

Roble (*Quercus robur*)

Especies de procedencia americana

Pino de oregon (*Pseudotsuga menziessi*)

Abeto douglas

Pino amarillo o del sur (SYP), grupo de varias especies:

- *Pinus echinata*

- *Pinus elliotii*

- *Pinus palustris*

- *Pinus taeda*

Picea-Pino-Abeto (SPF), grupo de varias especies:

- *Abies balsamea*

- *Abies lasiocarpa*

- *Picea engelmannii*

- *Picea glauca*

- *Picea sitchensis*

3. Variables a tener en cuenta para **proyectar con madera**

ESPECIE

CONÍFERAS

FRONDOSAS

TIPO DE MADERA

ASERRADA

LAMINADA

MICROLAMINADA

ROLLIZOS

TABLEROS



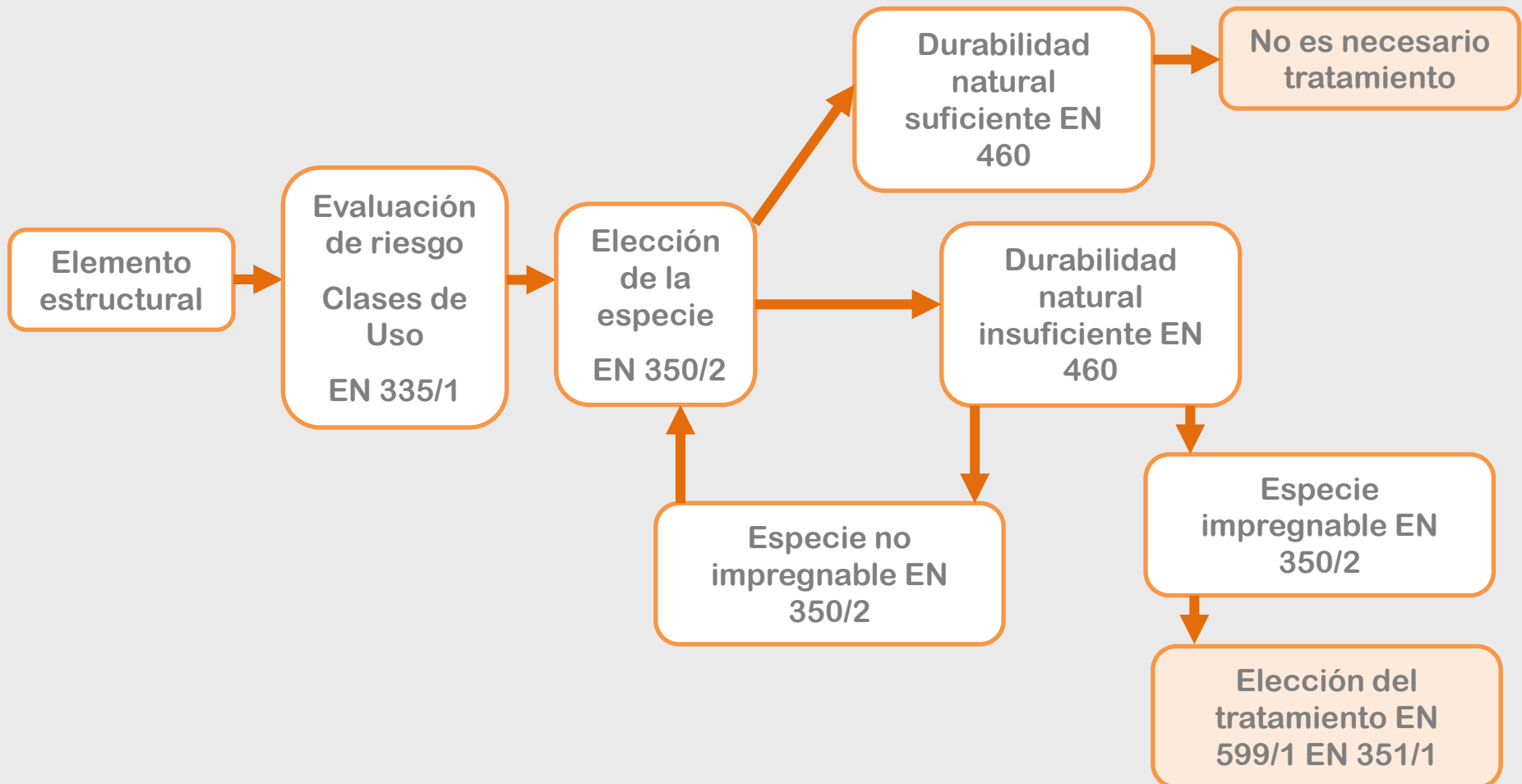
3. Variables a tener en cuenta para proyectar con madera



