

**REPÀS DE CONCEPTES PRÀCTICS:
DIAGNOSI, DEFICIÈNCIES I ACTUACIÓ
EN REHABILITACIÓ D'ESTRUCTURES.**

**5. *Deficiències que afecten
les estructures – II***

Fusta

Índex

- Reconeixement del sistema.
- Comportament estructural.
- Classificació de deficiències.
- Patologies, lesions, deficiències i possibles causes.
- Principals mesures correctores.

Reconeixement del sistema

Reconeixement del sistema

- La madera es el recurso natural más antiguo del que dispone el hombre. A lo largo de su historia le ha proporcionado protección, herramientas, alimento y combustible. Su valor es inapreciable porque es la única fuente natural de recursos que el hombre es capaz de ir renovando. Otros recursos como el carbón y el petróleo se agotarán, pero el bosque, si se planifica con inteligencia, continuará produciendo madera por tiempo indefinido.
- *“La madera es cronológicamente el primer material capaz de resistir, por igual, a tracción y a compresión, según la dirección de sus fibras. Es el único material vivo que se emplea , en grande, en la construcción, y como todo lo que proporciona la Vida, es algo más adaptable, menos rígido y esquemático que los otros. No hay dos piezas iguales en sus fibras y nudos, como no son nunca iguales las huellas de los dedos humanos; y el atractivo que tiene la madera procede, en gran parte, de esas cualidades vitales.*

Por otra parte,..., se acusa también su menor durabilidad. ... Ciertamente, la técnica actual ha ideado tratamientos que alargan enormemente la duración de las maderas; pero, con ello y con todo, la madera ha de mirar, el ladrillo y el mismo hormigón con igual envidia con que los hombres de hoy se acuerdan de Matusalén.

Aun después de muerta es mucho más sensible que otros materiales a los agentes ecológicos. Puede decirse que la madera no acaba de morir nunca”

Razón y ser de los tipos estructurales – Eduardo Torroja

Reconeixement del sistema

La casa de madera más antigua de Europa



La que está considerada la casa más antigua de Europa se encuentra en Suiza, en el cantón de Schwyz, ahí se encuentra la Casa Bethlehem que tiene más de 700 años. La casa Bethlehem ha sobrevivido durante estos 7 siglos a varios percances (entre ellos un incendio). Hoy es reconocida como la casa de madera más antigua de Europa.

Se estima que fue construida durante el verano de 1287 por los miembros pudientes de una familia, se utilizaron los troncos del bosque local y posiblemente fueron ayudados por un maestro carpintero, como era costumbre en la época.

Hoy la casa Bethlehem alberga un museo y así es como tras 700 años la casa sigue en pie, ha sido habitada por diferentes generaciones, siendo éste un secreto de su longevidad y permanencia.

Fuente: swissinfo

Reconeixement del sistema

Tipologías más utilizadas en Catalunya

estructura horizontal – jácenas y vigas

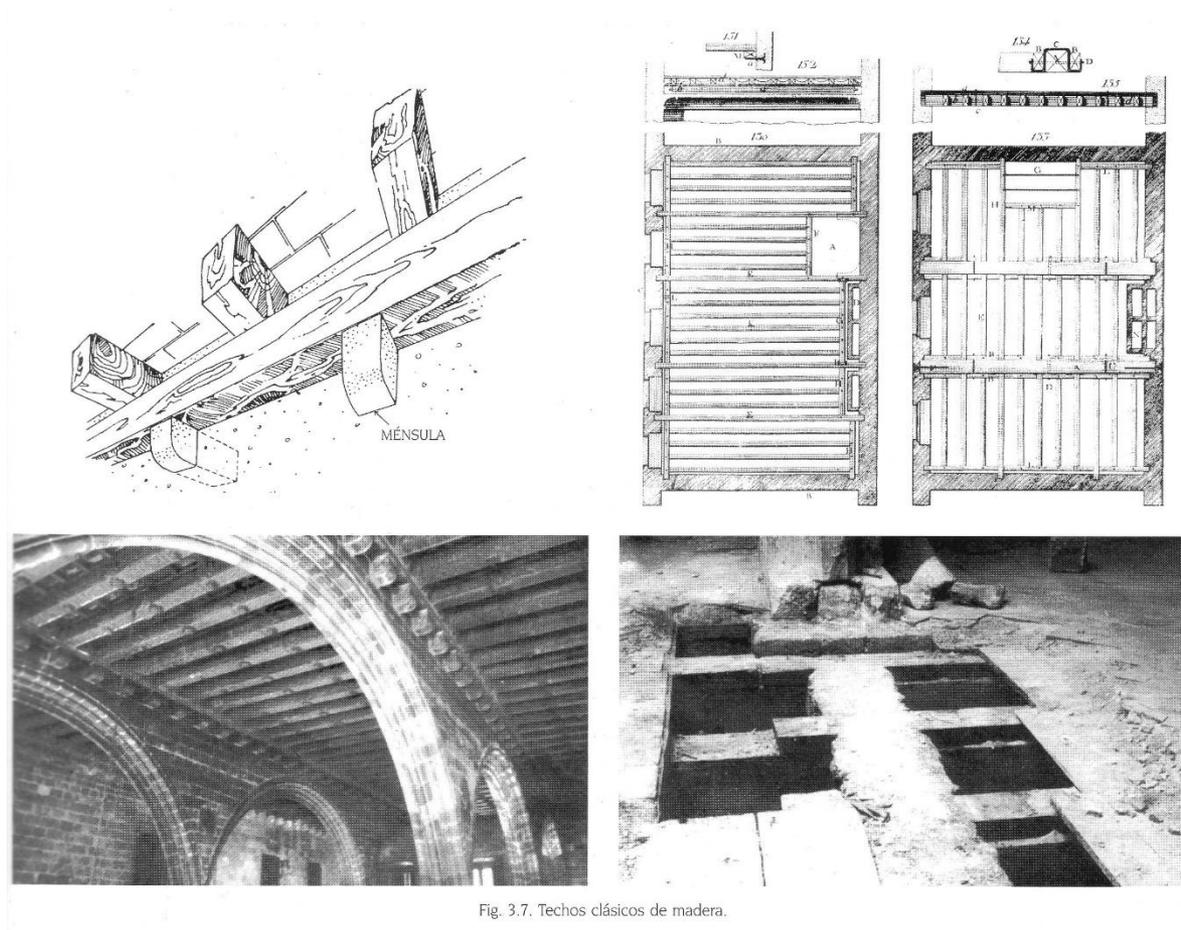


Fig. 3.7. Techos clásicos de madera.

Reconeixement del sistema

Tipologías más utilizadas en Catalunya estructura horizontal – jácenas y vigas

Para salvar mayores luces sin tener que recurrir al empleo de grandes jácenas intermedias, existía una solución mucho más eficaz que el uso de ménsulas: la colocación de jabalcones que proporcionan puntos de apoyo intermedios en cada viga. Esto, no obstante, aumenta los empujes horizontales al muro.

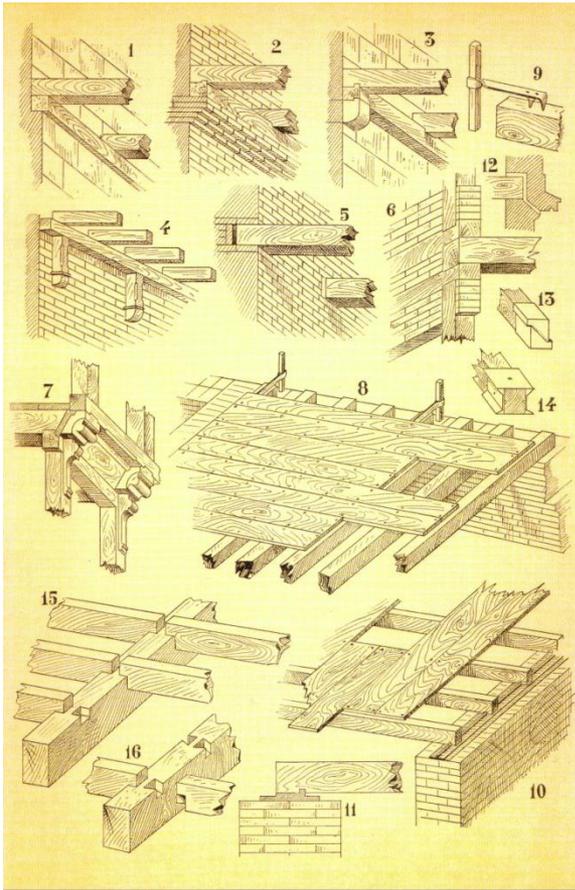


* También podemos contemplar esta eficaz solución en el claustro de San Juan de los Reyes en Toledo.

Reconeixement del sistema

Tipologies més utilitzades en Catalunya

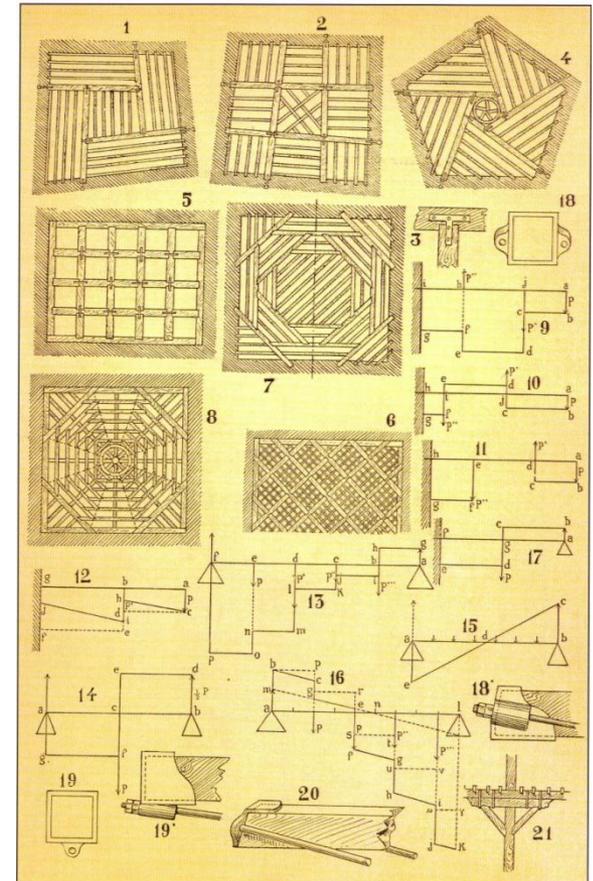
estructura horizontal – jácenas y vigas



Exponemos ahora láminas extraídas del Tratado práctico de arquitectura y construcción modernas, de Domènec Sagrañes (1916), que ilustra detalles de unión y apoyos de los elementos de madera, así como la posibilidad de utilización de piezas curvas para cubrir grandes luces.

Se aprecia el cuidado por la ventilación de las cabezas, y soluciones en algún punto dudosas (entregas a media madera – pérdida de sección a cortante).

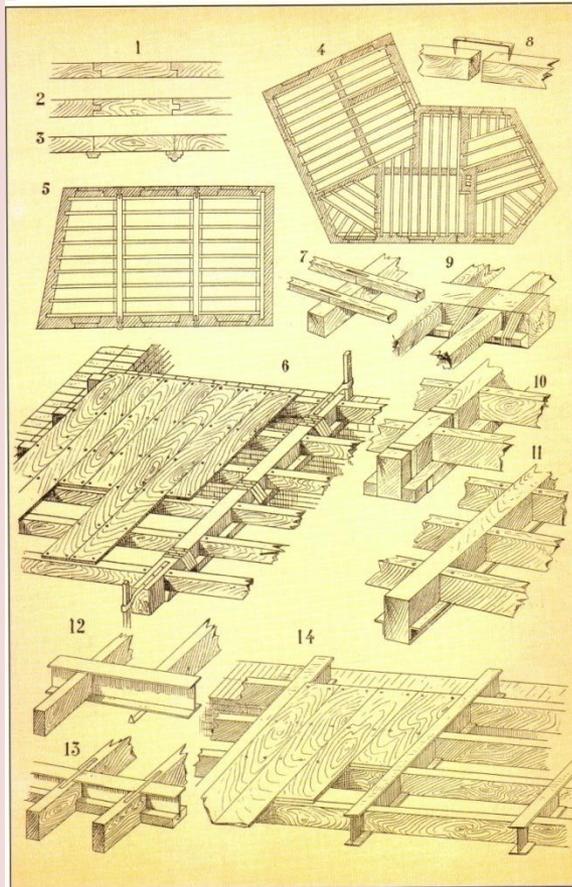
Aparecen también elementos metálicos: el inicio de la construcción mixta.



Reconeixement del sistema

Tipologías más utilizadas en Catalunya

estructura horizontal – entrevigados

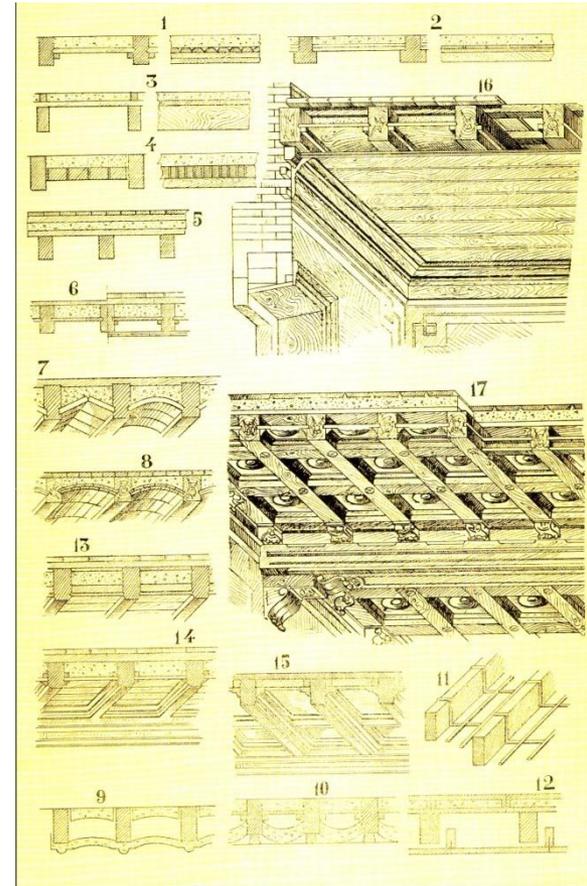


A partir de la descripció de Vitrubio, se conformaban una serie de capas sobre las vigas, que en ocasiones alcanzaban los 40 cm, con las mismas prestaciones que el terreno firme.

Para ahorrar madera, el grueso va menguando, así como la rigidez del forjado, que comienza a vibrar, pierde masa y aislamiento acústico. Para mejorar esta degradación, en los siglos XVIII y XIX se llenan los entrevigados con arena o cascote.

El forjado típico está realizado con llantas y entarimado de madera. A partir de mediados del XIX, se populariza el revoltó de dos gruesos de rasilla.

Fuera de Catalunya, aparece dentro de la carpintería de armar, los techos decorados con artesonados y lacerías, desde el siglo XIII hasta el modernismo. Acaba formando parte de la estructura del forjado.

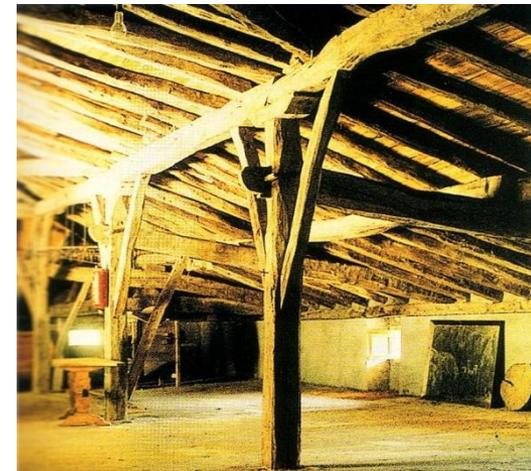
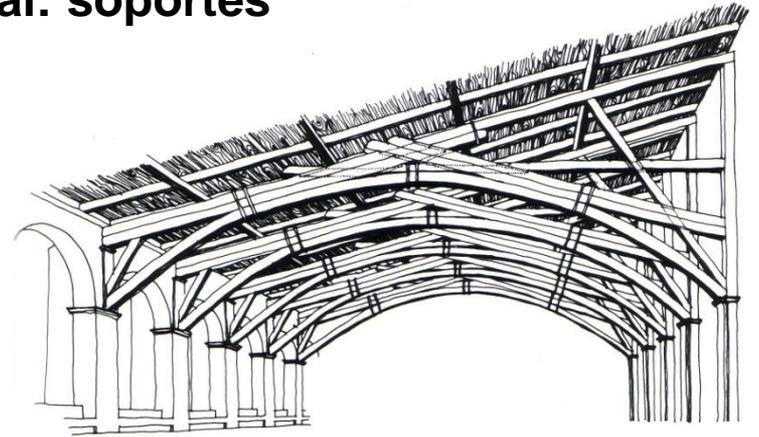


Reconeixement del sistema

Tipologías más utilizadas en Catalunya

estructura vertical: soportes

- En Catalunya casi no se ha utilizado la madera como elemento estructural vertical. Puede encontrarse algún pilar como caso aislado, pero los edificios se han acostumbrado a realizar con paredes de carga, de sillería, tapia o ladrillo.
- Hay, no obstante, construcciones “mixtas”, sobre todo rurales, compuesto por fachadas portantes y el interior organizado a base de “postes” y vigas, cuya estabilidad está garantizada por las fábricas exteriores. Estas estructuras son diáfanas, y requieren ciertos elementos estabilizadores, como pueden ser tornapuntas entre pilares y vigas principales.



Reconeixement del sistema

Tipologies més utilitzades en Catalunya

estructura vertical: entramados

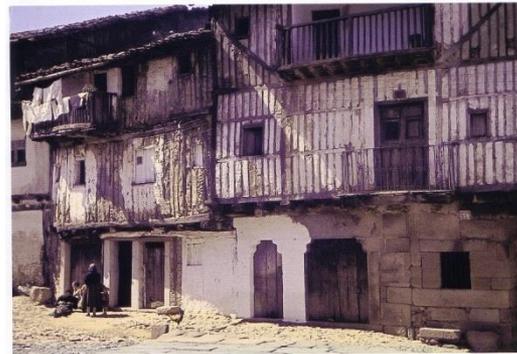
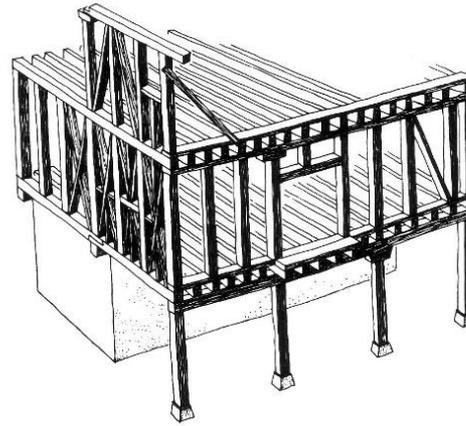
Más ligada a la tradició centroeuropea, sobre todo por la cornisa Cantábrica y los terrenos castellano-leoneses, se da la construcción entramada, donde se utiliza la madera para organizar el esqueleto estructural de la edificación.

La realización de este tipo de estructuras tiene su propia técnica, que requería la existencias de buenos carpinteros conocedores del oficio.

La construcción entramada española no alcanza el grado de las Fachwerkhäuser alemanas o las maisons a colombage francesas, pero sus principios constructivos son similares.

La organización más generalizada consiste en formar paredes con maderos verticales separados entre sí, que se apoyan en uno horizontal – solera -. Las cabezas de estos maderos verticales se recogen con una carrera horizontal, y la estabilidad del conjunto se consigue con maderos inclinados (triángularizando el plano). Posteriormente se rellenaban los huecos, rigidizándose la estructura y protegiéndola de la humedad.

Para preservar la madera de la humedad, se construían grandes aleros, incluso en las sucesivas plantas que se añadían.



1. Esta fotografía de La Alberca, realizada hace más de treinta años muestra su arquitectura entramada a consecuencia de la pérdida progresiva de revocos. No se vea allí donde entorera, pero me temo que sus maderas, en origen ocultas, hoy serán protagonistas de un folio tipano.

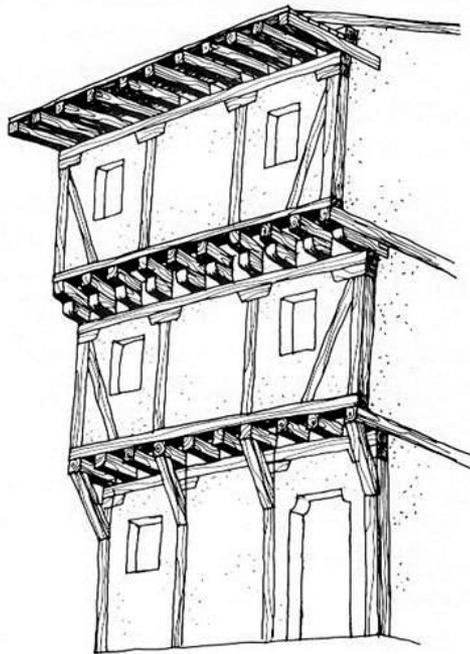


8. Este ejemplo de Albarracín nos muestra la gran facilidad que ofrece la madera a la construcción de vuelos allí donde sea posible por inverosímil que parezca.

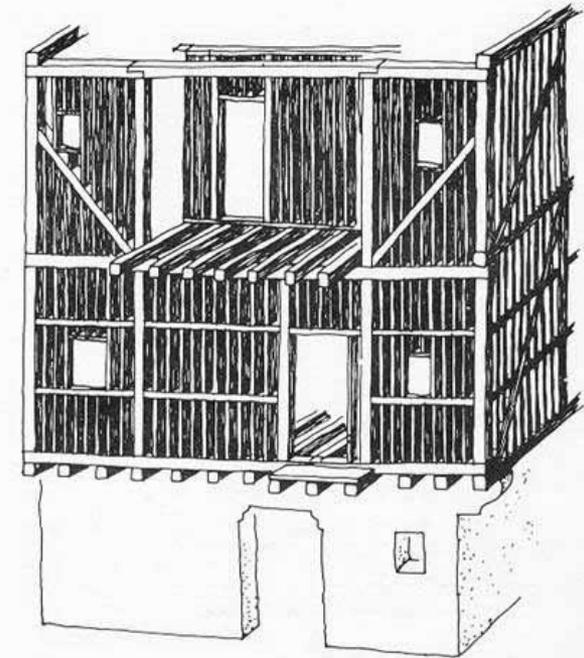
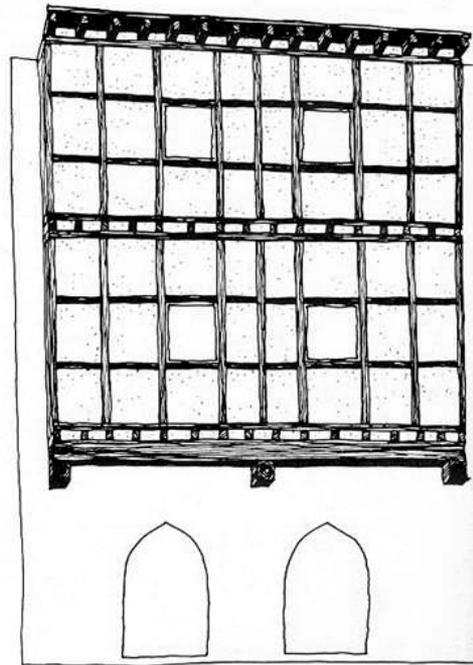
Reconeixement del sistema

Tipologías más utilizadas en Catalunya

estructura vertical: entramados



6.8

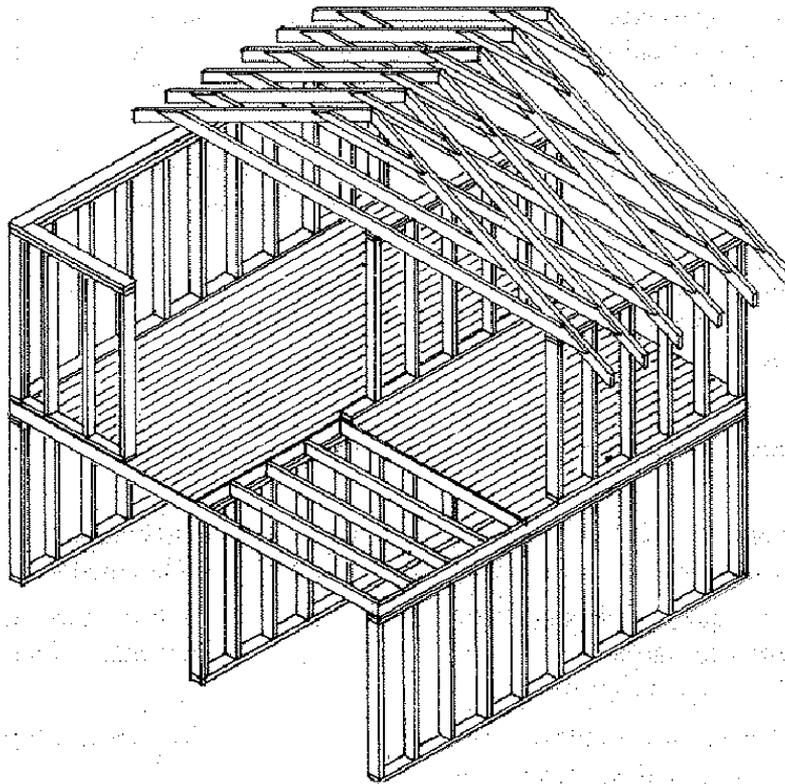


6.9

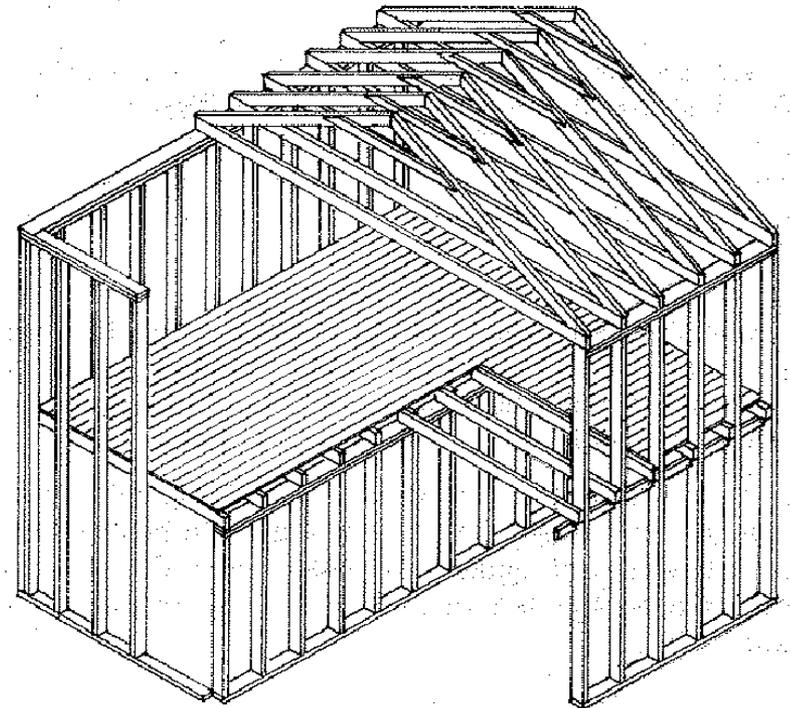
Reconeixement del sistema

Tipologies: tradicions foràneas

“balloon frame” – “platform framing”



(a) entramado plataforma



(b) entramado global o integral

Reconeixement del sistema

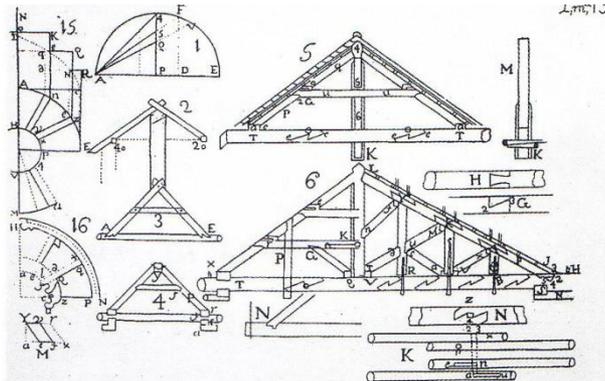
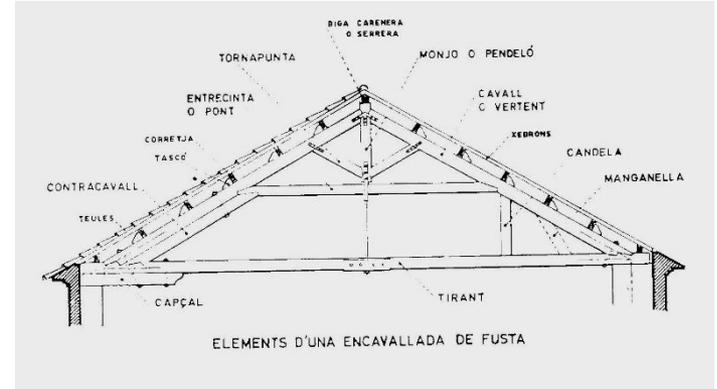
Tipologies més utilitzades en Catalunya

estructura de cubiertes - cerchas

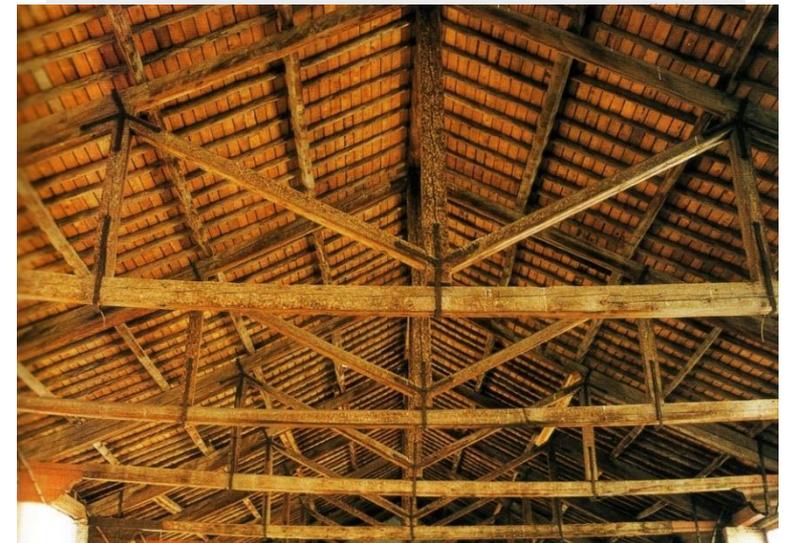
Recuperando los conocimientos sobre la triangulación que tenían los romanos, comienzan a aparecer las armaduras o cerchas.