3. Variables a tener en cuenta para proyectar con madera

ESPECIE

CLASE DE USO



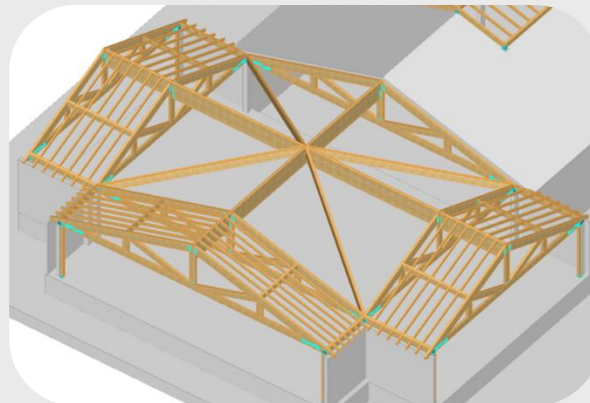
3. Variables a tener en cuenta para proyectar con madera

ESPECIE	TIPO DE MADERA	CLASE DE SERVICIO	CLASE DE USO
CONÍFERAS	ASERRADA	CLASE 1	CLASE 1
FRONDOSAS	LAMINADA	CLASE 2	CLASE 2
	MICROLAMINADA	CLASE 3	CLASE 3.1 Y 3.2
	ROLLIZOS		CLASE 4
	TABLEROS		CLASE 5

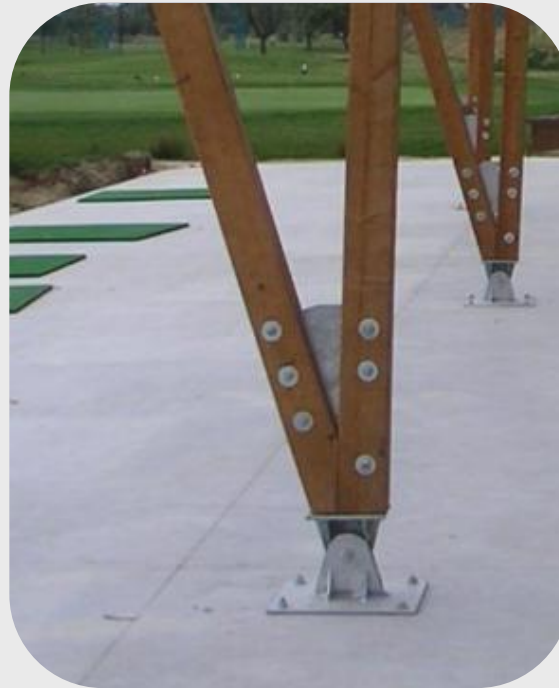
DISEÑO* - MONTAJE

MADERA

UNIONES



3. Variables a tener en cuenta para **proyectar con madera**



DISEÑO* - MONTAJE

**PROTECCIÓN POR
DISEÑO**

Evitar el contacto directo de la
madera con el terreno

Proteger la cara superior de los elementos de
madera que estén expuestos directamente a la
intemperie y en los casos en los que pueda
acumularse agua.

3. Variables a tener en cuenta para **proyectar con madera**



DISEÑO* - MONTAJE

**PROTECCIÓN POR
DISEÑO**

Evitar que los arranques de soportes y arcos queden embebidos en el hormigón u otro material de fábrica



Evitar uniones en las que se pueda acumular el agua

3. Variables a tener en cuenta para **proyectar con madera**



DISEÑO* - MONTAJE

**PROTECCIÓN POR
DISEÑO**

Ventilar los encuentros de vigas en muros, manteniendo una separación mínima entre la superficie de la madera y el material del muro. Separador

Facilitar, en general, al conjunto de la cubierta la rápida evacuación de las aguas de lluvia y disponer sistemas de desagüe de las condensaciones en los lugares pertinentes

3. Variables a tener en cuenta para proyectar con madera

ESPECIE	TIPO DE MADERA	CLASE DE SERVICIO	CLASE DE USO
CONÍFERAS	ASERRADA	CLASE 1	CLASE 1
FRONDOSAS	LAMINADA	CLASE 2	CLASE 2
	MICROLAMINADA	CLASE 3	CLASE 3.1 Y 3.2
	ROLLIZOS		CLASE 4
	TABLEROS		CLASE 5

DISEÑO* - MONTAJE	CÁLCULO ESTRUCTURAL
MADERA	CTE - DB - AE
UNIONES	CTE - DB - SE
	CTE - DB - SE - M
	CTE - DB - SI





4. Tipos de **productos y derivados de madera para construcción**

Madera en rollo estructural

Madera aserrada estructural

Madera empalmada estructural

Madera aserrada encolada

Madera laminada encolada

Perfiles de madera reconstituida

Tableros estructurales

Vigas mixtas prefabricadas

Paneles sándwich de cerramiento

Paneles sándwich portantes

4. Tipos de **productos y derivados de madera para construcción**

Madera en rollo **estructural**



- Pies derechos en construcciones de uso agrícola como cobertizos y naves de pequeñas luces o como soportes de pasarelas y pasos elevados.
- Viguetas de forjado de piso y parecillos en cubiertas.
- Construcciones de embarcaderos y pantalanes.
- Pilotes de cimentación.
- Cercados, empalizadas, postes de señalización y equipamiento de parques y jardines.