La ilustración del tratado de García Berruguilla (s.XVIII) indica que ya se conocía la forma de organizar estructuras partiendo de cerchas trianguladas. También aparece la armadura de par y nudillo, pero relegada a un segundo plano.

Una vez conocidas las ventajas del sistema, y de hacerse habitual su empleo, los carpinteros se atreven a realizar cerchas de gran ligereza, como la de la fotografía.



9. Esta ilustración del tratado de García Berruguilla demuestra que en el siglo XVIII ya se conocía la forma de organizar estructuras partiendo de cerchas trianguladas. La tradicional armadura de par y nudillo sobre estribos atirantados aparece también, pero claramente relegada a un segundo plano.



Comportament estructural

Comportament estructural

Anisotropía de la madera

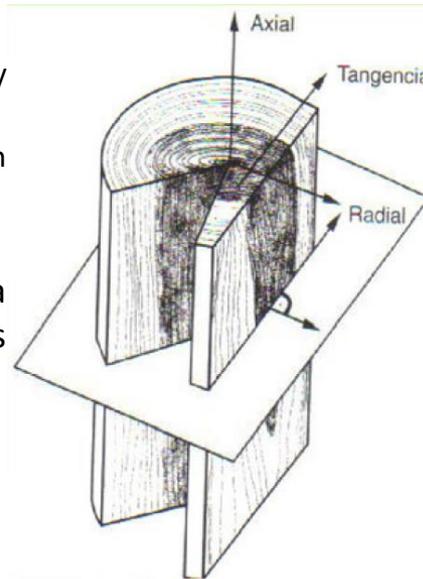
-Las propiedades físicas y las características mecánicas de la madera dependen de la dirección del esfuerzo respecto a la dirección de las fibras.

-Se consideran tres direcciones principales:

- Axial: paralela al eje de crecimiento del árbol
- Radial: perpendicular a la axial, y cortando al eje del árbol
- Tangencial: perpendicular a la dirección axial y a la radial.

-Para definir las propiedades de la madera, distinguiremos dos direcciones principales:

- Paralela a la fibra
- Perpendicular a la fibra



Fuente: Vignote 1995

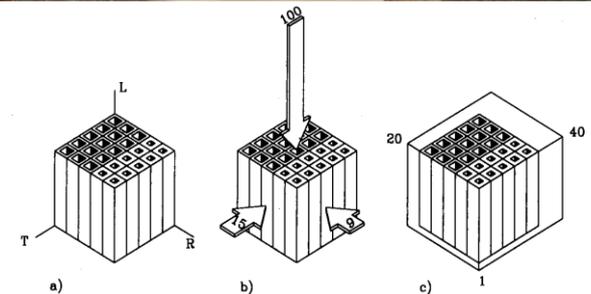
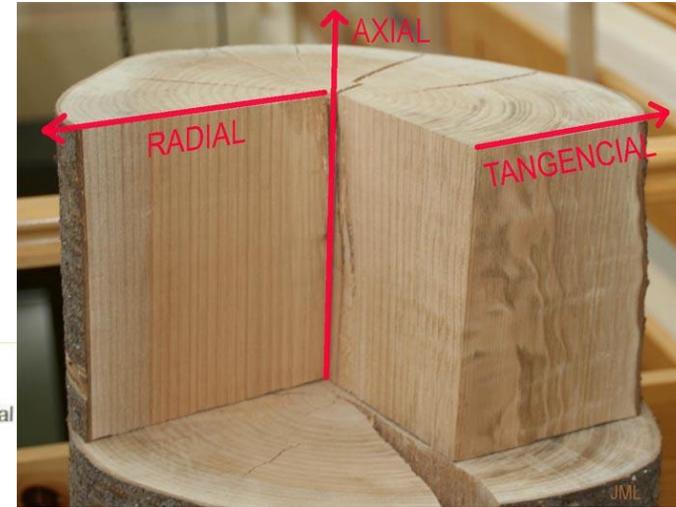
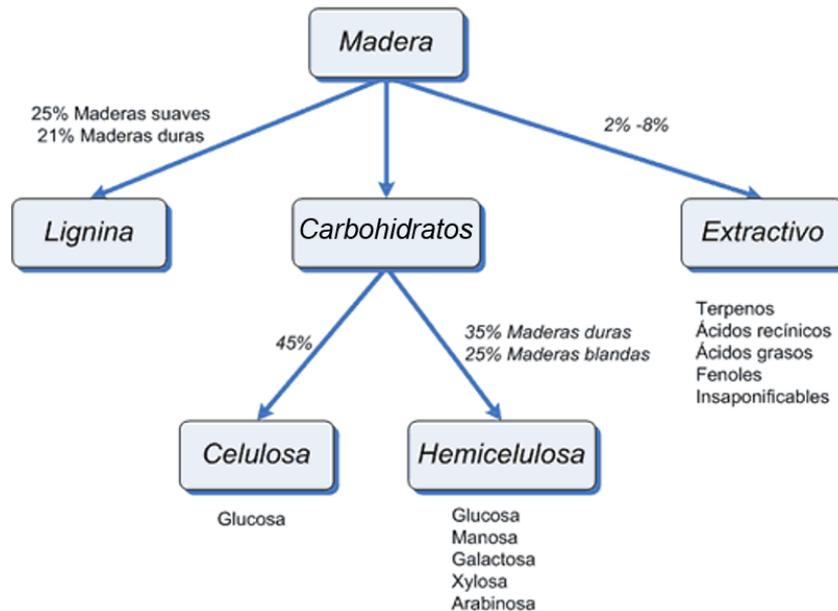


Figura 1.5. Anisotropía de la madera.

a) Direcciones principales, b) Resistencia relativa a compresión, c) Hinchazón y merma relativa.

Comportament estructural

Composició química de la madera



COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS CONSTITUYENTES DE LA PARED CELULAR

El análisis de los distintos componentes será el siguiente:

CELULOSA

La celulosa es el principal componente estructural de la madera. Sería el equivalente a las armaduras en el hormigón armado.

La celulosa es un polímero lineal, cuya fórmula es $(C_6H_{10}O_5)_n$ siendo el valor de n varios miles de unidades.

HEMICELULOSA

Se considera a la hemicelulosa como el agente cementante que mantiene aglomeradas las microfibrillas y evita fisuras cuando las fibras de la madera son sometidas a esfuerzos de torsión, flexión o compresión que actúan sobre ellas.

La hemicelulosa, también un polímero, cuyas fórmulas $(C_5H_8O_4)_n$ y $(C_6H_8O_4)_n$ siendo el valor de n de centenares de unidades. Su grado de polimerización es menor que el de la celulosa.

LIGNINA.

Podríamos decir que la lignina actúa como impermeabilizante de las cadenas de celulosa (muy hidrófilas) y como aglomerante de las *estructuras fibrilares de las células*.

Comportament estructural

Humedad de la madera. Relaciones agua - madera

- Es la propiedad más importante, pues influye sobre todas las demás, propiedades físicas, mecánicas, mayor o menor aptitud para su elaboración, estabilidad dimensional y resistencia al ataque de seres vivos.
- El agua es el vehículo de transporte que utilizan las plantas para su alimento, esto, unido a la higroscopicidad de la madera, hace que esta tenga normalmente en su interior cierta cantidad de agua, que es necesario conocer antes de su uso, debido a las modificaciones que produce en las características físicas y mecánicas.
- El agua en la madera, puede estar presente de tres formas diferentes:
 - Agua de constitución o agua combinada: Es aquella que entra a formar parte de los compuestos químicos que constituyen la madera. Forma parte integrante de la materia leñosa (de su propia estructura), y no se puede eliminar si no es destruyendo al propio material (por ejemplo, quemándola).
 - Agua de impregnación o de saturación: Es la que impregna la pared de las células rellenando los espacios submicroscópicos y microscópicos de la misma. Se introduce dentro de la pared celular, siendo la causa de la contracción de la madera cuando la pierde (desorción) y de su expansión o hinchamiento cuando la recupera (sorción: retención de agua). Se puede eliminar por calentamiento hasta 100 - 110° C.
 - Agua libre: Es la que llena el lumen de las células o tubos (vasos, traqueidas, etc.) Es absorbida por capilaridad.
- El agua libre, una vez perdida por la madera, ya no puede ser recuperada a partir de la humedad atmosférica. Para recuperarla, habrá de ser por inmersión directa en el agua. El agua libre no tiene mas repercusión que la ocupación física de los huecos, y por consiguiente no influye en la hinchazón o merma de la madera ni en las propiedades mecánicas.
- Las dos últimas, impregnación y libre son las que constituyen la humedad de la madera. La humedad es la cantidad de agua que contiene la madera expresada en % de su peso en estado anhidro o húmedo.

Comportament estructural

Humedad de la madera. Relaciones agua - madera

Cuadro de estado de la madera según el % de humedad.

- Madera empapada:
Hasta un 150% de humedad aproximadamente (sumergida en agua)
- Madera verde:
Hasta un 70% de humedad (madera en pie o cortada en monte)
- Madera saturada:
30% de humedad (sin agua libre, coincide con P.S.F.)
- Madera semi-seca:
del 30% al 23% de humedad (madera aserrada)
- Madera comercialmente seca:
del 23% al 18% (durante su estancia en el aire)
- Madera secada al aire:
del 18% al 13% (al abrigo de la lluvia)
- Madera desecada (muy seca):
menos del 13% (secado natural o en clima seco)
- Madera anhidrida:
0% (en estufa a 103° C. Estado inestable)

Humedad normal para ensayos: Las humedades de la madera para la realización de ensayos han sido el 12 y el 15% según países y normas. Actualmente tiende a usarse la humedad de equilibrio que se obtiene a una temperatura de 20°C. y con una humedad relativa del 65%, lo que nos da una humedad en la madera de aproximadamente del 12%.

Para las obras, la guía de humedad que debe de tener la madera según la naturaleza de la obra, es la siguiente:

Obras hidráulicas: 30% de humedad (contacto en agua)
Túneles y galerías: de un 25% a un 30% de humedad (medios muy húmedos)

Andamios, encofrados y cimbras: 18% al 25% de humedad (expuestos a la humedad)

En obras cubiertas abiertas: 16% a 20% de humedad.

En obras cubiertas cerradas: 13% a 17% de humedad.

En locales cerrados y calentados: 12% al 14% de humedad

En locales con calefacción continua: 10% al 12% de humedad.

Comportament estructural

Humedad de equilibrio higroscópico de la madera

- Condiciones de ensayo de las propiedades mecánicas de la madera:

- **20°C** de temperatura y **65%** de Humedad relativa del aire

- Humedad equilibrio higroscópico de la madera : **12%**

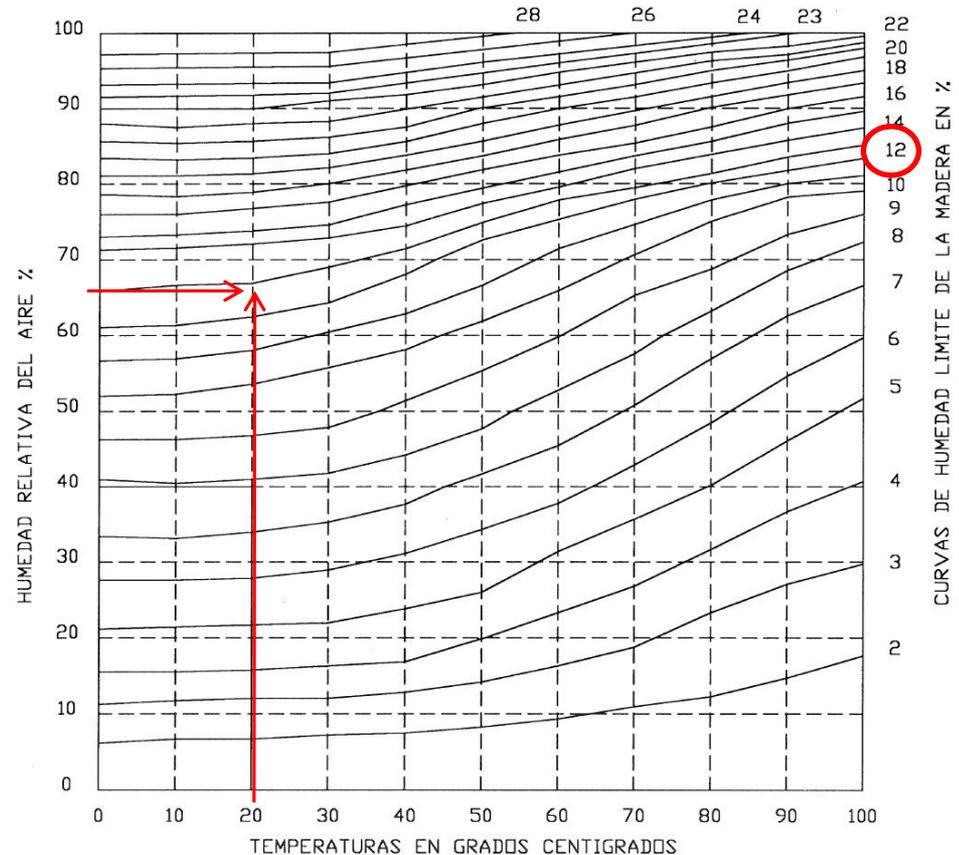
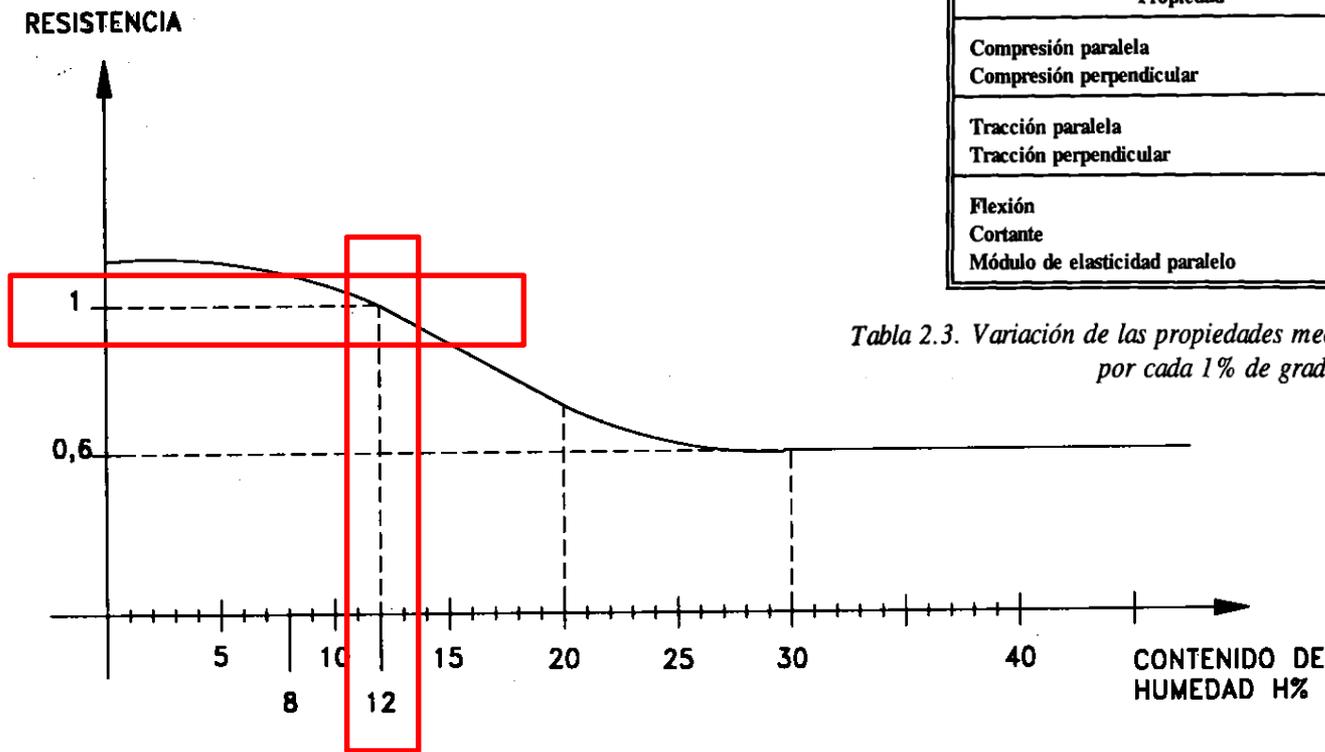


Figura 2.1. Curvas de equilibrio higroscópico de la madera.

Comportament estructural

Humedad de la madera: relación con la resistencia



Propiedad	Variación (%)
Compresión paralela	5
Compresión perpendicular	5
Tracción paralela	2,5
Tracción perpendicular	2
Flexión	4
Cortante	3
Módulo de elasticidad paralelo	1,5

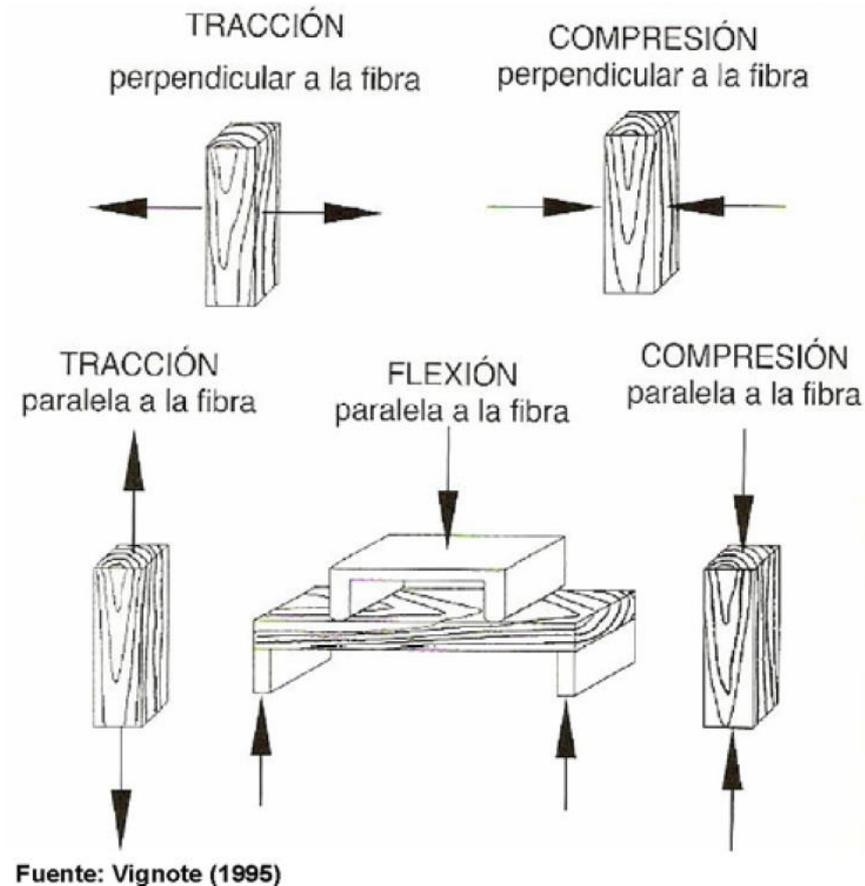
Tabla 2.3. Variación de las propiedades mecánicas de la madera libre de defectos por cada 1% de grado de humedad.

Figura 2.13. Relación entre el contenido de humedad y las propiedades mecánicas en la madera libre de defectos.

Comportament estructural

Propiedades mecánicas

- **Resistencia elevada:**
Flexión
Tracción paralela
Compresión paralela
- **Resistencia intermedia:**
Cortante
- **Resistencia reducida:**
Compresión perpendicular (aprox. 1/5 de la paralela)
- **Resistencia muy reducida:**
Tracción perpendicular (aprox. 1/30 de la paralela)
- **Módulos de elasticidad:**
Longitudinal : $E=7.000\sim 12.000 \text{ N/mm}^2$
Transversal: $G= E/16$



Comportament estructural

Propiedades mecánicas

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

- La madera es un material muy indicado para trabajar a tracción (en la dirección de las fibras), **los problemas aparecerán en las uniones.**
- **La rotura de la madera por tracción se puede considerar como una rotura frágil.**
- La resistencia a la tracción de la madera presenta valores elevados.
- En la práctica existen algunos inconvenientes, que se han de tener en cuenta; en la zona de agarre existen compresiones, taladros, etc., que haría romper la pieza antes por raja o cortadura, con lo que no se aprovecharía la gran resistencia a la tracción. Por otra parte, **los defectos de la madera, tales como nudos, inclinación de fibras, etc., afectan mucho a este tipo de solicitación**, disminuyendo su resistencia en una proporción mucho mayor que en los esfuerzos de compresión.

FACTORES QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

- **Humedad** La resistencia a la tracción paralela a la fibra aumenta de forma más o menos lineal desde el punto de saturación de las fibras hasta el 10%, con un aumento del 3% por cada disminución de humedad del 1%. Entre el 8 y el 10% de humedad existe un máximo, a partir del cual disminuye ligeramente.
- **Temperatura** El efecto de la temperatura es menor en la tracción paralela, que en otros tipos de esfuerzos.
- **Nudos** Los nudos afectan enormemente frente a este esfuerzo,
- **Inclinación de la fibra:** Un ángulo de 15° reduce la resistencia a la tracción a la mitad y si el ángulo es de 30° la resistencia es 1/5 de la que tendría si la dirección del esfuerzo fuese paralela a la fibra.

Comportament estructural

Propiedades mecánicas

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

- La madera, en la dirección de las fibras, resiste menos a compresión que a tracción, siendo la relación del orden de 0,50,

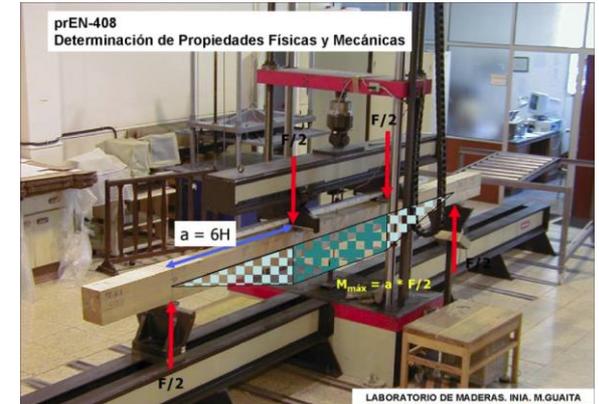
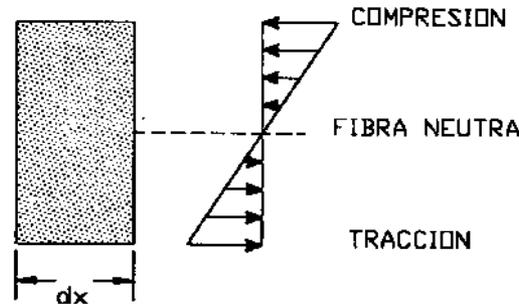
FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

- Inclinación de fibras - el efecto de reducción de la resistencia por la misma es bastante menor que en tracción.
- Densidad - Existe una relación lineal, pudiéndose considerar que a mas densidad más resistencia.
- Humedad - La influencia es prácticamente nula por encima del punto de saturación de las fibras y aumenta a partir de dicho punto, al disminuir la humedad. Entre el 8 y el 18% de humedad, se considera que la variación es lineal.
- Nudos - Su influencia es menor que en la tracción.
- Constitución química - Las maderas con mayor cantidad de lignina, como las tropicales, resisten mejor a la compresión. Las bolsas de resinas no tienen influencia, pero como hacen aumentar el peso específico hace que baje la cota de calidad.

Comportament estructural

Propiedades mecánicas

FLEXION ESTÁTICA



INFLUENCIAS QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

- **Inclinación de la fibra:** es muy similar a la de la resistencia a la tracción.
- **Peso específico:** Existe una relación lineal entre resistencia a la flexión y densidad. En los casos de no seguir esta relación se deben a maderas con contenido de resinas elevado.
- **Contenido de humedad:** La resistencia a la flexión tiene un máximo para un grado de humedad del 5%, disminuyendo la resistencia desde dicha humedad hasta el P.S.F. La variación entre el 8 y el 15% se puede considerar lineal
- **Temperatura:** La resistencia a la flexión decrece al aumentar la temperatura; este crecimiento es mayor al aumentar la humedad.
- **Nudos y fendas:** La influencia de los nudos varía según su posición: es mayor cuanto mayor sea el momento flector; y tiene más influencia si está en la zona traccionada que en la de compresión.
- **Fatiga:** La resistencia a la flexión disminuye al aumentar el tiempo de carga, reduciéndose, al cabo de los años, en porcentajes del 50 al 75% respecto a la resistencia en un ensayo normal de flexión estática.

Comportament estructural

Clasificación de la madera: coníferas

Tabla E.1 Madera aserrada. Especies de coníferas y chopo. Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente

Propiedades		Clase resistente											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Resistencia (característica) en N/mm²													
- Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
- Tracció paralela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
- Tracció perpendicular.	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
- Compresió paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	22	22	23	25	26	27	29
-Compresió perpendicular	$f_{c,90,k}$	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
Rigidez, en kN/mm²													
- Mòdul de elasticitat paralelo medio	$E_{0,medio}$	7	8	9	9,5	10	11	11.5	12	13	14	15	16
- Mòdul de elasticitat paralelo 5 ⁰ -percentil	$E_{0,k}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
- Mòdul de elasticitat perpendicular medio	$E_{90,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
- Mòdul transversal medio	G_{medio}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Densidad, en kg/m³													
- Densidad característica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
- Densidad media	ρ_{medio}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Comportament estructural

Clasificación de la madera: frondosas

Tabla E.2 Madera aserrada. Especies frondosas. Valores de las propiedades asociadas a cada Clase resistente

Propiedades	Clase Resistente							
	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Resistencia (característica), en N/mm²								
- Flexión $f_{m,k}$	18	24	30	35	40	50	60	70
- Tracción paralela $f_{t,0,k}$	11	14	18	21	24	30	36	42
- Tracción perpendicular. $f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
- Compresión paralela $f_{c,0,k}$	18	21	23	25	26	29	32	34
-Compresión perpendicular. $f_{c,90,k}$	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
Rigidez, kN/mm²								
-Módulo de elasticidad paralelo medio $E_{0,medio}$	10	11	12	12	13	14	17	20
- Módulo de elasticidad paralelo 5º-percentil $E_{0,k}$	8,4	9,2	10,1	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
- Módulo de elasticidad perpendicular medio $E_{90,medio}$	0,67	0,73	0,80	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
- Módulo transversal medio G_{medio}	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
Densidad, kg/m³								
-Densidad característica ρ_k	500	520	530	540	550	620	700	900
- Densidad media ρ_{medio}	610	630	640	650	660	750	840	1080

Comportament estructural

Clasificación de la madera: madera laminada homogénea

Tabla E.3 Madera laminada encolada homogénea. Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente

Propiedades		Clase Resistente			
		GL24h	GL28h	GL32h	GL36h
Resistencia (característica), en N/mm²					
- Flexión	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
- Tracción paralela	$f_{t,0,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26
- Tracción perpendicular	$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6
- Compresión paralela	$f_{c,0,g,k}$	24	26,5	29	31
- Compresión perpendicular	$f_{c,90,g,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6
- Cortante	$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3
Rigidez, en kN/mm²					
- Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,g,medio}$	11,6	12,6	13,7	14,7
- Módulo de elasticidad paralelo 5 ⁰ -percentil	$E_{0,g,k}$	9,4	10,2	11,1	11,9
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,g,medio}$	0,39	0,42	0,46	0,49
- Módulo transversal medio	$G_{g,medio}$	0,72	0,78	0,85	0,91
Densidad, en kg/m³					
Densidad característica	$\rho_{g,k}$	380	410	430	450

Comportament estructural

Clasificación de la madera: madera laminada combinada

Tabla E.4 Madera laminada encolada combinada.
Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente

Propiedades		Clase Resistente			
		GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
Resistencia (característica), en N/mm²					
- Flexión	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
- Tracción paralela	$f_{t,0,g,k}$	14	16,5	19,5	22,5
- Tracción perpendicular.	$f_{t,90,g,k}$	0,35	0,4	0,45	0,5
- Compresión paralela	$f_{c,0,g,k}$	21	24	26,5	29
- Compresión perpendicular	$f_{c,90,g,k}$	2,4	2,7	3,0	3,3
- Cortante	$f_{v,g,k}$	2,2	2,7	3,2	3,8
Rigidez, en kN/mm²					
- Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,g,medio}$	11,6	12,6	13,7	14,7
- Módulo de elasticidad paralelo 5º-percentil	$E_{0,g,k}$	9,4	10,2	11,1	11,9
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,g,medio}$	0,32	0,39	0,42	0,46
- Módulo transversal medio	$G_{g,medio}$	0,59	0,72	0,78	0,85
Densidad, en kg/m³					
- Densidad característica	$\rho_{g,k}$	350	380	410	430

Comportament estructural

Clasificación de la madera: maderas utilizadas en España

Tabla C.1. Asignación de clase resistente para diferentes especies arbóreas y procedencias según normas de clasificación.

Norma	Especie (Procedencia)	Clase resistente									
		C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	D35	D40
UNE 56.544	Pino silvestre (España)	-	-	ME-2	MEG	-	ME-1	-	-	-	-
	Pino pinaster (España)	-	-	ME-2	-	ME-1	-	-	-	-	
	Pino insignis (España)	-	-	ME-2	-	ME-1	-	-	-	-	
	Pino laricio (España)	-	-	ME-2	MEG	-	-	ME-1	-	-	
NF B 52.001-4	Abeto (Francia)	-	-	-	ST-III	ST-II	-	ST-I	-	-	
	Falso abeto (Francia)	-	-	-	ST-III	ST-II	-	ST-I	-	-	
	Pino oregón (Francia)	-	-	-	ST-III	ST-II	-	-	-	-	
	Pino pinaster (Francia)	-	-	ST-III	-	ST-II	-	-	-	-	
DIN 4074	Abeto (Europa: Central, N y E)	-	S7	-	-	S10	-	S13	-	-	
	Falso abeto (Europa: Central, N y E)	-	S7	-	-	S10	-	S13	-	-	
	Pino silvestre (Europa: Central, N y E)	-	S7	-	-	S10	-	S13	-	-	
INSTA 142	Abeto (Europa: N y NE)	T0	-	T1	-	T2	-	T3	-	-	
	Falso abeto (Europa: N y NE)	T0	-	T1	-	T2	-	T3	-	-	
	Pino silvestre (Europa: N y NE)	T0	-	T1	-	T2	-	T3	-	-	
BS 4978	Abeto (Reino Unido)	-	GS	-	-	SS	-	-	-	-	
	Pino silvestre (Reino Unido)	-	GS	-	-	SS	-	-	-	-	
BS 5756	Iroko (África)	-	-	-	-	-	-	-	-	HS	
	Jarrah (Australia)	-	-	-	-	-	-	-	-	HS	
	Teca (África y Asia SE)	-	-	-	-	-	-	-	-	HS	

Nota: La norma UNE EN 14081-4 establece para las distintas especies maderables europeas, las cuales son las asignaciones de clases resistentes aplicables a las maderas clasificadas mecánicamente mediante el uso de máquinas tipo Cook-Bolinder y Computermatic.

Tabla C.3. Especies arbóreas, citadas en la Tabla C.1.

Especie arbórea	Nombre botánico	Procedencia
Abeto	<i>Abies alba</i> Mill.	Austria
		Europa: C,N,E y NE
		Francia
		Holanda
Chopo	<i>Populus</i> sp.	Reino Unido
Falso abeto	<i>Picea abies</i> Karst.	España
Iroko	<i>Milicia excelsa y regia</i>	Francia
Jarrah	<i>Eucalyptus marginata</i> sm.	Europa: C,N,E y NE
Pino insignis	<i>Pinus radiata</i> D. Don.	Africa
Pino laricio	<i>Pinus nigra</i> Arnold.	Australia
Pino Oregón	<i>Pseudotsuga menziessii</i> Fr.	España
Pino pinaster	<i>Pinus pinaster</i> Ait.	Canadá
Pino silvestre	<i>Pinus sylvestris</i> L.	EE.UU
Teca	<i>Tectona grandis</i> L.	Francia
		España
		Francia
		Austria
		España
		Europa: C,N,E y NE
		Holanda
		Reino Unido
		Africa
		Asia SE

Coníferas: Pino silvestre (*pino rojo, pino Valsaín, pino Norte*); Pino pinaster (*pino gallego*); Pino insignis (*pino radiata*); Pino laricio

Fronosas: Eucalipto; Castaño; Roble; Chopo

Coníferas del Resto de Europa: Abeto; Falso abeto; Pino pinaster; Pino oregón; Pino silvestre

Fronosas de África: Teca; Iroko

Comportament estructural

Madera existente: ¿qué clase resistente tiene?

Actualmente se está tratando de valorar la resistencia de los elementos de madera de una estructura mediante la realización de ensayos no destructivos y de la clasificación visual

A continuación veremos algunos.

Clasificación visual

Ultrasonidos

Vibraciones inducidas

Arrancamiento de tornillo

Penetrómetro (Pilodín)

Resistógrafo

Determinación de especie

Ensayo de Flexión (destructivo)

Comportament estructural

Madera existente: ¿qué clase resistente tiene?

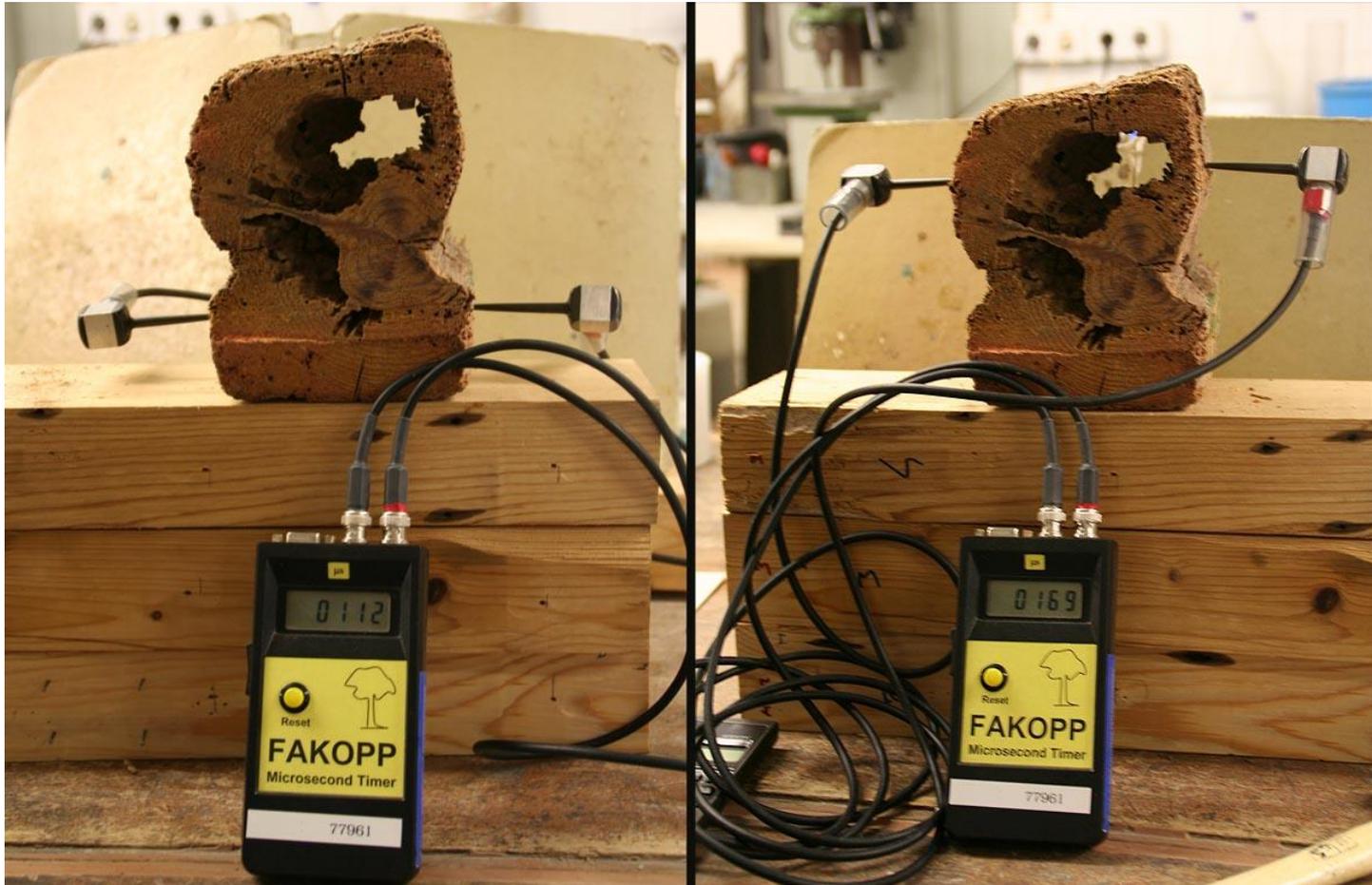


Clasificación visual

FORJADOS DE VIGAS DE MADERA PROSPECCION		Ref. Estudio Fecha	17/7/17	CLASIFICACION CATEGORIA DE RIESGO																																															
IDENTIFICACION DE LA VIGA		DISEÑA DE 10.1 a 10.2																																																	
SOLUCION DE FORJADO				AMBIENTE																																															
Entrevigado				<input checked="" type="checkbox"/>																																															
Distancia Interjes (cm.)																																																			
Pavimento																																																			
Senos																																																			
Apoyo Exterior	MUR Madera			ZONA DE RIESGO																																															
Apoyo Interior	MUR >60cm			<input checked="" type="checkbox"/>																																															
DIMENSIONES DE LA VIGA (cm.)				TOMA DE MUESTRAS																																															
Luz	340	Canto visto	29	Madera <input checked="" type="checkbox"/>																																															
Anchura base	26	Canto total	29	Insectos <input checked="" type="checkbox"/>																																															
Fecha aparente				RESULTADO																																															
				Madera <input checked="" type="checkbox"/>																																															
				Insectos <input checked="" type="checkbox"/>																																															
<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Exterior</td> <td>Centro</td> <td>Interior</td> </tr> <tr> <td>Percusión</td> <td>M</td> <td>R</td> <td>R</td> </tr> <tr> <td>Puntón</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tablón</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Anchura de anillos</td> <td>15</td> <td>14-19-15-17</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Humedad en viga (%)</td> <td>Sala 15</td> <td>Sala 9</td> <td></td> </tr> </table>			Exterior	Centro	Interior	Percusión	M	R	R	Puntón				Tablón				Anchura de anillos	15	14-19-15-17		Humedad en viga (%)	Sala 15	Sala 9		<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Exterior</td> <td>Centro</td> <td>Interior</td> </tr> <tr> <td>ATAQUES BIÓTICOS</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pudriciones</td> <td>No</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hongos</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Síntomas insectos c1</td> <td colspan="3">Carcoma de ca 4cm todas vigas</td> </tr> <tr> <td>Termitas</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			Exterior	Centro	Interior	ATAQUES BIÓTICOS				Pudriciones	No			Hongos				Síntomas insectos c1	Carcoma de ca 4cm todas vigas			Termitas			
	Exterior	Centro	Interior																																																
Percusión	M	R	R																																																
Puntón																																																			
Tablón																																																			
Anchura de anillos	15	14-19-15-17																																																	
Humedad en viga (%)	Sala 15	Sala 9																																																	
	Exterior	Centro	Interior																																																
ATAQUES BIÓTICOS																																																			
Pudriciones	No																																																		
Hongos																																																			
Síntomas insectos c1	Carcoma de ca 4cm todas vigas																																																		
Termitas																																																			
SINGULARIDADES DE LA MADERA		<p>NOTAS</p> <p>① Carcoma superficial en lateral. Esquina superior y lateral.</p> <p>Redondeada en parte superior recuerda a las de la cubierta</p> <p>Expansión ③ sección redondeada</p> <p>1/2 Interior (zona Masha) 26%</p>																																																	
Viga rota	Alabeos de cara		Fibras retorcidas																																																
Nudos	faldado inferior Duro.																																																		
Gemas	Longitud																																																		
	Anchura máx.																																																		
	Canto máx.																																																		
	Situación																																																		
Feridas	Longitud	4cm	Profundidad 4cm																																																
	Profundidad																																																		
	Cara																																																		

Comportament estructural

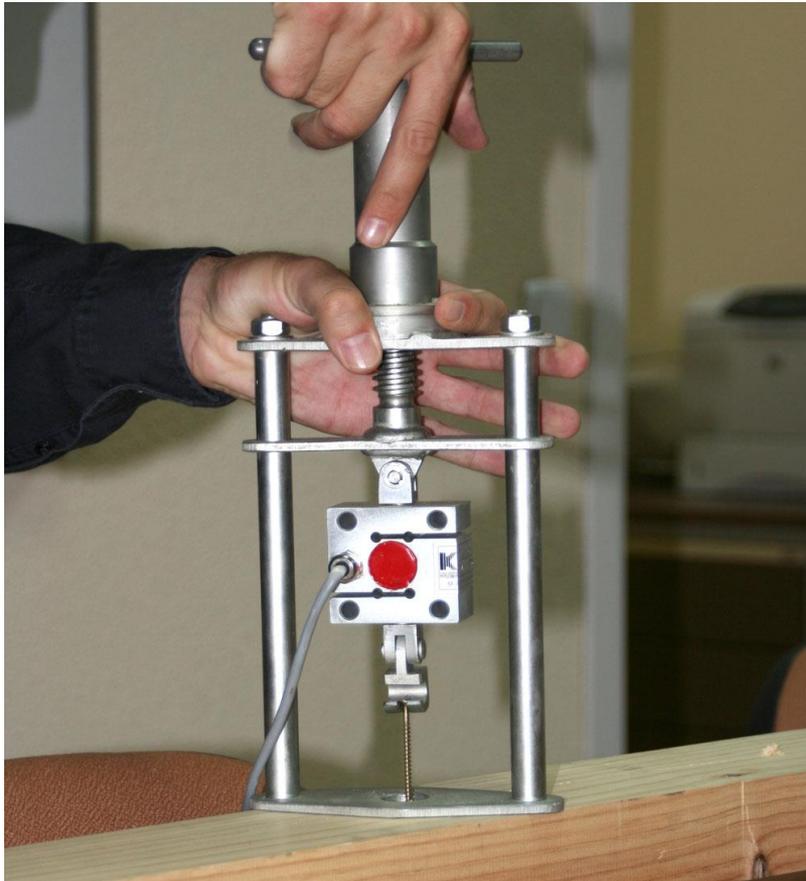
Madera existente: ¿qué clase resistente tiene?



Ultrasonidos

Comportament estructural

Madera existente: ¿qué clase resistente tiene?



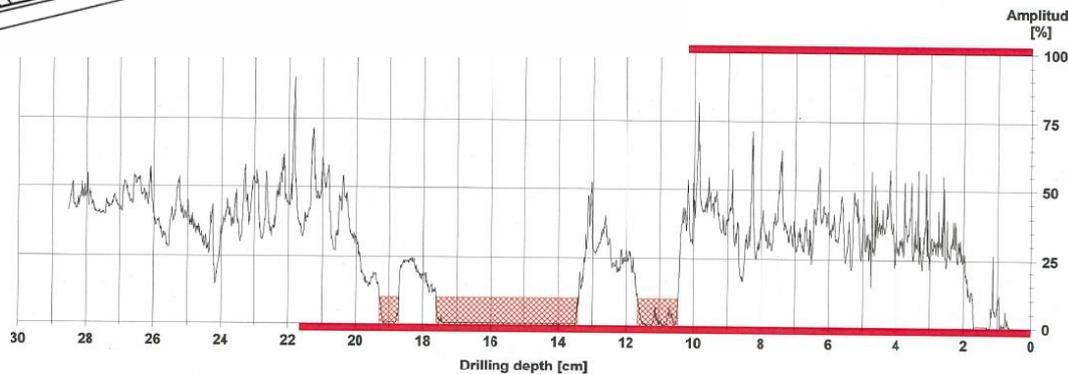
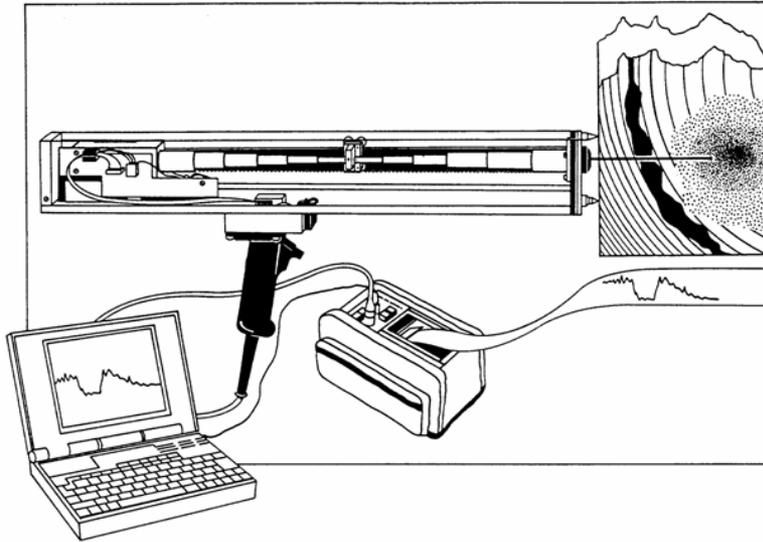
Arrancamiento de tornillo



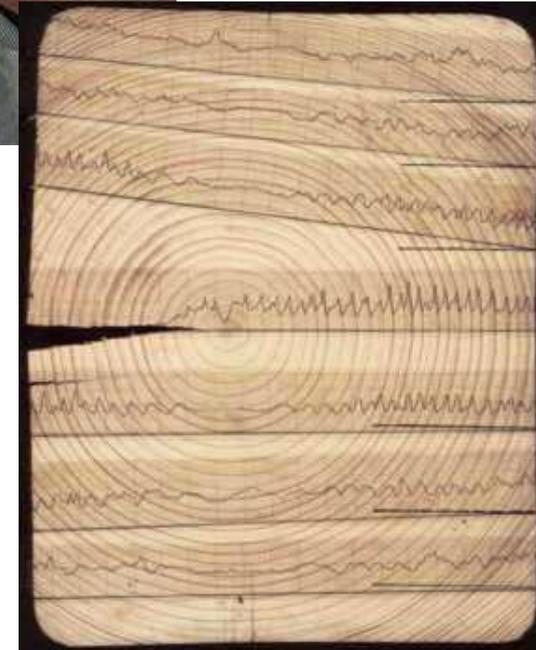
Pilodin

Comportament estructural

Madera existente: ¿qué clase resistente tiene?

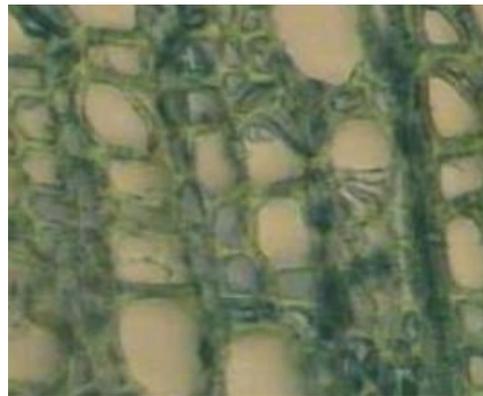
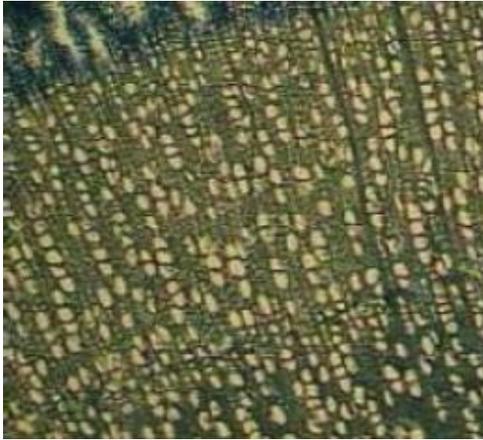


Resistógrafo

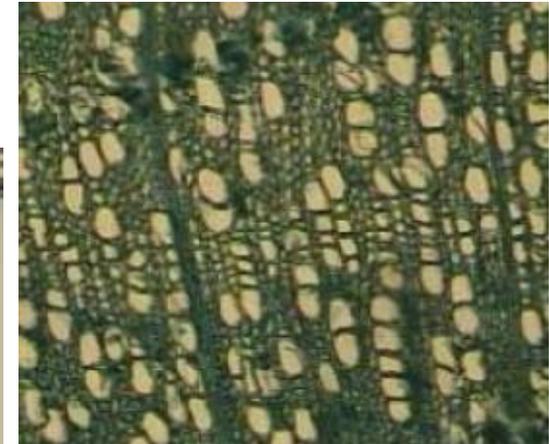


Comportament estructural

Madera existente: ¿qué clase resistente tiene?



Determinación de especie



Comportament estructural

Madera existente: ¿qué clase resistente tiene?



Ensayos destructivos

Comportament estructural

Valor de la resistència de la fusta: característic i càlcul

Valor de càlcul

Al igual que el resto de materials presents en el CTE, se deberà obtenir un valor de càlcul afectat de una sèrie de coeficients.

En el cas de la fusta, a més del “típic” coeficient parcial de seguretat del material, deberem tenir en cuenta altres coeficients que quantifiquen aspectes particulars d'aquest material.

Per obtenir el **valor de càlcul de la fusta** se proposa la següent expressió:

$$X_d = k_{\text{mod}} \cdot \left(\frac{X_k}{\gamma_M} \right) \cdot k_i$$

Siendo:

X_d	Valor de càlcul del material.
X_k	Valor característic del material.
γ_M	Coefficient parcial de seguretat segons <i>tabla 2.3 de DB-SE-M (ver anexo pág.36)</i>
k_{mod}	Factor de modificació, segons classe de duració de la càrrega i classe de servei.
k_i	Factor de correcció de la resistència. En ell se representen els diferents factors de correcció de la resistència: altura, longitud i càrrega compartida, concretats en un sol paràmetre.

Comportament estructural

Valor de la resistència de la madera: característic i càlcul

Coefficiente parcial de seguridad

En el caso de la madera se presentan los siguientes coeficientes parciales de seguridad para el cálculo de la resistencia γ_M :

Tabla 2.3 Coeficientes parciales de seguridad para el material, γ_M .

Situaciones persistentes y transitorias:	
- Madera maciza	1,30
- Madera laminada encolada	1,25
- Madera microlaminada, tablero contrachapado, tablero de virutas orientadas	1,20
- Tablero de partículas y tableros de fibras (duros, medios, densidad media, blandos)	1,30
- Uniones	1,30
- Placas clavo	1,25
Situaciones extraordinarias:	
	1,0

Como se puede observar, y al igual que otros materiales tenemos diferentes coeficientes de seguridad en función del tipo de material y elemento.

Comportament estructural

Valor de la resistència de la fusta: característic i càlcul

Factor de modificació k_{mod}

El factor de modificació té en compte l'efecte de la duració de la càrrega i del contingut de humedat de la fusta.

Duració de la càrrega

En el DB-SE-M se planteja la següent taula per a duració de la càrrega:

Tabla 2.2 Clases de duración de las acciones

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

Al realitzar combinacions, lo més habitual és que existin càrregues amb diferent duració, per aquest motiu el CTE proposa en el peu de la *tabla 2.4 de DB-SE-M* que:

“Si una combinació de accions inclou accions pertanyents a diferents classes de duració, el factor k_{mod} ha de triar-se com el corresponent a l'acció de més curta duració”

Clase de servicio

El contingut de humedat de la fusta afecta a les propietats mecàniques com ja hem vist. Per aquest motiu, i per evitar problemes de canvi de volum, se aconsellen les següents humedats:

- Expuesto a la lluvia 18-25%
- Exterior no expuesto 16-20%
- Interior no calefactado 13-17%
- Interior calefactado 12-14%

Comportament estructural

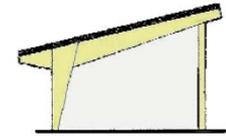
Valor de la resistència de la fusta: característic i càlcul

A nivell normatiu, se estableixen tres classes de servei:

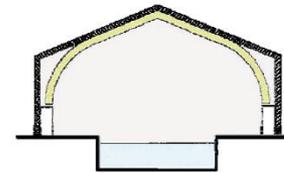
	T (°C)	HR (%)	Humitat d'equilibri higroscòpic mitjana (%)
CS1	20±2	<65	< 12
CS2	20±2	<85	< 20
CS3	Otras situaciones más desfavorables		> 20



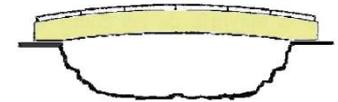
Cubierto y cerrado: CS1



Cubierto: CS2



Piscina cubierta: CS2



Totalmente descubierto: CS3

Factor de modificació

Tal i com se havia comentat, el factor de modificació se obté en funció de la duració de la càrrega i la classe de servei. El CTE presenta els valors del factor de modificació en la següent taula:

Tabla 2.4 Valores del factor k_{mod} .