4. Tipos de **productos y derivados de madera para construcción**

Madera aserrada **estructural**



- Estructuras de luces pequeñas (4 a 6 metros) y medias (6 a 16 metros) formando una estructura completa o como parte de ella en los sistemas mixtos
- Sistemas de entramado ligero: viguetas de forjado, pies derechos de los muros de entramados y estructuras de cubierta (vanos de hasta 12 a 16 m)

4. Tipos de **productos y derivados de madera para construcción**

Madera empalmada **estructural (KHV)**



- Material más homogéneo con longitudes notablemente mayores que la madera aserrada del que procede, tan sólo limitadas por las habituales de transporte (14 m)
- Se comercializa clasificado, con asignación de clase resistente y un contenido de humedad en el entorno de un 15 %.

4. Tipos de **productos y derivados de madera para construcción**

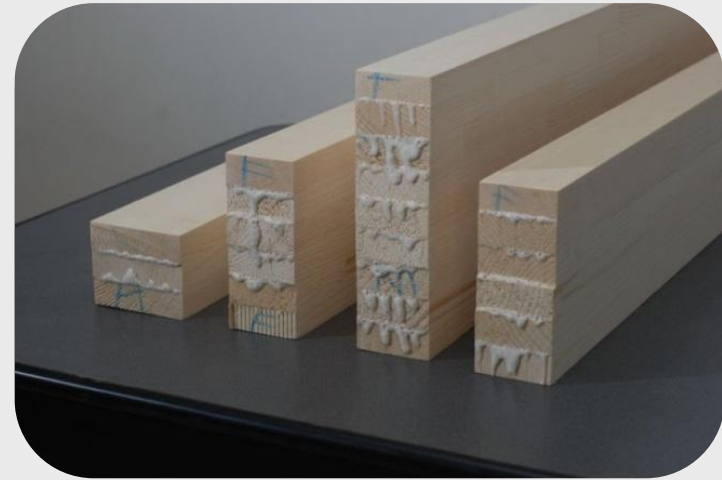
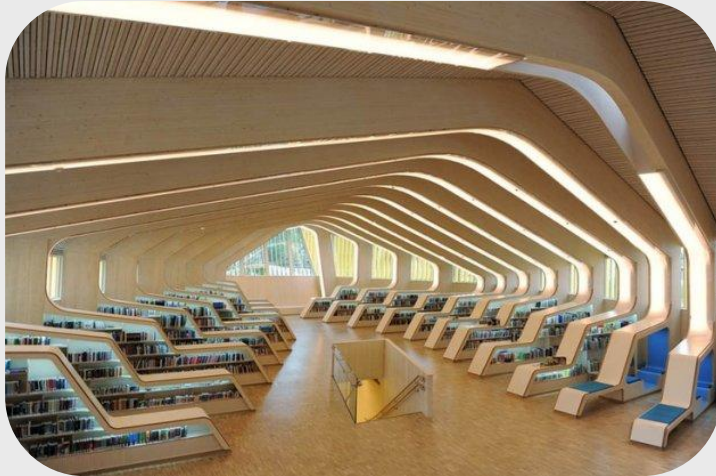
Madera aserrada encolada (**dúos y tríos**)



- Comparte los usos estructurales con la madera aserrada y laminada encolada en luces pequeñas y medias.
- Vigas, viguetas, pares y correas en viviendas y edificios de luces reducidas. Presentan la ventaja de permitir luces y escuadrías mayores que la madera aserrada.

4. Tipos de **productos y derivados de madera para construcción**

Madera laminada **encolada**



- Grandes luces libres en edificios de uso público, comercial o deportivo. Luces de 30 a 70 m.
- Luces moderadas (8 a 14 m) en construcciones mixtas de madera aserrada y laminada, para los elementos principales.
- Estructura de cubierta de peso propio reducido.
- Cuando se requiere un aspecto natural y cálido y cuando se precisa una resistencia a los agentes químicos agresivos.

4. Tipos de productos y derivados de madera para construcción

Madera microlaminada (KERTO)



- Específicamente diseñado para usos estructurales debido a la elevada resistencia, uniformidad de sus propiedades y a su poco peso
- Mayoritariamente coníferas

4. Tipos de **productos y derivados de madera para construcción**

Perfiles de madera reconstituida (**PSL, LSL, OSL**)



Tableros estructurales (**madera maciza, contrachapados, partículas, OSB**)





- **Eficiencia mecánica**
- **Eficiencia energética** durante su transformación
- Material **renovable** y sumidero de **CO₂**
- Evolución de su tecnología: **productos estructurales más fiables y económicos**
- **Mejor conocimiento**: estructural, ecológico y medioambiental
- Normativas y procedimientos en **constante mejora y adaptación**



Fire Station 76; Gresham, OR / Hennebery Eddy Architects.



Wood Innovation Design Center (WIDC) / Michael Green Architecture



Jackson Hole Airport / Gensler + Martin

sí

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Soledad Rodríguez Lazcano

srodriguez@cetemas.es



CETEMAS
CENTRO TECNOLÓGICO FORESTAL Y DE LA MADERA



asmadera

ASOCIACIÓN ASTURIANA DE
EMPRESARIOS FORESTALES Y
DE LA MADERA