Material	Norma	Clase de servicio	Clase de duración de la carga				
			Permanente	Larga	Media	Corta	Instantánea
Madera maciza	UNE-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
Madera laminada encolada	UNE-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
Madera microlaminada	UNE-EN 14374, UNE-EN 14279	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

Comportament estructural

Valor de la resistència de la fusta: característic i càlcul

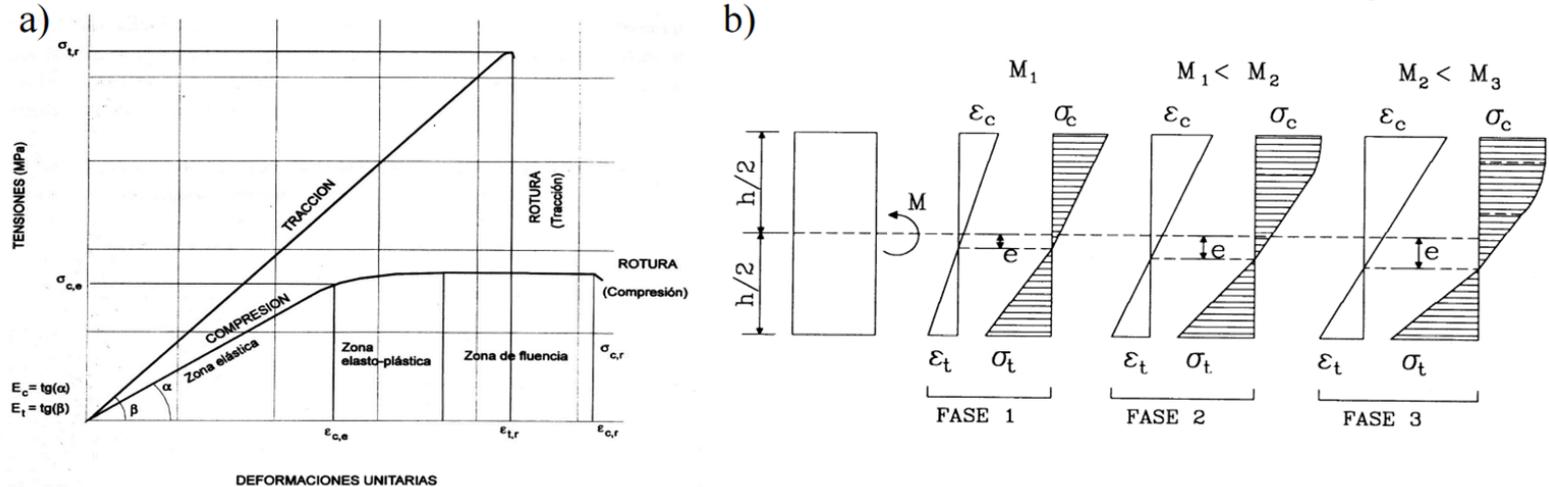


Figura 1. a) Diagrama tensió-deformació en tracció i compressió paral·lela a la fibra; b) Distribució de tensions en flexió (Argüelles & Arriaga, 2000)

fase 1

- Linealitat tensió-deformació
- Diferents pendents de les distribucions de tensions de tracció i compressió causades per els diferents mòduls d'elasticitat: desviació de la fibra neutra (equilibrio de ambos volumens de tensions)

fase 2

- Comienzo de la no-linealitat en la fibra més comprimida
- La ley de distribución de tensiones de compresión se curva en las zonas más comprimidas

fase 3

- La tensión de compresión en la fibra más comprimida alcanza el valor último (plastificación del borde comprimido)
- La deformación de esas fibras aumenta sin hacerlo la tensión
- La desviación e aumenta hasta el orden del 8% del canto
- La rotura se produce cuando se agota la resistencia de tracción

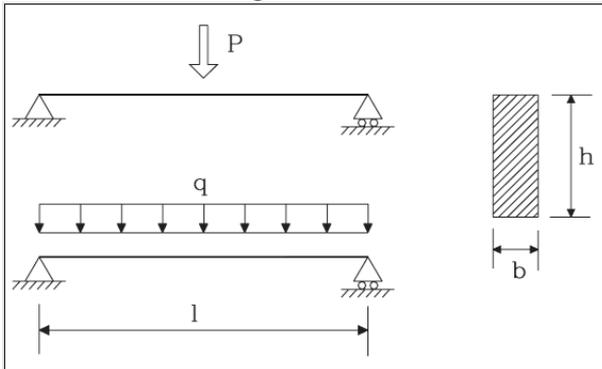
Comportament estructural

E.L.S. - Deformaciones

Deformación inicial. Influencia del cortante

Debido al comportamiento ortotrópico de la madera tiene especial importancia en la consideración de la deformación, la debida al cortante.

A continuación, se proponen las fórmulas de flechas con la consideración de la deformación por flexión y cortante para una carga concentrada en centro de vano y una carga distribuida de una viga biapoyada de sección rectangular constante:



$$w = \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I} \cdot \left[1 + \frac{6}{5} \cdot \frac{E}{G} \cdot \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]$$

$$w = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} \cdot \left[1 + \frac{24}{25} \cdot \frac{E}{G} \cdot \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]$$

Siendo:

- w Flecha.
- P Carga aplicada en centro luz.
- q Carga uniforme.
- l Luz de la viga.
- E Módulo de elasticidad longitudinal.
- I Inercia.
- G Módulo de elasticidad transversal.
- h Canto de la viga.

En ambas expresiones hay dos factores de importancia:

- La relación entre módulos de elasticidad (E/G).
- La relación canto-luz (h/l).

A medida que estos dos factores aumentan, la importancia del cortante en el cálculo de flecha va en aumento.

Comportament estructural

E.L.S. - Deformaciones

Fluencia de la madera

La madera, al igual que el hormigón, tiene deformaciones elástica y plástica (o viscosa) diferidas, que constituyen el fenómeno reológico denominado fluencia.

Bajo tensiones mantenidas del mismo signo, la madera (además de su deformación elástica) toma una deformación plástica (no totalmente recuperable) a lo largo del tiempo, que puede ser varias veces mayor que la elástica (del orden de hasta 3 veces)

No es un comportamiento plástico por exceso de carga, sino algo que se produce también con pequeñas cargas

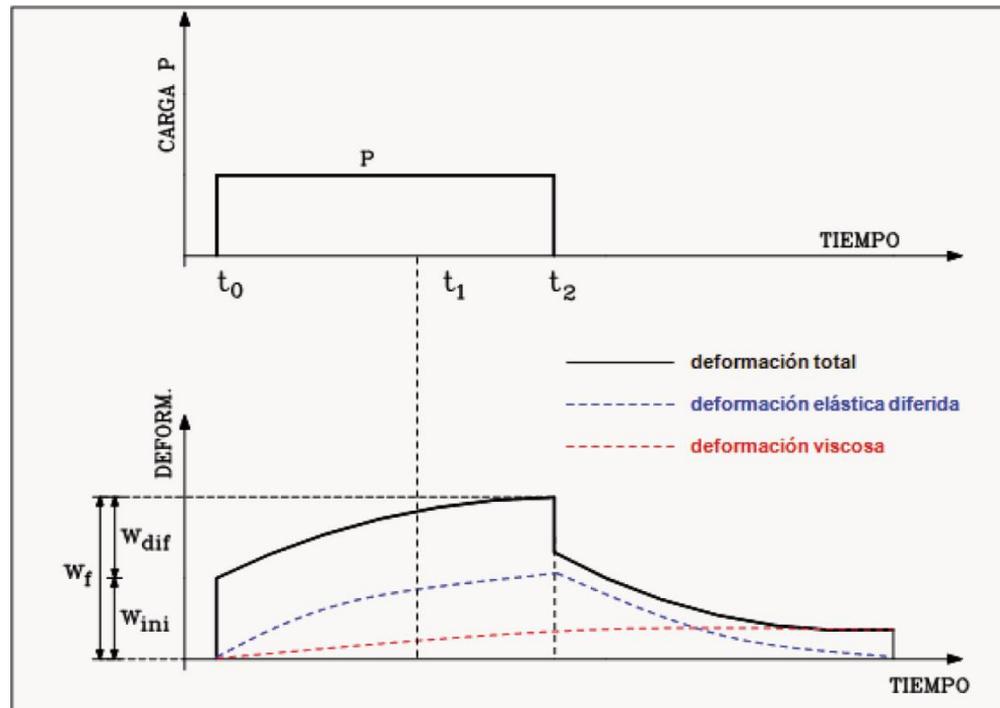
Comportament estructural

E.L.S. - Deformaciones

Deformación diferida de la madera:

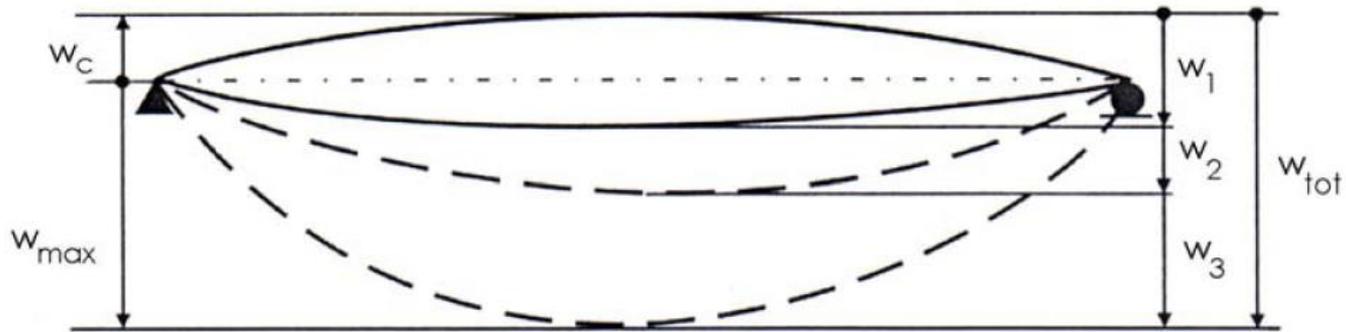
La madera es un material que presenta efectos de deformaciones diferidas en el tiempo, tanto de tipo elástico como viscoso.

Si aplicamos una carga durante un intervalo de tiempo determinado podemos obtener un gráfico carga-descarga frente a la deformación similar al siguiente:



Comportament estructural

E.L.S. - Deformacions



- w_c Contraflecha de ejecució en taller del element estructural de fusta (descargado).
- w_1 Flecha inicial bajo la totalidad de las cargas permanentes actuando sobre la estructura.
- w_2 Componente diferida de la flecha bajo cargas permanentes.
- w_3 Flecha debida a la acción de las sobrecargas y su diferida, bajo la combinación de acciones que resulte pertinente.
- w_{tot} Flecha total, suma de $(w_1+w_2+w_3)$.
- w_{max} Flecha total aparente descontando la contraflecha $(w_{tot}-w_c)$.
- w_{activa} Flecha activa, en general suma de $(w_2+w_3) = (w_{tot}-w_1)$.

Comportament estructural

E.L.S. - Deformaciones

Según DB-SE-M 7.1(4) se considera el efecto de la fluencia incrementando las deformaciones iniciales elásticas, tanto a nivel de pieza, como de unión en el caso de que se esté trabajando con modelos de materiales lineales a través del factor k_{def} :

$$\omega_{fin} = \omega_{ini} + \omega_{dif}; \quad \omega_{dif} = \omega_{ini} \cdot \psi_2 \cdot k_{def}$$

Siendo:

k_{def} factor de fluencia que tiene en cuenta la existencia de cargas permanentes y el contenido de humedad de la madera.

ψ_2 coeficiente de simultaneidad que se obtiene de la tabla 4.2 del DB SE. Para las cargas permanentes, se adoptará $\psi_2=1$
Para la obtención del k_{def} , el CTE nos remite al uso de la tabla 7.1 de DB-SE-M.

Tabla 7.1 Valores de k_{def} para madera y productos derivados de la madera

Material	Tipo de producto	Clase de servicio		
		1	2	3
Madera maciza		0,60	0,80	2,00
Madera laminada encolada		0,60	0,80	2,00
Madera microlaminada (LVL)		0,60	0,80	2,00

- Sólo se considera el efecto de las acciones cuasipermanentes. Se puede interpretar que incluye las cargas permanentes G_k , y variables cuasipermanentes $\sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$
- En caso de trabajar con madera saturada de agua, que se secará una vez construida la estructura, se tomará un valor k_{def} incrementando en 1 el valor de la tabla 7.1.
- En el caso de la combinación casi permanente, sólo se multiplicará una vez por el factor ψ_2 .

Comportament estructural

E.L.S. - Deformaciones

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (ψ)

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes \leq 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

(1) En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

Comportament estructural

E.L.S. – Flechas según CTE SE

Flechas

– Flecha relativa:

- Descenso máximo de vano respecto al extremo de la pieza que lo tenga menor, dividida por la luz del tramo.
- Deben verificarse entre dos puntos cualesquiera de la planta, tomando como luz el doble de la distancia entre ellos

– Criterios de validez

- Integridad de los elementos constructivos, confort de los usuarios y apariencia de la obra

Criterios de validez		Valor límite
Integridad de los elementos constructivos	pisos con tabiques frágiles o pavimentos rígidos sin juntas	1/500
Combinación de acciones característica, considerando sólo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento	pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas	1/400
	resto de los casos	1/300
Confort de los usuarios Cualquier combinación de acciones característica, considerando solamente las acciones de corta duración		1/350
Apariencia de la obra Cualquier combinación de acciones casi permanente		1/300

Comportament estructural

E.L.U. – Indices

Se considera que hay suficiente resistencia de la estructura portante, de un elemento estructural, sección, punto o de una unión entre elementos, si para todas las situaciones de dimensionado pertinentes, se cumple la siguiente condición.

$$E_d < R_d$$

siendo

E_d valor de cálculo del efecto de las acciones

R_d valor de cálculo de la resistencia correspondiente

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

Situaciones persistente o transitoria

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{G,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Situaciones extraordinarias con acciones accidentales

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + A_d + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0

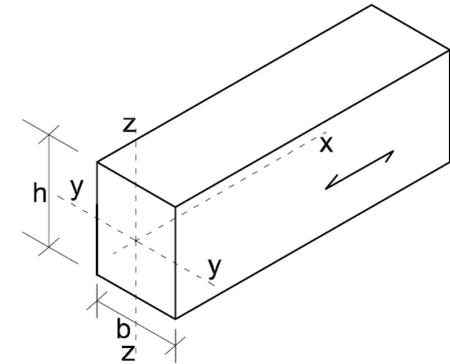
Comportament estructural

E.L.U. – Indices

Siguiendo los principios generales expresados en *DB-SE-M se supone que:*

- La comprobación de solicitaciones en piezas de sección constante de madera maciza, laminada y productos estructurales derivados de la madera con la dirección de las fibras sensiblemente paralela a su eje axial.
- Se supone que las tensiones se orientan sólo según los ejes principales.

Ejes y dirección de fibra de la pieza



Se propone una comparación de índices en función del tipo de comprobación a efectuar, dirección de las fibras, etc:

$$I = \frac{E_d}{R_d} = \frac{\sigma_{\text{tipo,dirección,fibras,diseño}}}{f_{\text{tipo,dirección,fibras,diseño}}} \leq 1$$

Comportament estructural

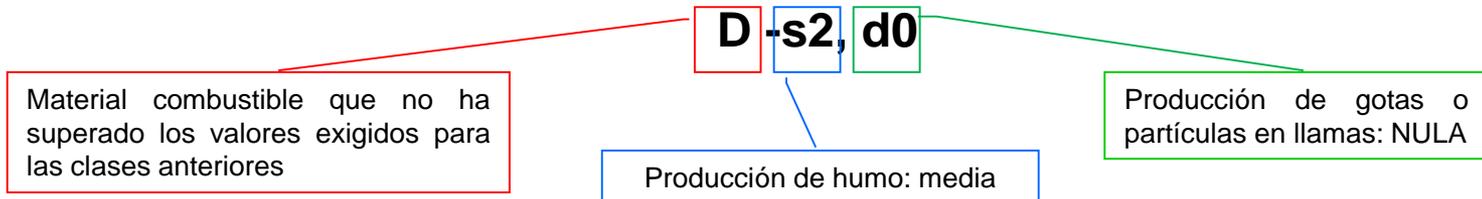
Comprobación frente al fuego

Comportamiento de la madera frente al fuego

Reacción al fuego: Equivalencia aproximada entre UNE 23.727:1990 1R y las Euroclases recientemente aprobadas, UNE-EN 13501-1:2002.

A1 (piedra y hormigón)	M0
A2 (yeso)	M0
B (madera impregnada con productos ignífugos)	M1/M2
C (pared cubierta con tableros derivados de la madera)	M3
D (madera y tableros derivados sin tratamiento ignífugo)	M3/M4
E (tableros de fibras de baja densidad)	M4
F (algunos plásticos)	-

Reacción al fuego de la madera maciza:



Comportament estructural

Comprobación frente al fuego

El comportamiento de la madera frente al fuego en un incendio es extraordinario:

Primero, porque la estructura pierde fuerza progresivamente según se vaya carbonizando; es decir, las vigas de madera y los distintos elementos estructurales van resistiendo cada vez menos porque su sección disminuye por la carbonización del fuego.

En segundo lugar, la madera no desprende gases tóxicos, lo que permite evacuarla más fácilmente.

Tercero, si estamos en el interior de la casa que se encuentra en llamas en su exterior, la madera al ser un material poco conductor del calor, hace de pantalla para que en el interior no se alcancen altas temperaturas y facilitar la evacuación por una ventana, puerta trasera, etc

Las estructuras de madera resultan competitivas y ampliamente favorables en términos de resistencia al fuego.

Las acusaciones a las estructuras de madera en el sentido de incrementar la masa material combustible y de producir humos, resultan injustificadas, pues el aporte de la estructura de madera, en ambos sentidos, durante un incendio, es por lo general despreciable.



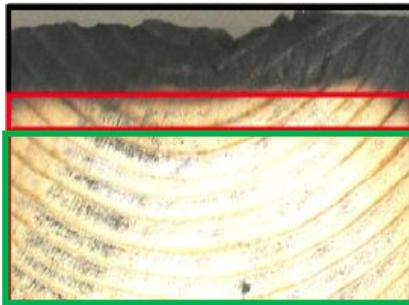
Comportament estructural

Comprobación frente al fuego

- La madera y sus productos derivados están formados principalmente por celulosa y lignina, los cuales se componen de carbono, hidrógeno y oxígeno. Estos componentes la hacen combustible. Sin embargo la madera maciza no arde rápidamente y son realmente pocos los casos en los que en un incendio haya sido el primer material en arder.
- Sin la presencia de llama, la madera necesita una temperatura en la superficie superior a **400 °C** para comenzar a arder en un plazo de tiempo medio o corto. Incluso con la presencia de llama se necesita una temperatura en la superficie de unos **270-300 °C** durante un cierto tiempo antes de que se produzca la ignición. A pesar de que la madera sea un material inflamable a temperaturas relativamente bajas, en relación con las que se producen en un incendio, es más seguro de lo que la gente cree por las siguientes razones:
 - Su baja conductividad térmica hace que la temperatura disminuya hacia el interior
 - La carbonización superficial que se produce impide por una parte la salida de gases y por otra la penetración del calor, por lo que frena el avance de la combustión.
 - Al ser despreciable su dilatación térmica no origina esfuerzos en la estructura ni empujes en los muros.

Comportament estructural

Comprobación frente al fuego



Zona carbonizada: parte de la madera que ha perdido su capacidad resistente y actúa como aislante.

Zona de pirólisis: parte de la madera cuyas propiedades se ven afectadas por el efecto de la temperatura.

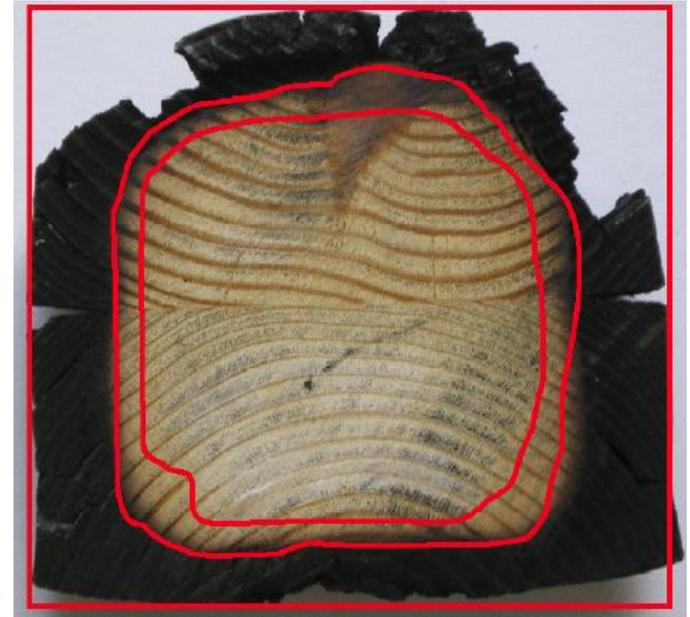
Zona intacta: parte de la madera que conserva intactas sus propiedades de resistencia.

La capa carbonizada actúa de aislante y mantiene el interior de la pieza frío, conservando sus propiedades físico-mecánicas constantes.

La pérdida de capacidad portante de la madera se debe a la reducción de la sección.

Factores desfavorables en el comportamiento a fuego:

- Alta relación superficie/volumen
- Aristas vivas y secciones con partes estrechas
- Maderas con fendas
- Densidad baja de la madera



Comportament estructural

Comprobación frente al fuego

Profundidad de carbonización nominal de cálculo $d_{char,n}$: distancia entre la superficie exterior de la sección inicial y la línea que define el frente de carbonización.

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

t tiempo de exposición al fuego

β_n velocidad de carbonización nominal

Tabla E.1. Velocidad de carbonización nominal de cálculo, β_n , de maderas sin protección

	β_n (mm/min)
Coníferas y haya	
Madera laminada encolada con densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,70
Madera maciza con densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,80
Fronosas	
Madera maciza o laminada encolada de frondosas con densidad característica de 290 kg/m^3 ⁽¹⁾	0,70
Madera maciza o laminada encolada de frondosas con densidad característica $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,55
Madera microlaminada	
Con una densidad característica $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,70

⁽¹⁾ Para densidad característica comprendida entre 290 y 450 kg/m^3 , se interpolará linealmente

Classificació de deficiències

Classificació de deficiències

Una patologia puede derivar en deficiencia más o menos grave dependiendo del grado de afectación sobre el elemento o sobre el edificio.

Así, una patologia puede clasificarse con distinto tipo de gravedad según el criterio del técnico, que debe ser objetivo y basado en la observación organoléptica y la realización de catas y ensayos si lo cree conveniente.

Classificació de deficiències

- a) **Deficiències muy graves:** son las que, por su alcance y gravedad, representan un **riesgo inminente y generalizado para la estabilidad del edificio y la seguridad de las personas y bienes**, y requieren una **intervención inmediata** consistente en el **desalojo del edificio** o la adopción de otras medidas de carácter urgente y cautelar, que pueden incluir la **ejecución de obras o**, en su caso, la **declaración de ruina del edificio**.

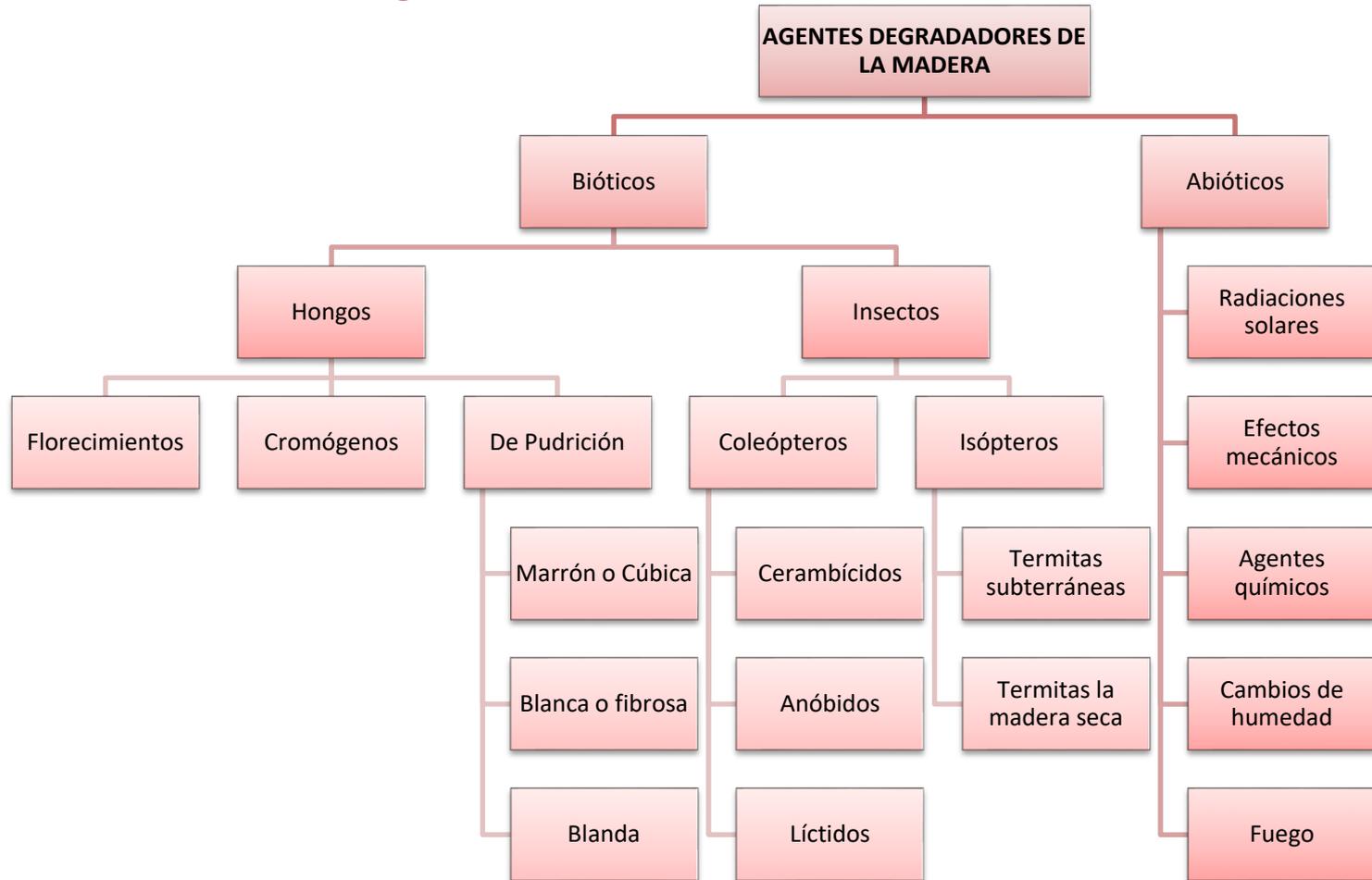
- b) **Deficiències graves:** son las que, por su incidencia, representan un **riesgo inminente para la estabilidad o la seguridad de determinados elementos del edificio o graves problemas de salubridad**, que presupongan un riesgo para la seguridad de las personas o bienes, y que requieren en una primera fase la **adopción de medidas cautelares** y en una segunda fase la **ejecución de las obras para la subsanación de estas deficiencias**.

- c) **Deficiències importantes:** son las que, a pesar de no representar en un principio un riesgo inminente ni para la estabilidad del edificio ni para la seguridad de las personas, **afectan la salubridad y funcionalidad**, al haberse constatado un proceso gradual de pérdida de las prestaciones básicas originarias, que hace necesaria una **intervención correctora que no puede quedar relegada a trabajos de mantenimiento**.

- d) **Deficiències leves:** son aquellas no incluidas en los apartados anteriores, que hacen necesaria la realización de trabajos de **mantenimiento preventivo y / o corrector** para evitar su agravamiento, así como que puedan provocar la aparición de nuevas deficiencias.


Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

Patologies, lesions, deficiències i possibles causes



Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

Factores biòtics : Hongos

La falta de durabilidad proviene de que la madera es el medio idóneo para la vida de insectos o hongos. Las agresiones más corrientes son:

- **Hongos** : causan la pudrición. Se necesitan humedades que se mantengan por encima del 20%. Suele presentarse en cabezas de viga empotradas en obra húmeda, en pilares que se empotran en el suelo,...Se sufre una pudrición de fuera hacia dentro: pérdida de sección resistente.

Se presentan como cambios de coloración sin pérdidas resistentes hasta la destrucción completa, quedando reducida a filamentos y blanda.

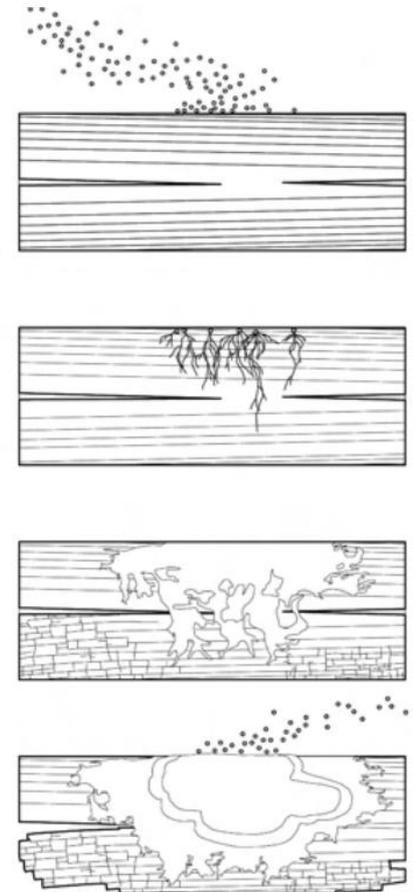


Figura 1. Ciclo biológico de un hongo de pudrición

Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

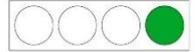
Factores biòtics : Hongos

- Los hongos se alimentan preferentemente de celulosa y hemicelulosa, dejando un residuo rico en lignina, de color oscuro (pudrición parda) o de la lignina, dejando un residuo rico celulosa y hemicelulosa, de color blanco (pudrición blanca)
- Al secarse la madera, tiende a agrietarse, y se disgrega entre los dedos.
- La destrucción no se hace visible hasta que la madera ha perdido entre un 10-20% de su peso (80-95% de su resistencia mecánica).
- El ataque inicial de estos hongos favorece el de otros organismos xilófagos (anóbidos, etc).
- Básicamente existen tres tipos:
 - Ataque por hongos cromógenos
 - Pudrición parda
 - Pudrición blanca



Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

Factores biòtics : Hongos



Hongos cromògenos

- No influyen en la resistencia de la estructura de la madera, sólo manchan la superficie
- Se alimentan con preferencia de las sustancias de reserva presentes en las células de la albura y no atacan al duramen. Su presencia es habitual en las coníferas mediante el ataque conocido con el nombre vulgar de "**azulado**", que se produce en la madera recién cortada y muy húmeda. Afectan estéticamente la superficie, por lo que normalmente esta madera se destina a trabajos de encofrado, aunque su uso no representa ningún problema si la madera está seca, de lo contrario, pueden actuar como receptáculo de otro tipo de patologías.



Azulado originado por infección de hongos cromògenos, en la albura de madera de ciprés recién apeada.

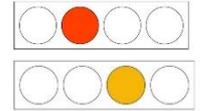


Ataque azulado originado en la madera de eucalipto blanco durante el secado

Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

Factores biòtics : Hongos

Pudrición parda húmeda



Es la más frecuente.

La humedad óptima de desarrollo suele estar entre el 40-50% HR.

Afecta tanto a coníferas como a frondosas.

Las principales especies de hongos que la producen son: *Coniophora cerebella* y *Poria vaillantii*.

Para *Coniophora*, la temperatura óptima de desarrollo es de 23°C (Máxima 35°C).

Coniophora cerebella



Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

Factores bióticos : Hongos

Pudrición parda seca

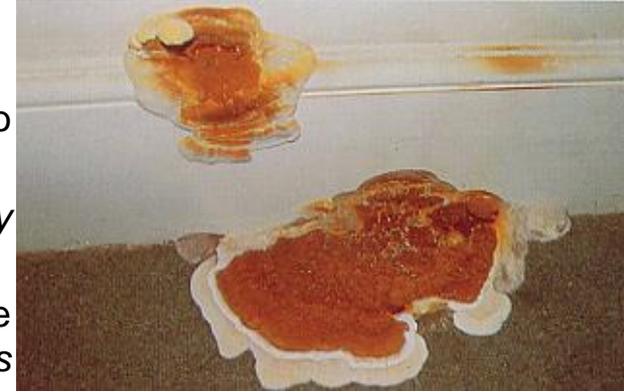
Ataca madera expuesta en lugares mal ventilados. Es un hongo típico en las piezas de madera empotradas en los muros.

La principal especie es *Merulius lacrymans* (*Serpula lacrymans*) y su temperatura de desarrollo oscila entre 9 y 24 °C.

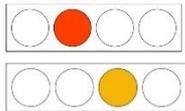
Las hifas del hongo son capaces de transportar el agua que se produce durante su respiración (*lacrymans*) desde los lugares húmedos hasta la madera seca.

Los cubos son mayores que los formados en la pudrición parda húmeda.

Nota: Algunas fuentes consideran que las especies Coniophora cerebella y Serpula lacrymans constituyen el 90% de los ataques a la madera en ambientes domésticos



CUERPO DE FRUCTIFICACIÓN



ATAQUE



TIPOS DE MICELIO



Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

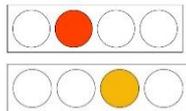
Factores biòtics : Hongos

Pudrición blanca o fibrosa

El hongo se alimenta preferentemente de la lignina y también de la celulosa. La madera atacada presenta un color blancuzco y un aspecto fibroso.

Las especies más frecuentes son: Schizophyllum commune, Coryolus versicolor Xylaria hypoxilon, etc.

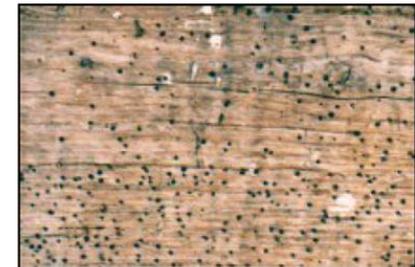
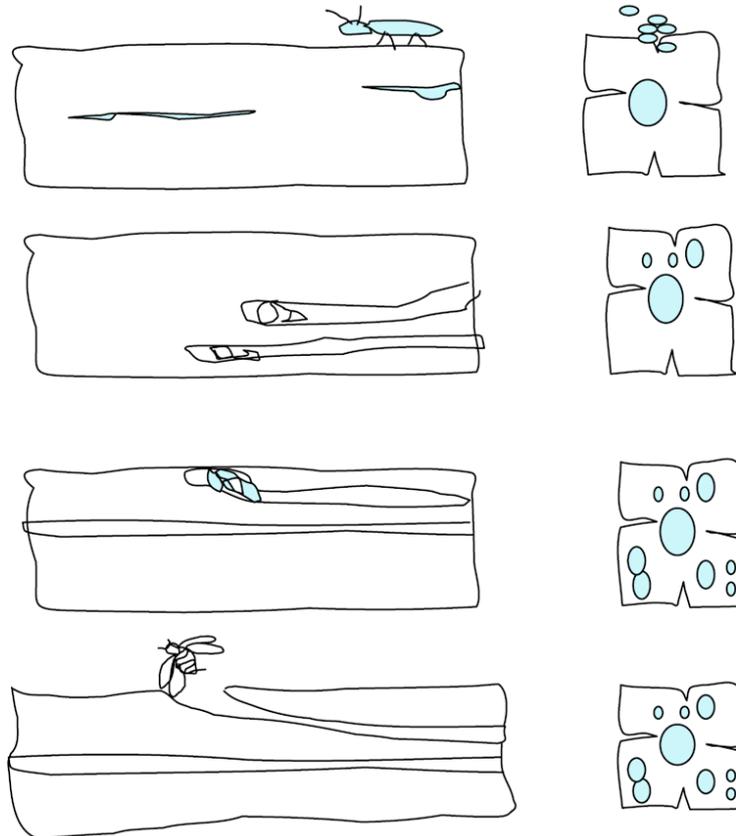
Suele afectar más a las frondosas que a las coníferas. En especial a las frondosas tropicales con elevados contenidos en lignina.



Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

Factores biòtics : Insectos - coleópteros

- **Ciclo biològic Insectos de fase larvaria**

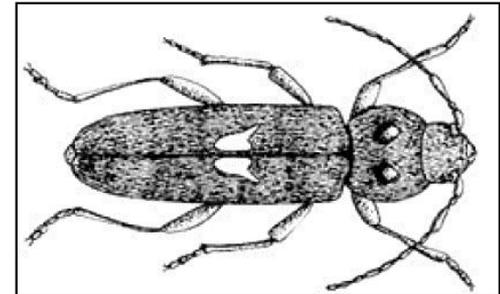
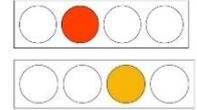


Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

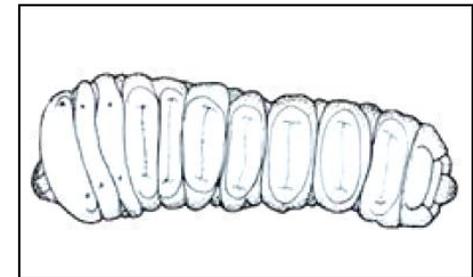
Factores biòtics : Insectos - coleòpteros

Cerambícidos: *Hylotrupes bajulus*

- Nombre científico: *Hylotrupes bajulus* L.
- Nombres vulgares: Carcoma grande, house longhorn beetle, capricorne des maisons
- Orificios de salida: Forma elíptica y diámetros de entre 6 y 10 mm.
- Serrín: Basto, de forma cilíndrica y no expulsado al exterior ya que las larvas dejan una fina película de madera entre las galerías y el exterior. Las galerías siguen la dirección de las fibra.
- Especies de madera: Normalmente ataca la albura de las coníferas
- Humedad: Normalmente el ataque se produce en madera con contenidos de humedad inferiores al 20%.
- Ciclo de vida: 2-(4-6)-10 años. Con la segunda generación la población puede multiplicarse por 40-200.
- Nota: Se considera la especie de mayor incidencia en la madera de construcción europea. Es frecuente su presencia en las armaduras de cubierta. En edificios antiguos es normal encontrar ataques inactivos. Existen especies que se alimentan de la albura de frondosas como el roble, nogal y chopo, siendo la más habitual *Hesperophanes cinereus* Vill., cuyos orificios de salida son elípticos y con un diámetro de unos 12 mm.



10-20 mm



30 mm máx.

Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

Factores biòtics : Insectos - coleòpteros

Cerambíctidos: *Hylotrupes bajulus*



Foto 5. Insecte adult o imago d'*Hylotrupes bajulus*.



Foto 6. Larva d'*Hylotrupes bajulus* perforant galeries a l'interior de la fusta de pi.



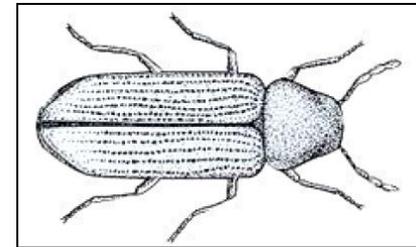
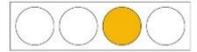
Figura 1.3 Daños producidos por cerambíctidos.

Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

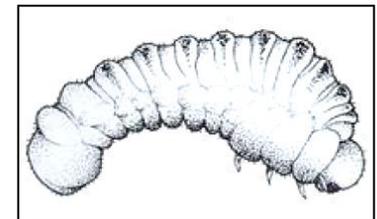
Factores biòtics : Insectos - coleòpteros

Anòbidos: *Annobium punctatum*

- Nombre científico: *Annobium punctatum* De Geer.
- Nombres vulgares: Carcoma, escarabajo de los muebles, woodworm.
- Orificios de salida: Forma circular y diámetros entre 1 y 3 mm (1,5-2 mm).
- Serrín: Rugoso al tacto, de forma similar a limones diminutos cilíndrica y no expulsado al exterior ya que las larvas dejan una fina película de madera entre las galerías y el exterior. Las galerías pueden seguir cualquier dirección.
- Especies de madera: Normalmente ataca la albura de las coníferas y frondosas europeas (roble, olmo, etc). Muy raramente atacan frondosas tropicales.
- Humedad: Los ataques se producen, preferentemente, en lugares con un alto contenido de humedad y reducida temperatura (sotanos, plantas bajas, etc.).
- Ciclo de vida: Normalmente entre 2-3 años. Cada hembra coloca 20-40 huevos. Puede poner huevos en el interior de la galería, sin salir al exterior, por lo que puede existir madera muy atacada en comparación al número de orificios de salida.
- Nota: En ocasiones pueden atacar el duramen de la madera, normalmente si ésta presenta pudriciones. La mayor parte de sus ataques se concentran sobre mobiliario antiguo. Las cubiertas son poco atacadas, salvo en regiones con una elevada humedad ambiente. No suelen atacar madera situada al aire libre ni expuesta a la lluvia.



3-5 mm



5 mm máx.

Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

Factores biòtics : Insectos - coleòpteros

Anòbidos: *Annobium punctatum*



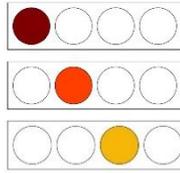
Foto 8. Insecte adult d'*Annobium punctatum*.



Figura 1.2 Daños producidos por anòbidos.



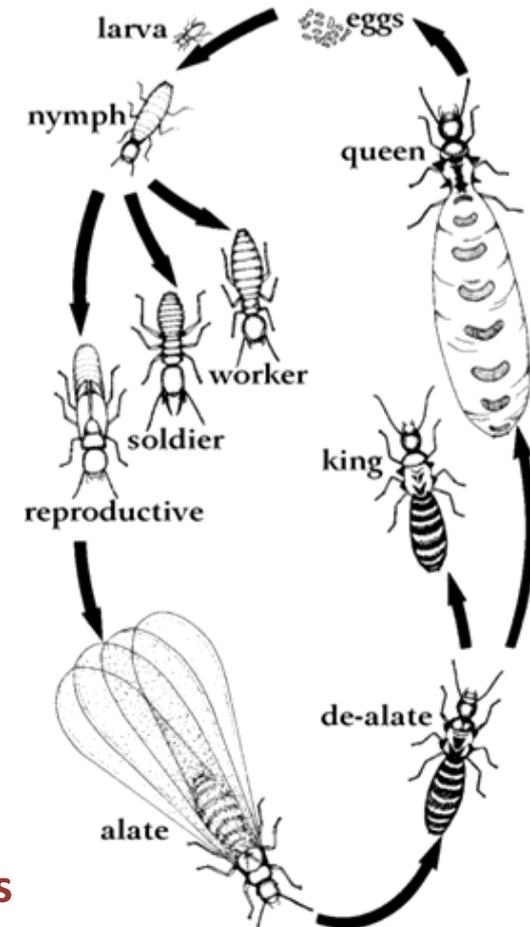
Patologies, lesions, deficiències i possibles causes



Factores bióticos : Insectos – isópteros – insectos sociales

INSECTOS SOCIALES:

- Son insectos que viven en grupos bajo una organización social compleja, con distintos tipos de individuos agrupados en castas.
- Existen cerca de 3000 especies de las cuales unas 70-80 pueden atacar la madera.
- La especie que se encuentra mayormente en la Península Ibérica es *Reticulitermes lucifugus* Rossi (*termita subterránea*), que realiza su nido principal en el suelo. Otra especie está presente en las islas Canarias.
- Vive en la oscuridad (la insolación directa mata a obreras y soldados). Sus condiciones óptimas de desarrollo son altos contenidos de humedad relativa del aire (95-100 %) y de temperatura (30°C).
- Construyen canales para desplazarse y abren galerías paralelas a la dirección de la fibra (librillo), alimentándose de madera de primavera y dejando intacta la madera de verano (más dura).



Ciclo biológico termitas subterráneas

Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

Factores bióticos : Insectos – isòpteros – insectos sociales

Termitas en España

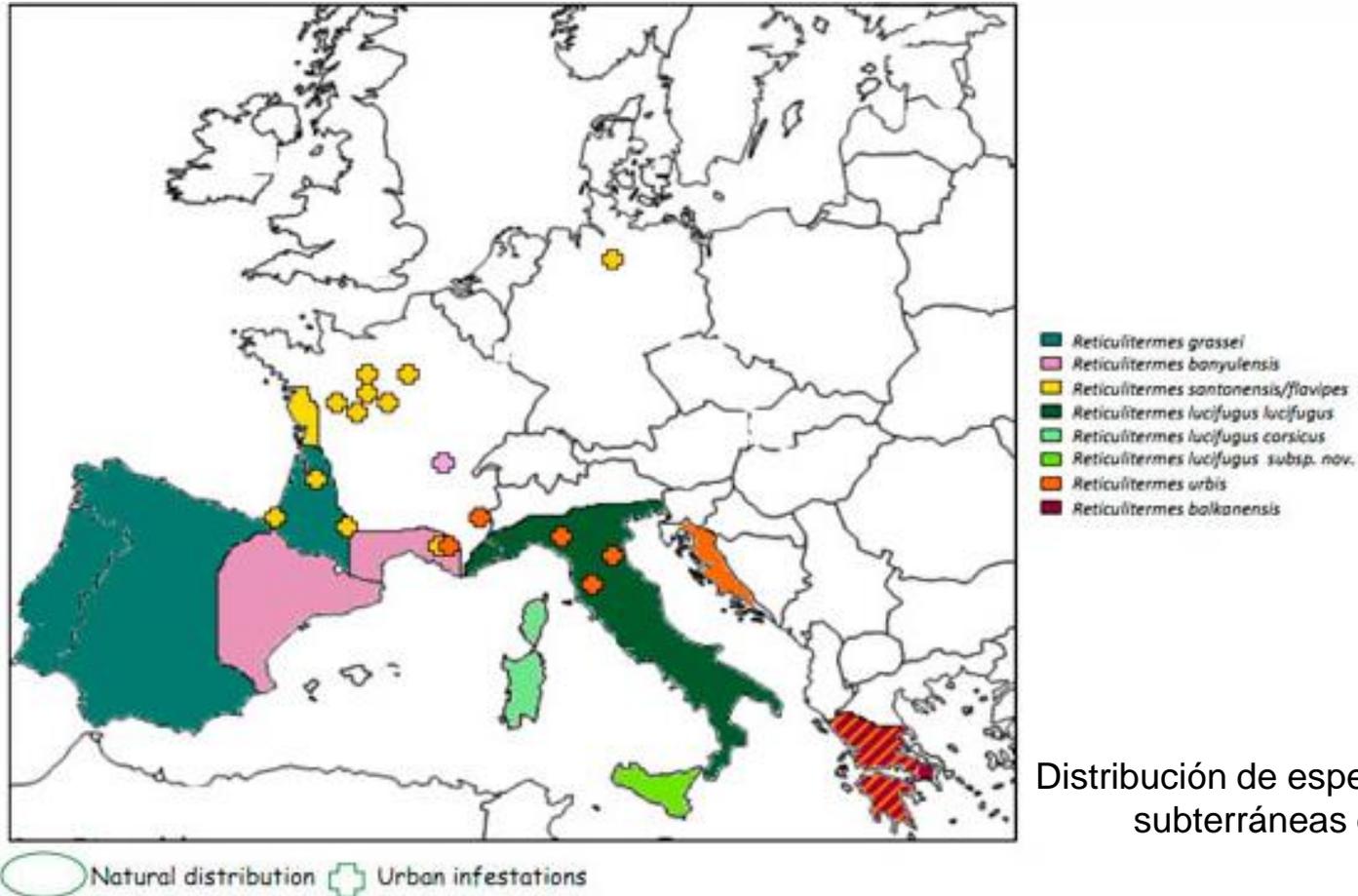
En el caso de España, hay citadas 2 especies de termitas subterráneas (*Reticulitermes grassei* y *Reticulitermes banyulensis*) y se ha detectado la posible presencia de una tercera especie (*Reticulitermes santonensis*) y 2 especies de termitas de madera seca (*Kaloterms flavicollis* y *Cryptotermes brevis*).

En los últimos años en España, se viene detectando una proliferación de los ataques de las termitas subterráneas (y también de las termitas de madera seca) en los cascos urbanos, favorecida por la actividad humana (instalación en los edificios de conducciones de agua, instalaciones de calefacción, etc.), por el abandono de población de muchos cascos históricos lo que conlleva a la pérdida de los hábitos de mantenimiento de los edificios (goteras, roturas de canalones, filtraciones, falta de ventilación, etc.) y por el cambio de clima (con inviernos y veranos mas suaves). Debido a todo esto, las termitas encuentran unas condiciones de humedad y temperatura ideales para su desarrollo.

<http://www.expertoentermitas.org/>

Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

Factores biòtics : Insectos – isòpteros – insectos sociales



Distribución de especies de termitas subterráneas en Europa

Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

Factores biòtics : Insectos – isòpteros – insectos sociales

Termitas subterráneas (Reticulitermes)

- El nido principal está en el suelo. Su formación es un fenómeno complejo que puede durar años. Los bandos nupciales se producen en abril-mayo.
- Las ninfas pueden dar lugar a distintas castas según las necesidades de la colonia. El primer año sólo existen obreras.
- Un ataque de importancia a elementos de madera, suele llevar años. Son muy selectivas a la hora de alimentarse.
- Pueden producir daños estructurales graves, difíciles de reconocer ya que abren galerías internas y dejan intacto el exterior de la madera. Las galerías son paralelas a la dirección de la fibra ("librillo"), alimentándose de la madera de primavera y dejando intacta la madera de verano.

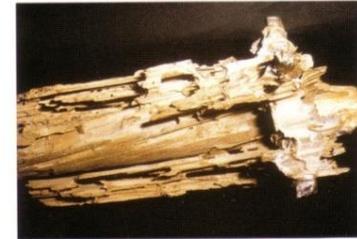


Foto 10. Danys produïts per tèrmits subterranis en una bigueta de sostre.



Foto 11. Camins o xemeneies construïts pels tèrmits subterranis per accedir a la fusta.



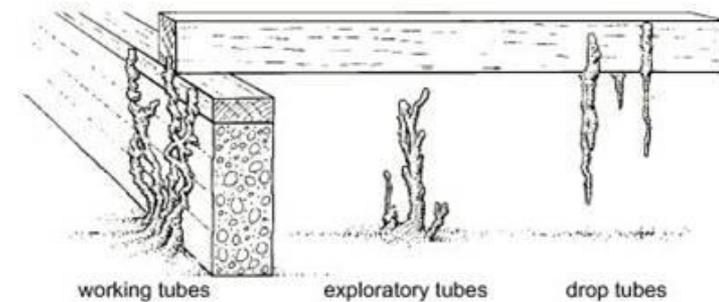
Figura 1.5 Daños producidos por termitas.

Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

Factores biòtics : Insectos – isòpteros – insectos sociales

- Indicios de la presencia de termitas

Canales formados por las termitas



Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

Factores biòtics : Insectos – isòpteros – insectos sociales

- Indicios de la presencia de termitas



Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

Factores biòtics : Insectos – isòpteros – insectos sociales

- Indicios de la presencia de termitas



Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

Factores bióticos : Insectos – isòpteros – insectos sociales

Termitas madera seca (Kaloterme)

- Las termitas conocidas como de madera seca tienen sus nidos en el interior de sus fuentes de alimentos, en el interior de la madera que atacan. Forman parte de pequeñas colonias 1.000-5.000 individuos, y forman parte de las especies de termitas más primitivas en donde se carece de una casta real de 'obreras', muy presente en Reticulitermes.
- En España tenemos dos especies distintas de este género (Kalotermitidae):
 - KALOTERMES FLAVICOLLIS (FABRICIUS)
 - CRYPTOTERMES BREVIS (WALKER)
- El tipo de termita Kaloterme Flavicornis está presente en toda la península (especialmente en Cataluña, Levante y Andalucía) y en las islas de Baleares. En las Islas Canarias tenemos una especie casi idéntica: Kaloterme Dispar.
- **'No es normal'** encontrar este tipo de termita en el interior de un vivienda, en el interior de algún marco de puerta, ventana o elemento estructural. Se dan algunos casos, por lo general en elementos en contacto con alguna fuente de humedad cercana al exterior del inmueble. En estos casos, la entrada de las termitas se lleva a cabo a través de sus vuelos nupciales -de agosto-diciembre-, procedentes de algún árbol infestado cercano a la propiedad.
- Por experiencia, en realidad aunque se les identifica con 'madera seca' realmente necesitan una madera con un elevado grado de humedad en su interior, de lo contrario, se mueren.



Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

Factores biòtics : Insectos – isòpteros – insectos sociales

NO CONFUNDIR TERMITAS ALADAS CON HORMIGAS VOLADORAS

Antenas:

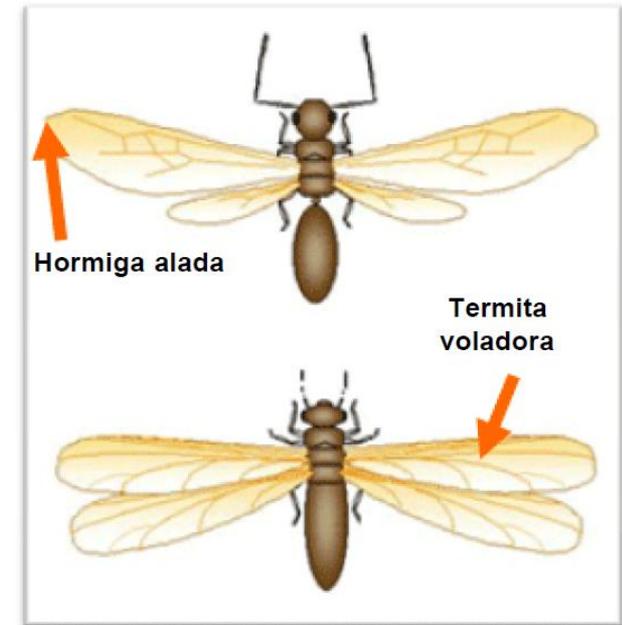
- **Termitas aladas:** Rectas
- **Hormigas voladoras:** Acodadas

Alas:

- **Termitas aladas:** Iguales y plegadas unas sobre otras
- **Hormigas voladoras:** Anterior y posterior de distinto tamaño

Cuerpo:

- **Termitas aladas:** Tórax y abdomen continuo
- **Hormigas voladoras:** Tórax y abdomen claramente separados



Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

Patología de la madera: Condiciones de actuación de organismos de la degradación

Organismo	Daño/tipo de problema	Intervalo de humedad /condiciones (HR/HE %)	Intervalo de temperatura (°C)
Mohos	Crecimiento superficial, afectación estética	HR ambiental >75%, afectación creciente en función de tiempo, temperatura y especie de madera	-5 a +60°C
Hongos cromógenos	Azulado de la madera, cambios en la permeabilidad	•HR ambiental >95% •Humedad de Equilibrio: 25-120%*	-5 a +45°C
Hongos de pudrición***	Pudrición parda, cubica, blanca	•HR ambiental >95% •Humedad de Equilibrio: 20-120%* •Susceptibilidad de la especie de madera	0 a +45°C
Insectos (termitas subterráneas)***		•HR ambiental >65%** •Humedad de equilibrio: >20% •Susceptibilidad de cada especie de madera	+5 a +50°C
Insectos (resto)***	Insectos distintos (carcoma, <i>Lyctus</i> , <i>Calotermes</i> ...)	•HR ambiental** •Susceptibilidad de cada especie de madera	+5 a +50°C
*Condiciones sostenidas en el tiempo			
**Depende de cada tipo de insecto (las termitas, normalmente, exigen elevados contenidos de humedad en la madera			
***Según CTE estos organismos xilófagos están presentes en toda la geografía española por lo que sus ataques harán acto de presencia en cuanto se establezcan las condiciones adecuadas para ello.			

Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

Tabla 8. Durabilidad teórica del duramen de diversas especies comerciales en distintas clases de uso

Especie de madera	Durabilidad estimada frente a los hongos de pudrición en las distintas clases de uso					Resistencia insectos de ciclo larvario	Resistencia termitas
	1	2	3a	3b	4		
Abeto rojo (<i>Picea abies</i>)	>100 años	50-100 años	10-50 años	<10 años	<10 años	No	No
Abeto blanco (<i>Abies alba</i>)	>100 años	50-100 años	10-50 años	<10 años	<10 años	No	No
Pino silvestre (<i>Pinus sylvestris</i>)	>100 años	>100 años	10-50 años	10-50 años	<10 años	Si	No
Alerce (<i>Larix decidua</i>)	>100 años	>100 años	50-100 años	10-50 años	<10 años	Si	No
Cedro rojo (<i>Thuja plicata</i>)	>100 años	>100 años	50-100 años	10-50 años	<10 años	Si	No
Pino gallego (<i>Pinus pinaster</i>)	>100 años	>100 años	50-100 años	10-50 años	<10 años	Si	No
Castaño (<i>Castanea sativa</i>)	>100 años	>100 años	>100 años	50-100 años	10-50 años*	Si	No
Roble europeo (<i>Quercus spp.</i>)	>100 años	>100 años	>100 años	50-100 años	10-50 años*	Si	No
Robinia (<i>Robinia pseudoacacia</i>)	>100 años	>100 años	>100 años	50-100 años	10-50 años	Si	Si
Elondo (<i>Erythrophleum spp.</i>)	>100 años	>100 años	>100 años	50-100 años	10-50 años	Si	Si
Ipe (<i>Tabebuia spp.</i>)	>100 años	>100 años	>100 años	50-100 años	10-50 años	Si	Si

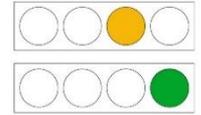
* Sólo podría alcanzarse esta durabilidad, si las especies se encuentran expuestas a una clase de uso equivalente a 4, pero no en contacto directo con el suelo.

** Especies del género *Tabebuia*, densas ($\rho > 850 \text{ kg/m}^3$) y oscuras.

Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

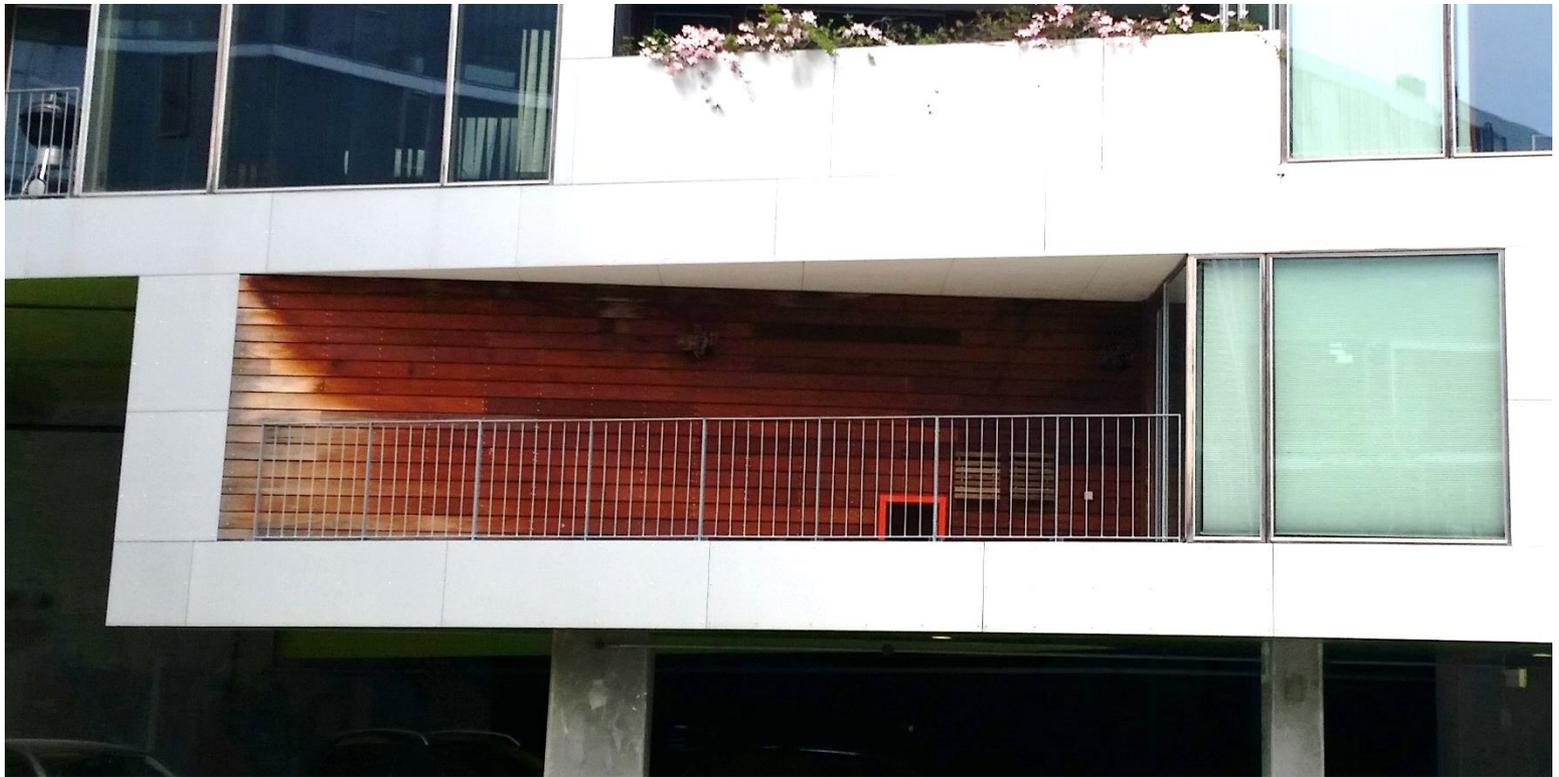
Factores abiòtics : radiació solar

- La radiació solar constitueix un factor de risc a considerar en la duració de la fusta exposada a l'exterior, especialment en els seus aspectes decoratius. La velocitat de degradació oscil·la entre 0,5 mm/año. Les radiacions que majors efectes provoquen són:
- **Radiació Ultravioleta (UV)** La seva acció és superficial, degradant les resines dels productes d'acabament i produint modificacions químiques a la lignina, atacant la fusta més blanda de l'albuja i produint el desfibrament superficial amb la consegüent aparició de crestes (període otoño-invernal), valles (primavera) i que es tradueixen en un agrissament superficial de la fusta. La protecció consisteix en aplicar un pigment (generalment un òxid mineral) que reflecteix dicha radiació.
- **Radiació Infraroja (I.R.)** Calenta la superfície de la fusta alterant la seva humedat d'equilibri.

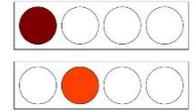


Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

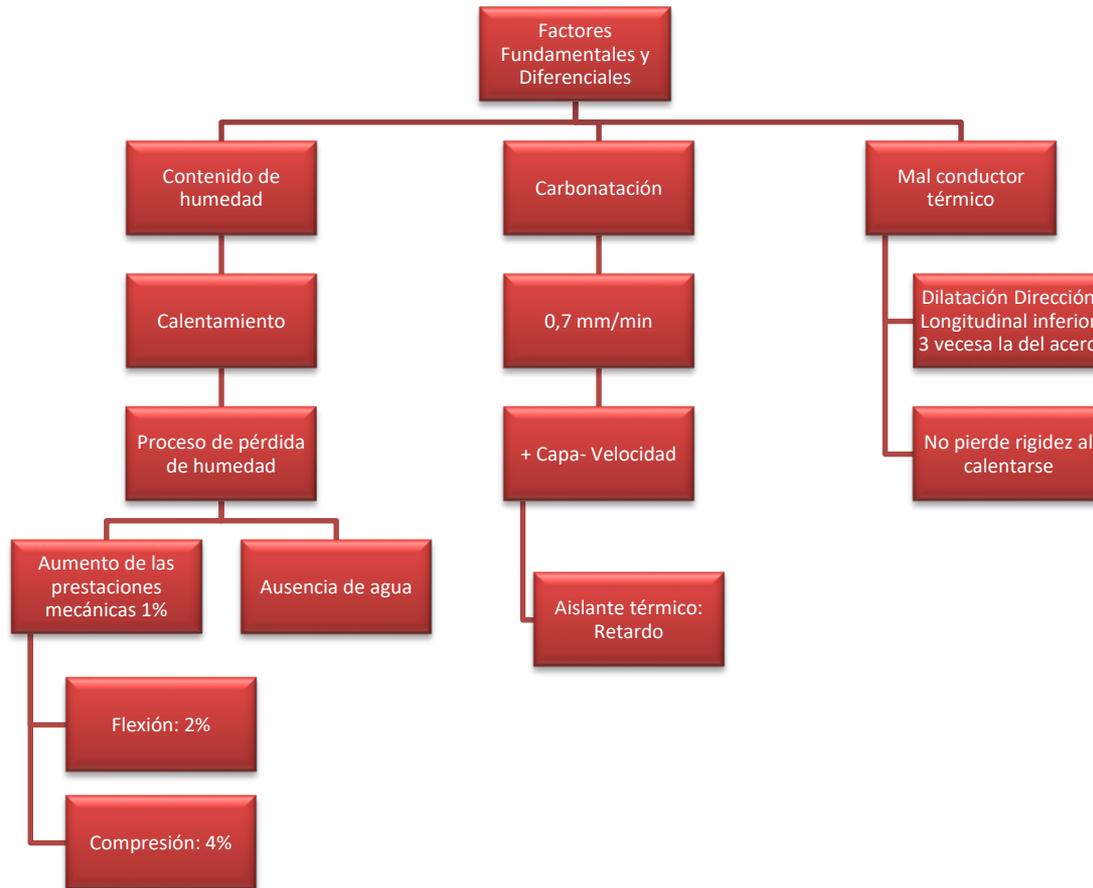
Factores abiòtics : radiación solar



Patologies, lesions, deficiències i possibles causes



Factores abiòtics : fuego

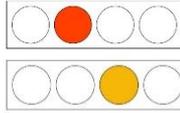


■ Ataque del fuego



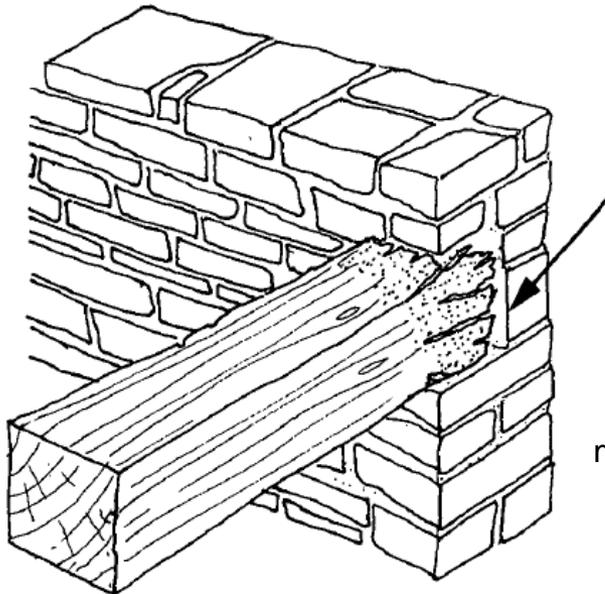
Daños estructurales por fuego en un forjado de una planta cuarta

Patologies, lesions, deficiències i possibles causes



Factores abióticos: Agua Lesiones debidas a falta de durabilidad

- Humedad: provoca pudrición en apoyos y en elementos



Pudrición en cabeza de vigueta por falta de ventilación (fallo de diseño constructivo)

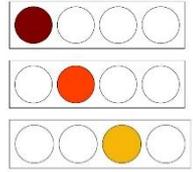
Daños estructurales graves en el forjado de madera donde se apoyaba una bañera



Daños estructurales graves en el forjado de madera alrededor de un bajante



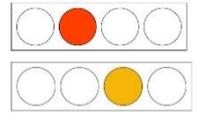
Patologies, lesions, deficiències i possibles causes



Factores abiòticos: Lesiones debido al comportamiento estructural

- En primer lugar, y puesto que hacemos referencia a las estructuras de madera en construcciones antiguas, hay un fenómeno de "selección natural" que hace que sea poco frecuente encontrar problemas para un dimensionamiento insuficiente de las secciones. Es decir, las estructuras de capacidad insuficiente o mal concebidas han fallado hace tiempo.
- Por otro lado, la madera sometida a cargas de tipo elástico no soporta mermas importantes de la resistencia con el tiempo. En la práctica, se admite que la resistencia es la misma que en su origen. Este hecho no se puede confundir con el efecto de la duración de la carga en la resistencia o con la fatiga respecto a acciones de tipo intermitente.
- En los fallos de comportamiento estructural, la incidencia de los defectos constructivos, principalmente de las uniones, es muy superior a la que presenta el simple defecto de cálculo o dimensionamiento.
- Por lo tanto, es más frecuente encontrar fallos en las uniones diseñadas defectuosamente, que en el centro de la pieza. En este caso se encuentran, por ejemplo, la posible falta de anclajes de los soportes respecto a la succión del viento y los encajes entre caballo y tirando de una cercha.
- Las variaciones dimensionales de la madera en la dirección transversal a la fibra por efecto de la variación del contenido de humedad, puede provocar grietas en las zonas de unión cuando el movimiento queda coartado por placas metálicas atornilladas.
- Este tipo de unión no es frecuente en construcciones antiguas, sino en estructuras actuales.

Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

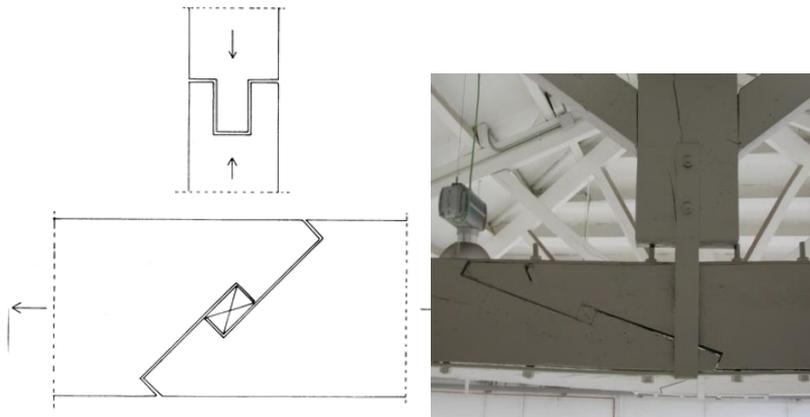


Lesiones debido al comportamiento estructural

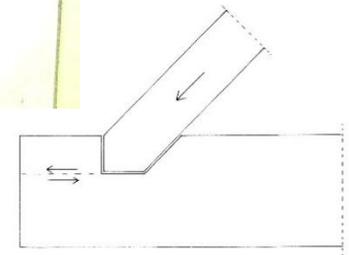
Falta de resistencia de los elementos portantes:

- **Falta de resistencia inicial:** la madera es de poca calidad o se utilizaron secciones insuficientes. Los sistemas de unión (a caja y espiga, en rayo de Jupiter,...) eran poco eficaces. Al rehacer los cálculos, hoy en día, las secciones de las uniones son insuficientes.

Un ejemplo es la falta de seguridad en los extremos de las cerchas, por la poca resistencia a cortante (el talón del tirante es demasiado corto).

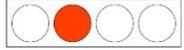


Unión en rayo de Júpiter con llave



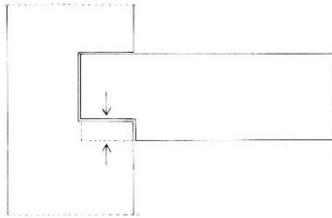
Rotura en tirante de cercha

Patologies, lesions, deficiències i possibles causes



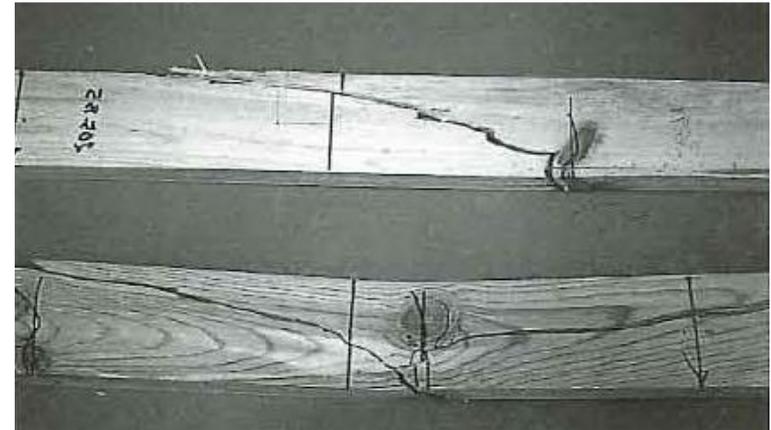
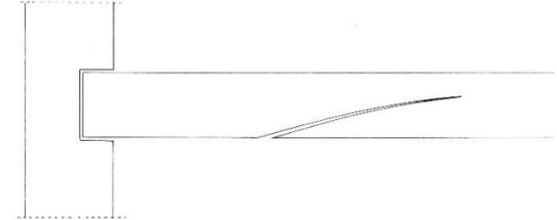
Lesiones debido al comportamiento estructural

Pérdidas de sección y de resistencia: por causa de ataques y/o degradación de la madera. En los cargaderos atacados por hongos se producen aplastamientos.



Pérdida de sección en cabezas de vigueta

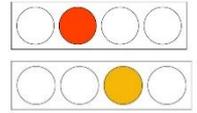
Es habitual en las grandes vigas de Melis, grandes grietas que hacen peligrar el equilibrio, porque se desarrollan en sentido perpendicular a los esfuerzos de tracción –normal a los cortantes.



Rotura de elemento horizontal

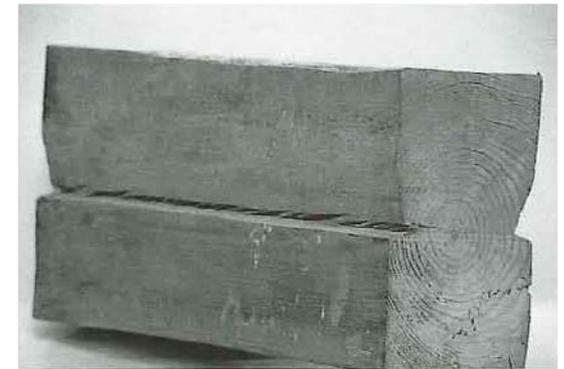
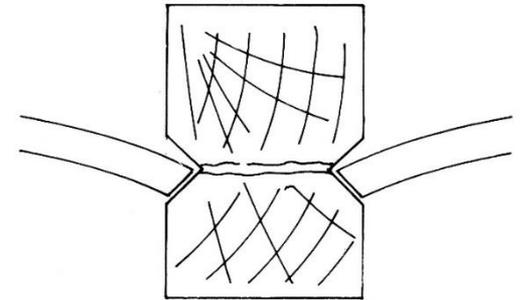
Patologies, lesions, deficiències i possibles causes

Lesiones debido al comportamiento estructural



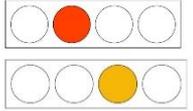
– Falta de resistencia de los elementos portantes:

Pérdidas de sección y de resistencia: son frecuentes las grietas desarrolladas en un plano horizontal que dividen las vigas en dos y que determinan una situación de resistencia mucho menor que con la pieza entera. En forjados con bovedillas pueden no verse (provocan deformaciones excesivas inexplicables de otra forma).



Grietas (fendas) en encaje vigueta madera

Patologies, lesions, deficiències i possibles causes



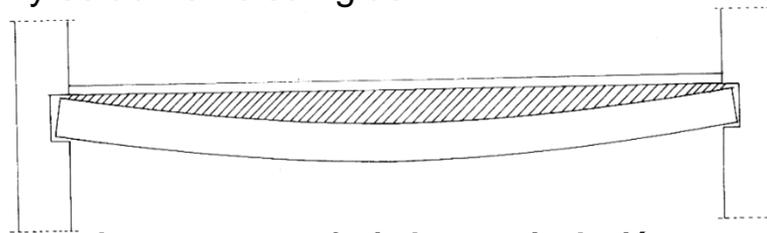
Lesiones debido al comportamiento estructural

- Deformaciones excesivas: Son la causa de la rotura de tabiques y elevación de pavimentos. Causas:
 - Dimensiones insuficientes
 - Módulo de deformación muy bajo
 - Enorme fluencia de la madera bajo cargas permanentes

Gran parte de las deformaciones se producen en régimen plástico, en dependencia de otras variables: la descarga del elemento no lo restituye. Una contraflecha aplicada puede causar roturas inesperadas.

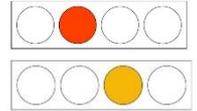
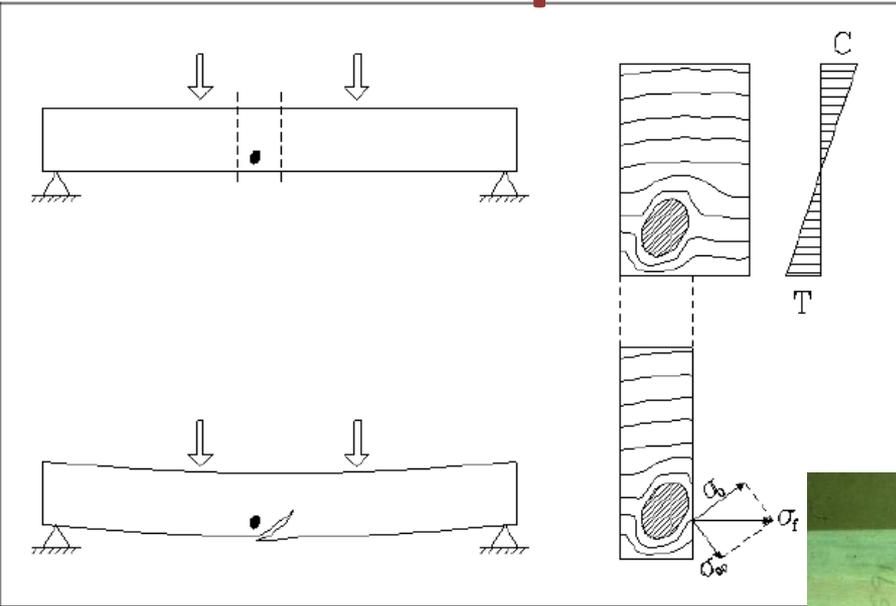
En las renovaciones de los pavimentos, con sus nivelaciones, se acumula un exceso de peso muerto. Aumentando el peso muerto, se incrementan las flechas por fluencia y a lo largo de los años se inicia un proceso de inestabilización, y gracias a los tabiques no se produce el hundimiento.

Antes de eliminar tabiques en un edificio antiguo es necesario un importante estudio previo, y es normal que se refuercen y se aumente su rigidez.

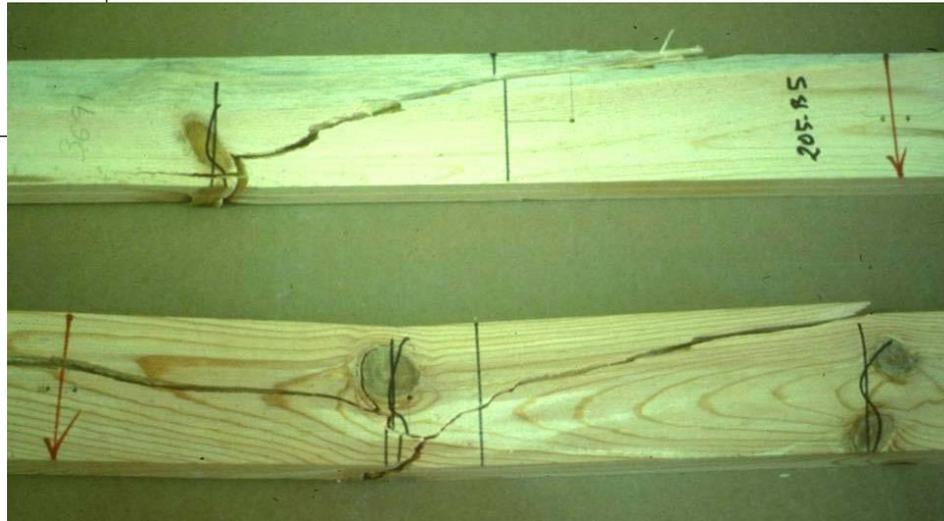


Exceso de carga en un forjado por nivelación no colaborante

Patologies, lesions, deficiències i possibles causes



Flexión
Madera de tamaño
estructural
con “defectos”



M. Esteban © 2008

Principals mesures correctores

Principals mesures correctores

- Hay cuatro niveles de intervención:
 - **Nivel del sistema estructural:** garantizar la eficacia de los componentes y mejorar o aumentar la rigidez del complejo estructural. Actuamos en toda la estructura.
 - **Nivel de unidades estructurales:** forjados, paneles,...
 - **Nivel de elementos estructurales:** vigas, correas, tirantes, pilares,...
 - **Nivel de conexiones y uniones:** conservar su configuración original y ductilidad, salvo que se adopte otro sistema estructural, donde los elementos se comportarían de forma diferente.

Principals mesures correctores

- Generalment, els problemes que han causat la degradació de la estructura poden resumir-se en dos grups:
 - Pèrdua de secció resistent en la peça de fusta, gairebé sempre d'origen biòtic
 - Traspàs dels límits dels E.L.U i E.L.S. per canvi de normativa, canvi d'ús o limitacions de normativa.
- La solució més adequada passarà per:
 - la simple **sustitució de peces** irrecuperables
 - la **consolidació** (té per objecte la recuperació de la capacitat portant original)
 - el **reforzament** (actuacions encaminades a augmentar la capacitat de càrrega o la limitació de deformació)

Principals mesures correctores

Sistema	Objectius	Zona de actuació	Solucions	
I – Prevenció y protecció	<ul style="list-style-type: none"> -Corregir o mejorar aspectos externos a los elementos estructurales para evitar su degradación -Reducir las exigencias de trabajo actuales 	<ul style="list-style-type: none"> - Exterior a los elementos estructurales o en la superficie perimetral 	<ul style="list-style-type: none"> -Eliminación de humedades -Protección constructiva -Reducción de cargas -Tratamiento protector químico -Limitaciones y recomendaciones de uso 	
II – Reparación y consolidación	<ul style="list-style-type: none"> - Realización de acciones puntuales en zonas degradadas de los elementos estructurales para retornarlos a sus características originarias. 	<ul style="list-style-type: none"> -Directamente sobre la zona degradada por encima o por debajo de las piezas -En piezas individualizadas 	<ul style="list-style-type: none"> -Tratamiento curativo químico -Consolidación de zonas dañadas -Atado de grietas: <ul style="list-style-type: none"> - Abrazaderas - Pasadores roscados - Cosido con barras -Sustitución de material degradado: <ul style="list-style-type: none"> - Madera - Resinas 	<ul style="list-style-type: none"> -Modificación del sistema de apoyo: <ul style="list-style-type: none"> - Ménsula - Tornapunta - Viga paredera - Barandilla empotrada
III – Refuerzo	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento de la capacidad portante actual, introduciendo nuevos elementos resistentes que trabajen conjuntamente con el existente o que reduzcan las solicitaciones a las que está sometido 	<ul style="list-style-type: none"> Por encima del forjado: <ul style="list-style-type: none"> -En el forjado en su conjunto -En elementos estructurales individualizados 	<ul style="list-style-type: none"> -Rigidización de los forjados: <ul style="list-style-type: none"> - Losa de hormigón - Doblado de entarimado -Incremento de la inercia: <ul style="list-style-type: none"> - Madera - Acero 	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora del empotramiento
		<ul style="list-style-type: none"> Por debajo del forjado: <ul style="list-style-type: none"> - En el forjado en su conjunto -En elementos estructurales individualizados 	<ul style="list-style-type: none"> -Incrementar la capacidad a flexión: <ul style="list-style-type: none"> - Barandilla horizontal - Barandilla vertical - Armadura vista - Armadura empotrada - Perfiles laminados adosados - Suplemento sección madera 	<ul style="list-style-type: none"> -Reducción de las solicitaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Vigas rífoneras - Viga partiendo luz
IV – Sustitución	<ul style="list-style-type: none"> -Poner un nuevo elemento estructural que absorba las solicitaciones mecánicas que soporta el forjado actual 	<ul style="list-style-type: none"> Todo el forjado: <ul style="list-style-type: none"> -En el forjado en su conjunto -En elementos estructurales individualizados 	<ul style="list-style-type: none"> -Sustitución física: <ul style="list-style-type: none"> - Madera - Metal - Hormigón 	
		<ul style="list-style-type: none"> Por encima del forjado: <ul style="list-style-type: none"> -En el forjado en su conjunto -En elementos estructurales individualizados 	<ul style="list-style-type: none"> -Sustitución funcional: <ul style="list-style-type: none"> - Metal - Hormigón 	
		<ul style="list-style-type: none"> Por debajo del forjado: <ul style="list-style-type: none"> -En el forjado en su conjunto -En elementos estructurales individualizados 	<ul style="list-style-type: none"> -Sustitución funcional: <ul style="list-style-type: none"> - Madera - Metal - Hormigón 	

Principals mesures correctores

I-Prevenció y protecció:

- Eliminació de humedades
- Protecció constructiva
- Tractament protector químic
- Reducció de càrregues permanents
- Limitacions y recomenacions de uso



La arquitectura tradicional ha sido una fuente inagotable de soluciones ingeniosas y armónicas para proteger los elementos estructurales de los agentes externos.



El granito, como otras piedras poco porosas, han sido la barrera más habitual para evitar que el terreno y la humedad estén en contacto directo con los elementos de madera.



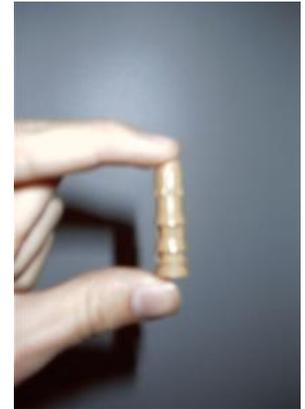
La preparación de los apoyos de las vigas, de manera que su cabeza no quede empotrada en la pared y permita la circulación del aire en todo el perímetro, resulta una buena medida para evitar su degradación, si bien, representa una disminución importante en la traba horizontal del edificio.



Principals mesures correctores

I-Prevenció y protecció:

- Frente a cualquier intervención física, hace falta que se haya eliminado el ataque causante de la degradación; en ocasiones será previo (tratamientos fungicidas, antixilófagos,...) y en otras posteriores (reparación de bajantes, rehabilitación de cubiertas,...)



Principals mesures correctores

I-Prevenció y protecció:

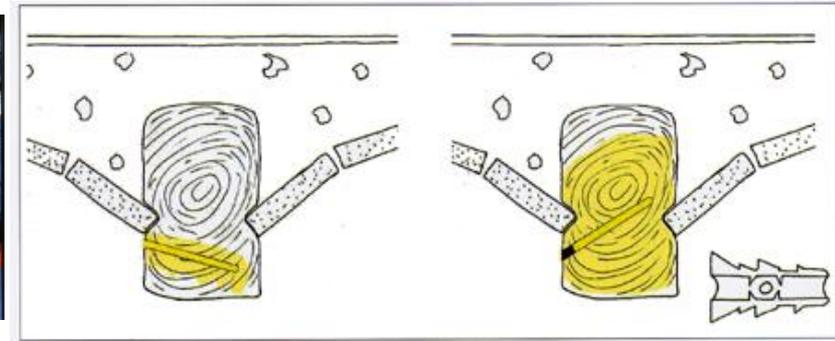
Tratamientos anti xilófagos



Barrera antitermítica



Pulverización



Comparativa de tratamiento sin o con válvulas de retención y detalle de una válvula de retención.



Colocación de válvulas de retención e inyección posterior de líquido.

Principals mesures correctores

I-Prevenció y protecció:

Tratamientos anti termítics



Proceso de muda de termita. El veneno colocado en los cebos impide la creación de la siguiente piel, la creación de quitina,...



el hexaflumurón ES UN REGULADOR DEL CRECIMIENTO DE LAS TERMITAS y otros insectos: Inhibe la síntesis de la quitina, principal componente del exoesqueleto de las termitas. Cuando la termita muda, la nueva cutícula no se forma y, sin esta piel de protección, que le sirve a la vez de esqueleto, el insecto no puede vivir. El producto tiene una acción relativamente lenta, lo que permite difundir el termicida en el seno de toda la colonia sin rechazo.



Principals mesures correctores

II - Reparación y consolidación:

Atado de fendas

- Abrazaderas
- Pasadores roscados
- Cosido con barras
- Relleno con resinas epoxídicas

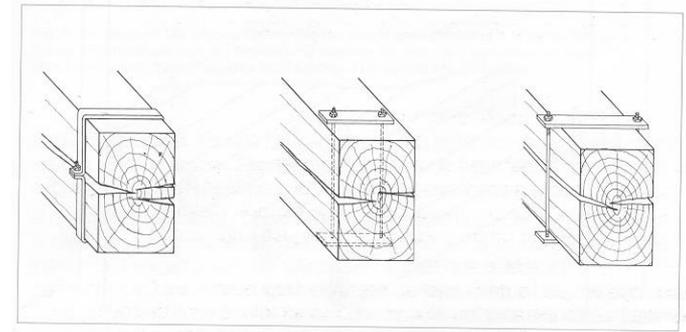


Fig. 1. Lligar les clivelles amb abraçadores és una mesura de fàcil aplicació i força efectiva. Hi ha moltes versions possibles del mateix sistema, però totes coincideixen en la col·locació de brides o passadors tensionats amb cargols, per donar unitat a la peça.



Foto 4. Les abraçadores de ferro forjat, han estat molt utilitzades en la lligada de clivelles i també en la unió de diverses peces per fer-les treballar de manera unitària.

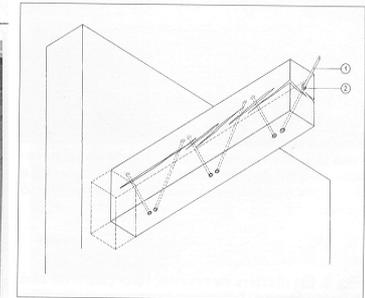


Fig. 2. L'aplicació de les tecnologies actualment disponibles ens permet sistemes de cosit sofisticats. Les perforacions que es fan a la peça segueixen la direcció més idònia, d'acord amb el sentit de les clivelles, i el farcit amb resines garanteix la efectivitat de la reparació. 1. Barra de reforç, 2. Resines d'unió

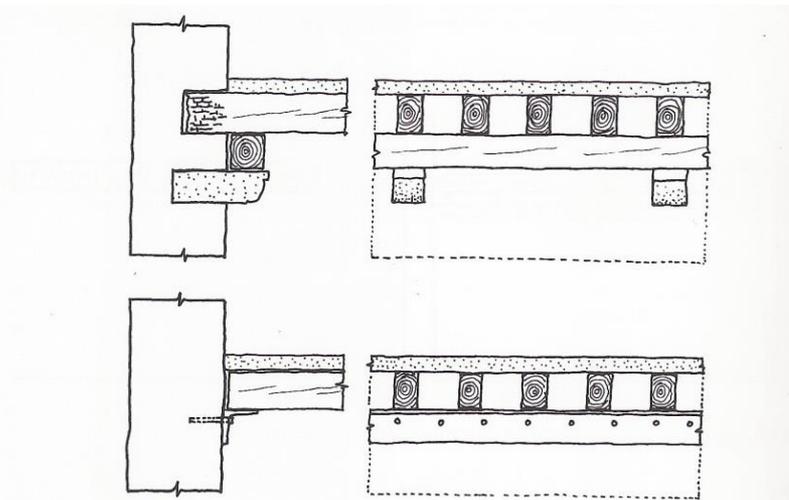
Principals mesures correctores

II - Reparación y consolidación:

Actuaciones sobre los apoyos de las viguetas

- **Utilización de vigas parederas**

Apoyo en un elemento adosado al muro, que traslada el apoyo interior en una pared al exterior del mismo, salvando en la mayoría de ocasiones la pared dañada



Principals mesures correctores

II - Reparación y consolidación:

Actuaciones sobre los apoyos de las viguetas

- **Refuerzo del apoyo**

Alargando el elemento de madera mediante perfiles metálicos (pletinas, UPN laterales,...) , con aporte de madera sana (secciones paralelas, empalmes de secciones que sustituyen a la parte afectada mediante colas y resina, pernos, pasadores o espigas) o reconstruyendo la parte afectada mediante formulaciones epoxídicas (el sistema Beta, por ejemplo).



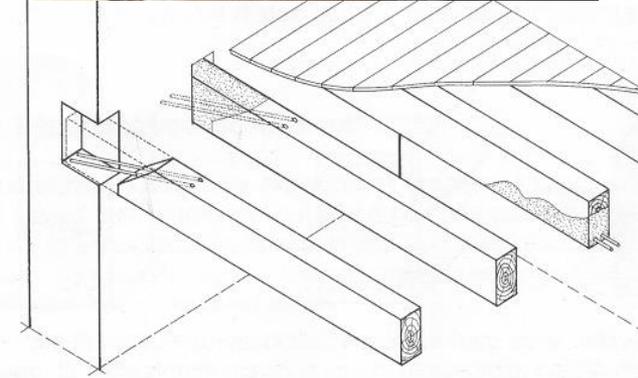
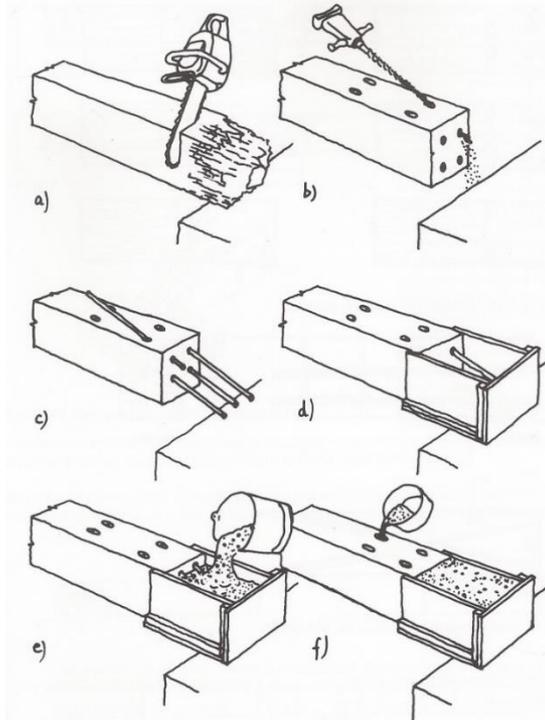
Principals mesures correctores

II - Reparación y consolidación:

Actuaciones sobre los apoyos de las viguetas

Sistema *BETA*:

Reconstrucción de la escudaría inicial mediante la colocación de barras de fibra y relleno de resinas epoxídicas.



Principals mesures correctores

II - Reparación y consolidación:

Resinas

CARACTERÍSTICAS ÚNICAS DE LAS RESINAS DRY FLEX



APLICACIÓN SENCILLA

Mezclar con la espátula los componentes A y B hasta que el color verde desaparezca completamente, se transforma en un color amarillo-miel homogéneo, y ya está listo para aplicar. Aplicación sencilla sin miedo a goteos.



IMITAR Y CLONAR

Posee características únicas para imitar el color y la textura de cualquier material. Mezclar el producto con una gota de tinte, serrín, arena o purpurina de metal.



TRABAJAR CON LA RESINA

Estas resinas se crearon para imitar la elasticidad de la madera y llega a ser como ésta, impermeable, fácil de trabajar, cepillar, lijar, atornillar, clavar y serrar.



Principals mesures correctores

II - Reparación y consolidación:

Resinas



VARILLAS FIBRA DE VIDRIO

Refuerzos y creación de estructuras

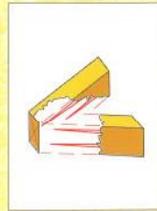
CARACTERÍSTICAS

Varillas de formulación Epoxy reforzadas con fibra de vidrio, altamente rugosas. Anclaje a distintos materiales, morteros de cemento, sintéticos, Epoxy, Poliester, etc.

Presentación: Longitud 1 metro
(Consultar otras medidas).

Diámetros aproximados de las varillas:
Amarillo: 3 mm. Verde: 12 mm.
Blanco: 5 mm. Rojo: 15 mm.
Azul: 8 mm.

8



Refuerzo estructural



OMEGA

Madera y estructuras

CARACTERÍSTICAS

Resina semi-transparente para crear prótesis y formas en estructuras de madera. Introduciendo varillas en la obra incrementa las propiedades estructurales de la reparación o refuerzo.

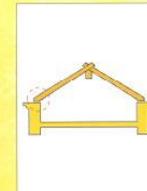
MODO DE EMPLEO

Dos componentes A y B se mezclan manualmente o con un taladro y añadir arena de sílice o similar en proporción 1:5 resina-arena. Verter en un encofrado con armazón de varillas de fibra de vidrio para obtener refuerzos estructurales.

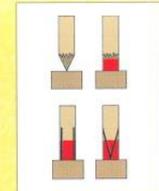
Tiempo de secado: 24 horas.
Tiempo de trabajo: 30 minutos.
Envases disponibles: 1Kg / 5Kg / 25Kg.

APLICACIONES

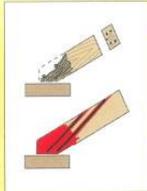
Madera. Reparar edificios de madera o con estructura de madera antigua. Crear prótesis, pegado y encolado de piezas. Colada en agujeros para unir varillas de metal o fibra de vidrio a la madera.



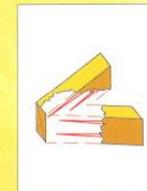
Tejados y cubiertas



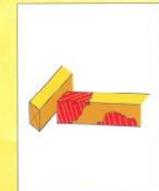
Postes y bases



Cerchas y apoyos



Refuerzo estructural



Vigas

Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- **Reducción de la sollicitación sobre la pieza**

Reducir la longitud de la pieza o simplemente anularla, haciendo trabajar otro elemento sustitutivo.

Podemos encontrarnos pues

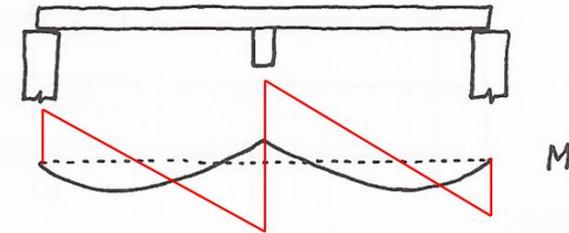
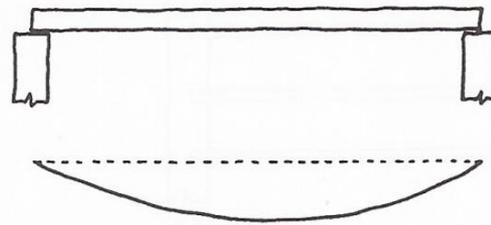
1. Colocación de parteluces (dividiendo la luz en dos o mas vanos) mediante perfiles metálicos o de madera. Posibles problemas son la disminución de altura libre, la diferencia de apoyo entre todas las viguetas, los apoyos de las vigas parteluces (introducen reacciones en los apoyos no previstas o que no pueden ser resistidas) la excesiva luz por lo que deberemos ir a soluciones de doble parteluz(soluciones en H, con vigas apoyadas sobre vigas que son las que se acaban apoyando en el muro)

Principals mesures correctores

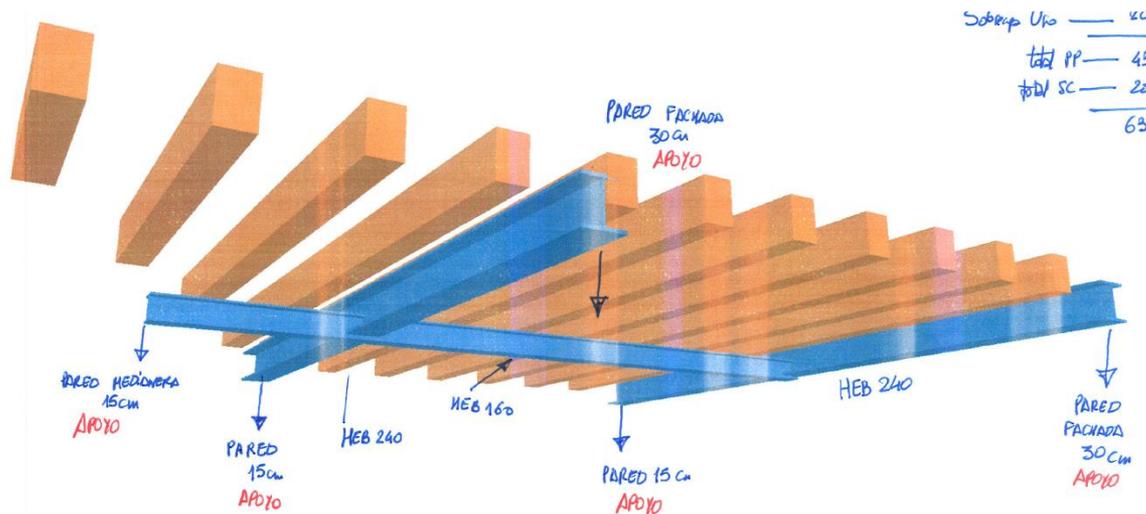
III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Colocación de parteluces



Ejemplo de colocación de parteluces en H



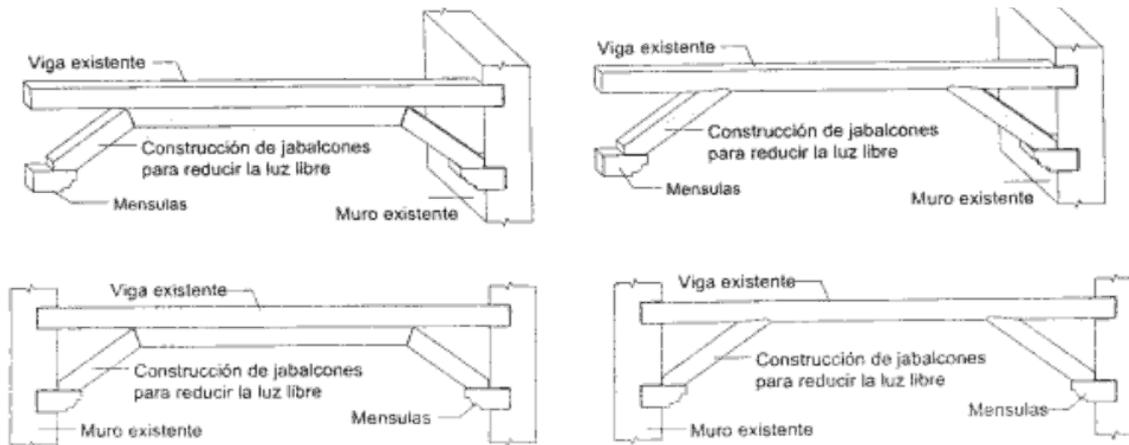
Colocación de un parteluces: la viga o vigueta se comporta como viga continua, y la reacción incluye parte isostática e hiperestática debido al M-

Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Reducción de la sollicitación sobre la pieza
- 2. Colocación de jabalcones o tornapuntas en los extremos: Se reduce también la luz, pues se introducen puntos de apoyo intermedios. Esta solución tiene dos problemas: la reducción de altura (en muchas ocasiones imposible) y la introducción de unos empujes horizontales en el muro en el apoyo del tornapuntas



Colocación de jabalcones para reducir la luz de las vigas (Patología de la madera/ Wood's Pathology: Degradación y rehabilitación de Estructuras de madera - Enrique Zanni)

Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Reducción de la sollicitación sobre la pieza
- 2. Colocación de jabalcones o tornapuntas en los extremos:



Fundación Catedral Santa
María Katedrala Fundazioa)

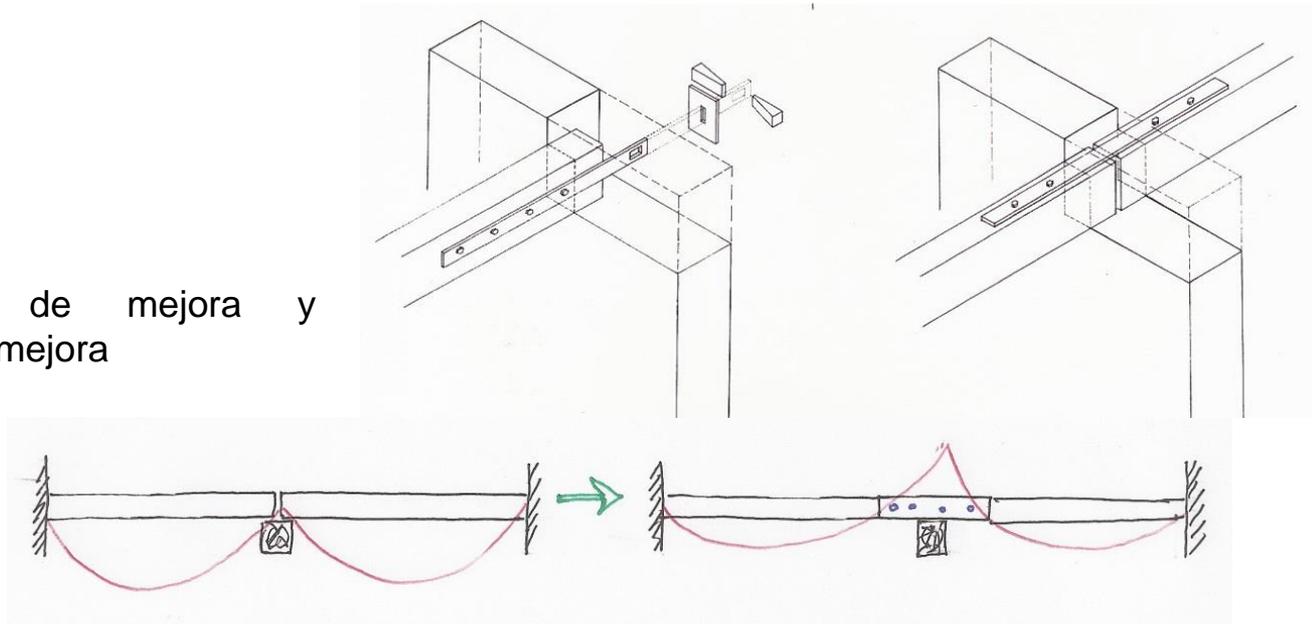
Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Reducción de la sollicitación sobre la pieza
- 3. Mejorar el comportamiento provocando la continuidad de elementos biapoyados:
anclando la viga a la pared, pasando de elementos isostáticos a hiperestáticos

Mecanismo de mejora y ejemplos de mejora

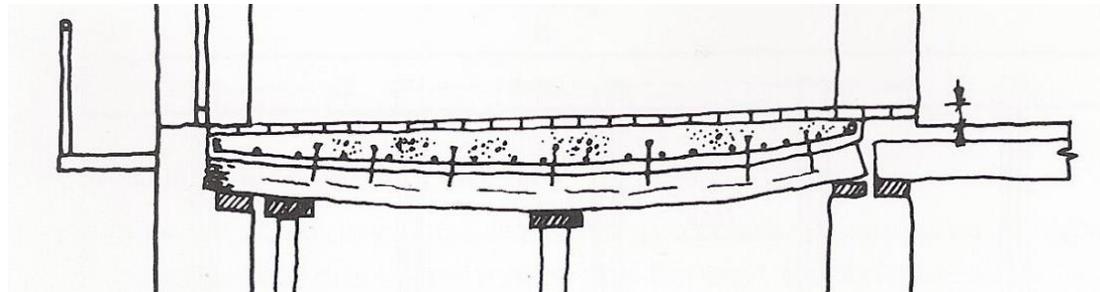


Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Reducción de la sollicitación sobre la pieza
4. Construcción de una losa autoportante de hormigón, incluso con nervaduras, sobre el forjado de madera: pasa a ser un mero encofrado perdido, que quedará suspendido de la nueva estructura de hormigón. Esta solución tiene varios problemas: el grosor irregular de la losa, mayor en centros de vano, y los apoyos, pues no deberíamos fiarnos del apoyo de madera y tendríamos que realizar cajeados o encajes de los nervios de hormigón inferiores. Para reducir el peso, podemos utilizar hormigón ligero, que ahora ya tiene calificación en la EHE 08: HLE-x



Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- **Refuerzo de la pieza**

La intención será la recuperación o aumento de la capacidad resistente de la pieza o de su rigidez. La tipología de refuerzo dependerá de las condiciones de accesibilidad, de la ubicación (por la parte superior o inferior del forjado), del peso de los elementos y de la constructibilidad de la solución. Hemos de *proyectar y diseñar con el casco puesto*.

Distinguiremos en principio dos grupos de intervenciones:

1. Intervenciones por la parte inferior o lateral de las barras (es decir, bajo las piezas de entrevigado en un forjado)
2. Intervenciones por la parte superior del forjado o elemento.

Cada una de ellas se puede subdividir según el material que se utilice y el efecto que produzca (aumento de I y W ; incorporación de esfuerzos activos)

Principals mesures correctores

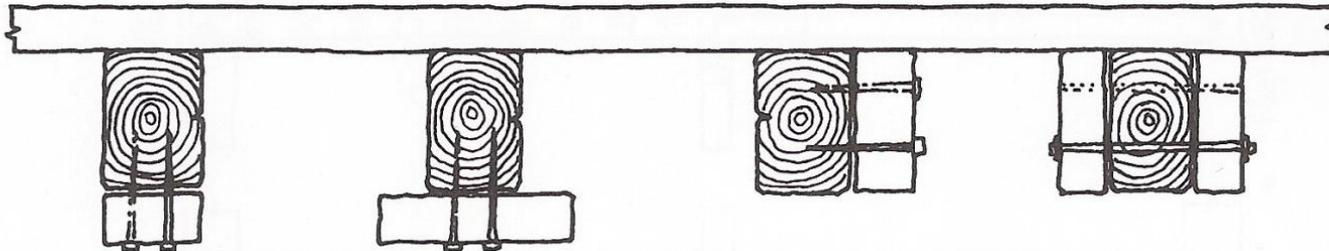
III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Refuerzo de la pieza
- 1. Intervenciones por la parte inferior o lateral
 1. Aporte de madera (con medios de unión “clásicos”)

Adición de nuevas piezas adosadas o intercaladas a las originales, una vez saneada la pieza de los desperfectos que pudiera tener, y que se encuentren alisadas para garantizar el contacto con la nueva pieza. La ejecución es fácil, y debería poder realizarse sin necesidad de nuevos cajeados en muros de apoyo.

Para el dimensionado del refuerzo, únicamente deberemos calcular la sección necesaria de madera, en ELU o ELS, para aportarla, y calcular los elementos de conexión a los esfuerzos que aparecerán.



Refuerzo de las viguetas de un forjado con piezas de madera unidas con clavos, tirafondos o pernos (F.Arriaga)

Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Refuerzo de la pieza
- 1. Intervenciones por la parte inferior o lateral
 1. Aporte de madera (con medios de unión “clásicos”)



Los problemas que pueden presentarse se deberán a que las piezas originales tienen unas deformaciones remanentes, mientras que las nuevas son rectas

Refuerzo con piezas de madera unidas con pernos (Ingenieros Asociados)

Principals mesures correctores

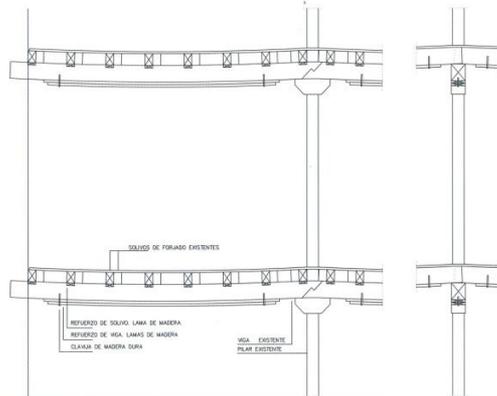
III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Refuerzo de la pieza
- 1. Intervenciones por la parte inferior o lateral
 1. Aporte de madera (con medios de unión “clásicos”)

aporte de madera
(fuente
TECNIFUSTA)

AUMENTO DE ESCUADRÍA MEDIANTE LAMINADO INFERIOR



CARACTERÍSTICAS

- Aumenta la capacidad resistente de la viga ó solivo en función de las necesidades de proyecto.
- Mejora la calidad de la madera en la zona crítica: tracción.
- No suele necesitar intervención en los apoyos.
- Se adapta a las deformaciones existentes.

PREDIMENSIONADO

01 Aplicar los criterios de diseño.

- Colocar laminas de 3-4cm en zona traccionada.
- No intervenir en los apoyos si no es necesario.
- Colocar una varilla en cada extremo del injerto.

02 Calcular la viga.

- Emplear la sección total de viga ó solivo; sección original + refuerzo.
- Emplear la calidad de la madera aportada en tracción.



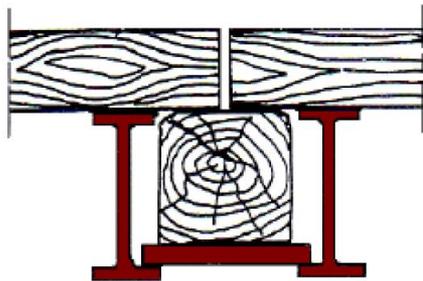
Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

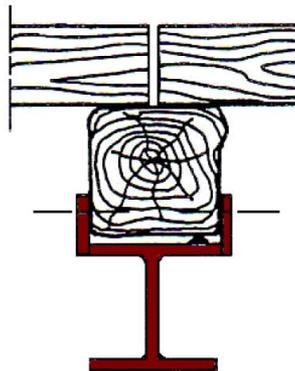
Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Refuerzo de la pieza
 1. Intervenciones por la parte inferior o lateral
 1. Aporte de elementos metálicos

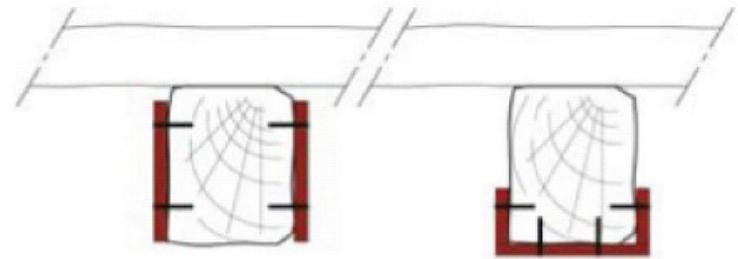
Iguals premisas y problemas que en el caso anterior, pero utilizando elementos metálicos (pletinas, perfiles,...). Además hemos de tener en cuenta la heterogeneidad de los materiales, por lo que en el dimensionado hemos de homogeneizar la sección.



a) Refuerzo mediante anexión de vigas en paralelo en I, H o U



b) Refuerzo inferior mediante perfiles en I, U o H



Adecuado sobre apoyos, regular en el vano

Adecuado sobre apoyos, regular en el vano

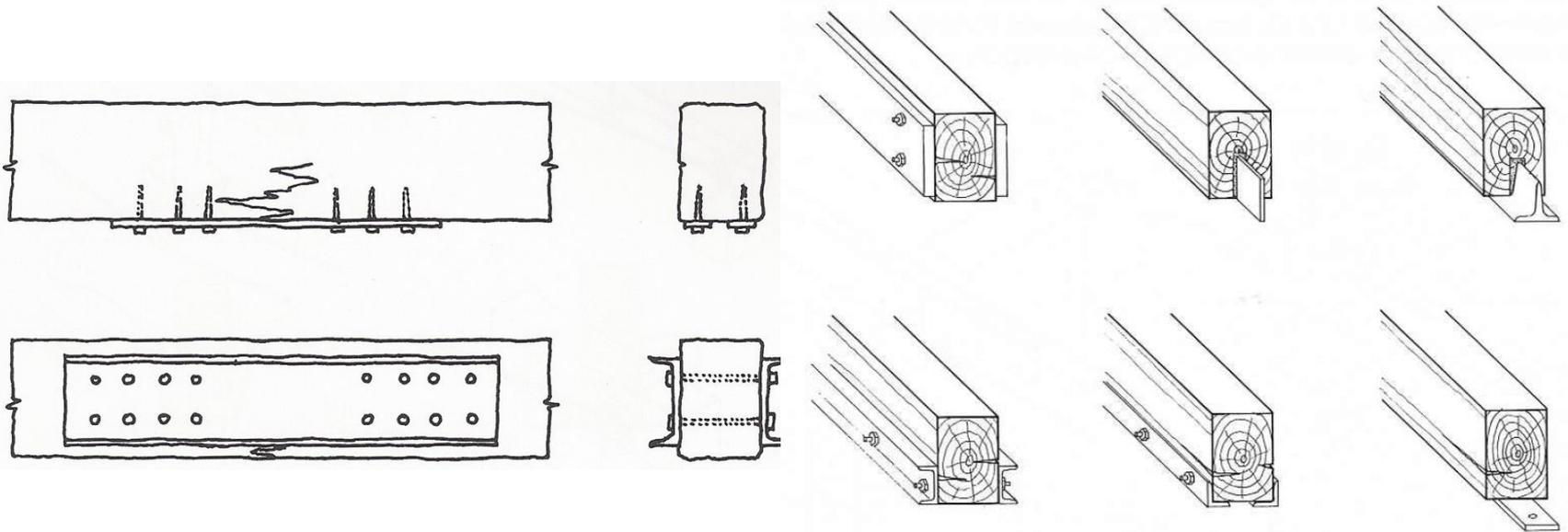
El efecto producido varía según la posición del refuerzo

Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Refuerzo de la pieza
 1. Intervenciones por la parte inferior o lateral
 1. Aporte de elementos metálicos



Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Refuerzo de la pieza
 1. Intervenciones por la parte inferior o lateral
 1. Aporte de elementos metálicos



Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

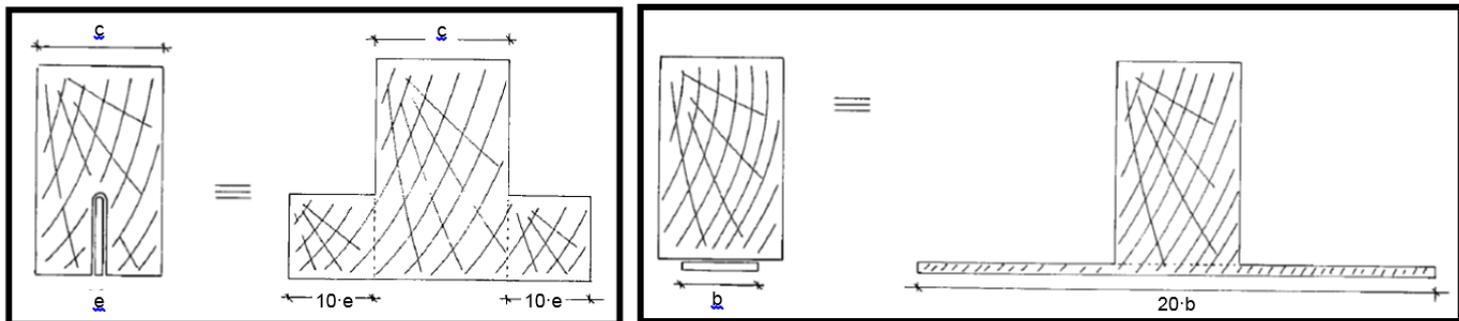
Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Refuerzo de la pieza
- 1. Intervenciones por la parte inferior o lateral
- 2. Aporte de elementos metálicos

Como aceptamos como válida la aplicación de la teoría de la elasticidad, también se considerará aplicable el criterio de homogeneizar la sección a partir del coeficiente η de relación entre los módulos de elasticidad de los materiales en contacto.

$$\eta = \frac{E_s}{E_w}$$

Suponiendo un módulo de deformación de la madera alrededor de 100.000 kg/cm², y considerando el del acero como 2.100.000 kg/cm², podemos considerar $\eta=20$, quedando las secciones homogeneizadas como quedan:



Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

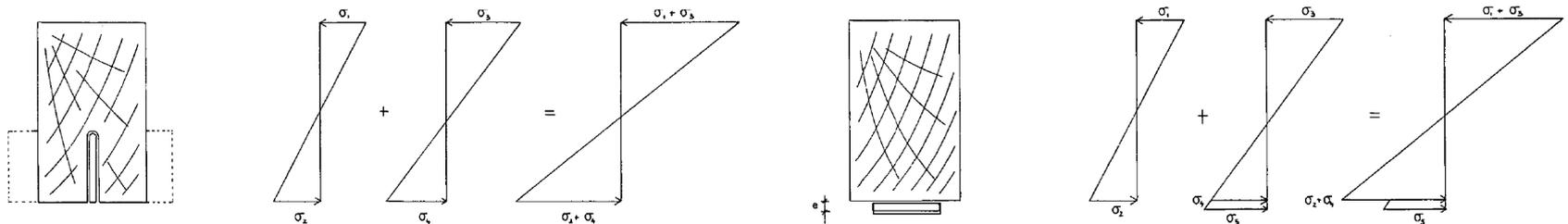
Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Refuerzo de la pieza
- 1. Intervenciones por la parte inferior o lateral
 2. Aporte de elementos metálicos

Estas secciones homogeneizadas permiten determinar el centro de gravedad, el momento de inercia respecto a este centro de gravedad y, por tanto, el valor de las tensiones en cualquier punto de la sección. Si se quieren conocer las tensiones sobre el material de refuerzo, hace falta tener en cuenta que las tensiones calculadas se han de multiplicar por el valor correspondiente de η .

Si la viga no puede ser descargada antes de la operación de refuerzo, hará falta determinar las tensiones considerando un estado inicial en que la viga por ella misma aguante un cierto peso muerto.

La suma de tensiones en los casos antes mencionados sería:



Suma de tensiones en secciones mixtas

Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Refuerzo de la pieza
- 1. Intervenciones por la parte inferior o lateral
- 3. Aplicación de resinas epoxi

Sustituir masa de madera inexistente. Su campo de acción es muy amplio, sobre todo por su doble cualidad de ser moldeable y aplicable «in situ», y por su extrema fluidez, ya que sus dos componentes al mezclarse producen una reacción exotérmica que permite a la mezcla introducirse por cualquier hueco, fisura o poro, uniéndolos íntimamente y rellenando todos los espacios.

Es muy importante que nos aseguremos que la resina elegida sea termoestable, es decir, que por la acción del calor no pierda sus cualidades de extrema resistencia.

El comportamiento de las resinas Epoxi al fuego en las prótesis tradicionales, se mejora de manera drástica al emplear la resina como cola, con un espesor de pocos milímetros. La resina queda protegida por la madera, y el avance del fuego en línea de cola queda limitado por el avance del fuego en la escuadría de madera. El empleo de resina para la ejecución de injertos no supone pérdida de estabilidad al fuego del elemento estructural reparado.

Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Refuerzo de la pieza
 1. Intervenciones por la parte inferior o lateral
 3. Aplicación de resinas epoxi

La temperatura de trabajo de la resina debe ser superior a 10°C. A mayor temperatura, mayor rapidez de endurecimiento. El tiempo de trabajo de la resina es de 45 minutos. El tiempo de endurecimiento de 3 a 5 horas. El tiempo de polimerización es de 24 horas. La resistencia de la resina Epoxi es de aproximadamente: 45N/mm² a compresión, 15,5N/mm² a tracción, y 15N/mm² a cortante. Los planos de encolado se deben diseñar para que trabajen a esfuerzo cortante.



Madera unida con resinas epoxi y barras de fibra de vidrio (Renofors)

Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Refuerzo de la pieza
 1. Intervenciones por la parte inferior o lateral
 3. Aplicación de resinas epoxi

Esta solución consiste en realizar unos rebajes a la madera que permitan la inserción de elementos metálicos o de fibra de vidrio que quedarán embebidos en resinas epoxi (ventaja: la unión entre el elemento de refuerzo y la madera es más eficaz y queda oculta)

En este tipo de reparaciones, es fundamental que la longitud del anclaje permita que las dos partes trabajen solidariamente.

La resina epoxi se combina con la utilización de prótesis de madera, elementos metálicos, barras de fibra de vidrio, de fibra de carbono,...

Refuerzo con barras que se sellan con resina, tratada con un acabado similar a la madera o bien recubierta por láminas de madera para disimular su presencia y garantizar la continuidad y homogeneidad del paramento. (F.Arriaga – Renofors)



Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Refuerzo de la pieza
- 1. Intervenciones por la parte inferior o lateral
- 4. Colocación de fibra de carbono

Utilización de bandas de fibra de carbono, actuando como armadura a tracción. Puede colocarse en ranuras laterales donde se aloja encolándolo con un adhesivo epoxi o en la parte inferior de la sección a reforzar. Pueden taparse con elementos de madera.



Refuerzo mediante laminados de fibra de carbono: lateral o inferior (Kimitech – Kimia)



Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Refuerzo de la pieza
- 1. Intervenciones por la parte inferior o lateral
- 4. Colocación de fibra de carbono (Sika, Basf,...)

Refuerzo en construcciones de madera

Los laminados de fibra de carbono MBrace insertados en ranuras (Cut-in) reducen significativamente la deformación de las vigas de madera. En circunstancias ideales, los Laminados deberían aplicarse antes de cargar el elemento de madera. El adhesivo especial MBrace Resin 220 (I) es particularmente adecuado para utilizarse con madera. El sistema de pretensado MBrace puede utilizarse de una manera ligeramente modificada para tales soluciones, como alternativa, los Laminados MBrace pueden incorporarse, en estado pretensado o sin tensión, sobre madera laminada.

Refuerzo de viga de madera debido a la insuficiente capacidad portante

Viga de madera fisurada en un museo de Lucerna (Suiza)

Insuficiente estabilidad estructural debido a la conversión en un monasterio de Eschenbach (Suiza)



Refuerzo no visible en una viga de madera

Disminución de deformaciones con dos soportes para la inserción de dos laminados Sika CarboDur® H 514

Relleno de la ranura abierta con Sikadur® 30



Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

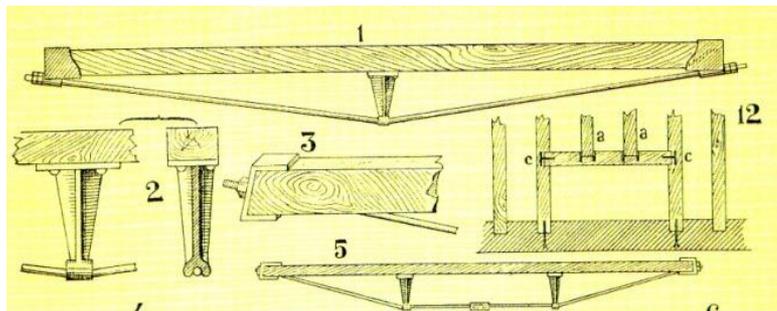
Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Refuerzo de la pieza
 1. Intervenciones por la parte inferior o lateral
 5. Refuerzo mediante postesado

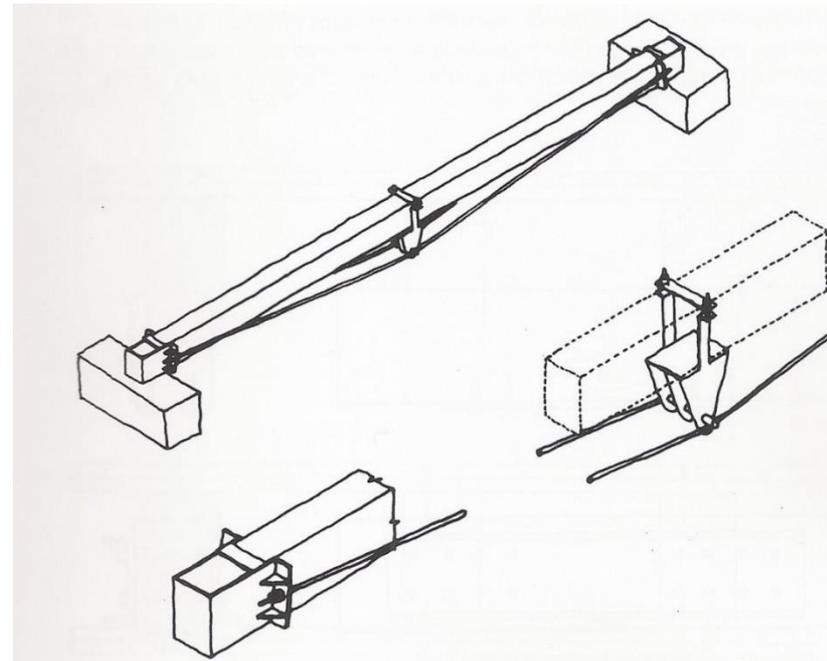
Es posible reforzar los elementos mediante el uso de tensores de forma que generen una reacción vertical hacia arriba en el centro de las viguetas o en varios de sus puntos. De entre las distintas soluciones, quizás la más conocida sea la denominada “viga Fink”.

Esta solución ya se utilizaba desde el mismo momento en que estructuras metálicas y de madera empezaron a mezclarse.

Extracto de lámina del Tratado práctico de arquitectura y construcción modernas, de Domènec Sugrañes (1916). Error en los extremos de la figura 1



Esquema de funcionamiento de las vigas Fink (extraído del libro “Intervenciones en madera”, de F.Arriaga y otros, publicado por AITIM)



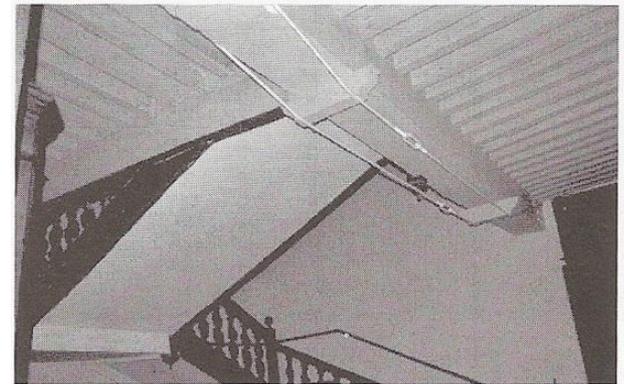
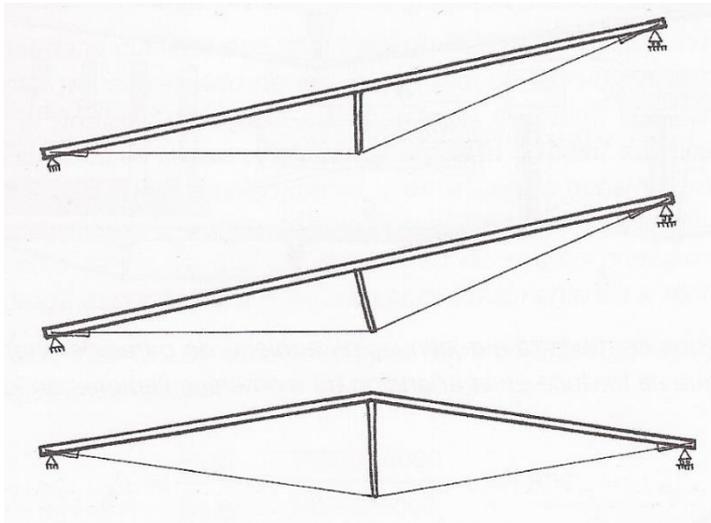
Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Refuerzo de la pieza
- 1. Intervenciones por la parte inferior o lateral
- 5. Refuerzo mediante postesado

No es imprescindible que el cordón superior sea horizontal, incluso a dos aguas.



Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Refuerzo de la pieza
- 2. Intervenciones por la parte superior
 1. Aporte de madera

Obtenemos un aumento de la inercia del elemento, tanto individualmente como en conjunto. La fijación se realiza mediante tirafondos que absorben los esfuerzos cortantes/rasantes. El cálculo debe realizarse teniendo en cuenta la resistencia de la estructura existente y los efectos de deslizamiento en la unión

La ventaja de la utilización del sistema radica en que son elemento de madera, con propiedades similares a las vigas existentes

Si se utilizan tableros de madera microlaminada, por ejemplo Kerto, tenemos la ventaja de una alta resistencia y con pequeños espesores



Colocación de tablero sobre vigas o elementos laminares sobre las vigas para formar una sección en T

Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

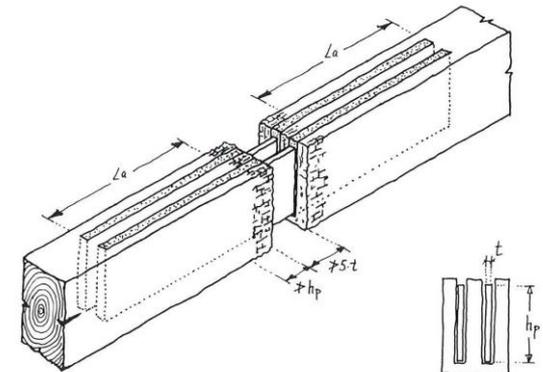
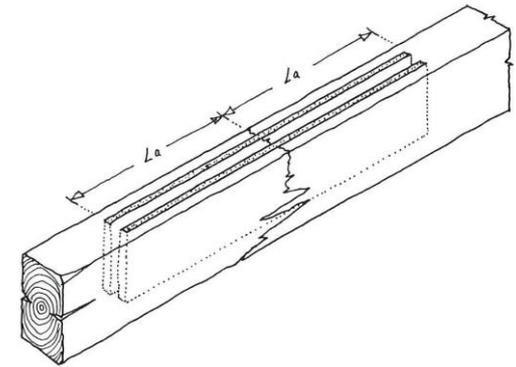
Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Refuerzo de la pieza
- 2. Intervenciones por la parte superior
 - 2. Aporte de elementos metálicos

Colocación de elementos metálicos desde la parte superior del forjado utilizando pletinas, perfiles,.... Hemos de tener en cuenta la heterogeneidad de los materiales, por lo que en el dimensionado hemos de homogeneizar ambos materiales a uno.



Instalación de placas de refuerzo metálicas internas con epoxi – longitud libre máxima – F.Arriaga



Principals mesures correctores

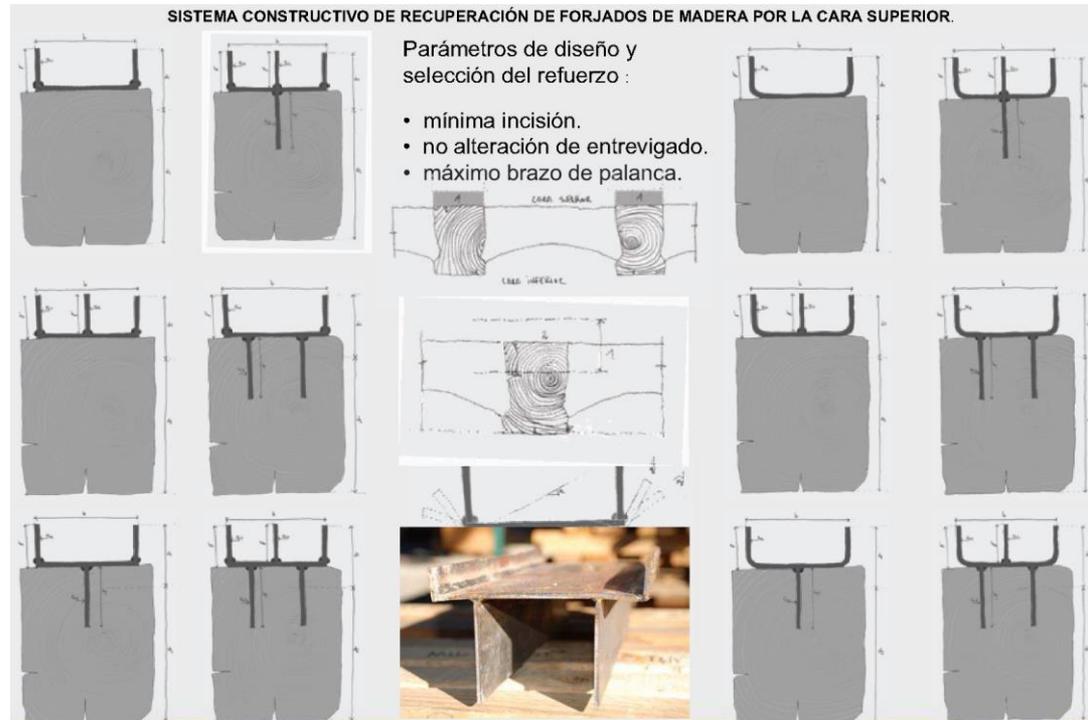
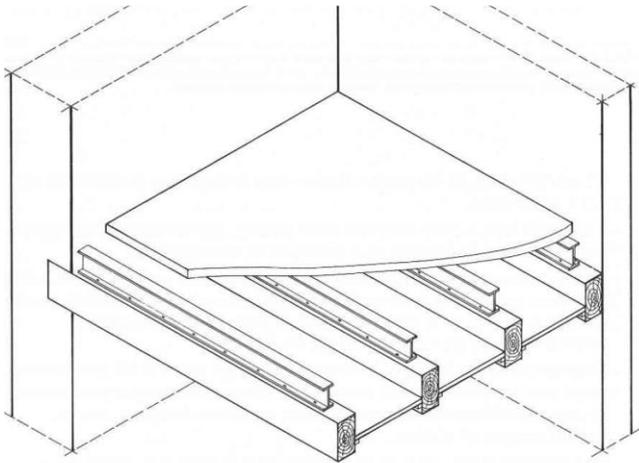
III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Refuerzo de la pieza
- 2. Intervenciones por la parte superior
 - 2. Aporte de elementos metálicos

Colocación de tablero sobre vigas o elementos laminares sobre las vigas para formar una sección en T (Carlos González Bravo (Dr. Arquitecto) - LYCEA)

Podemos también aumentar la inercia del elemento, mediante la colocación de perfiles en su parte superior, siempre que tengamos espacio suficiente en la estancia superior.



Principals mesures correctores

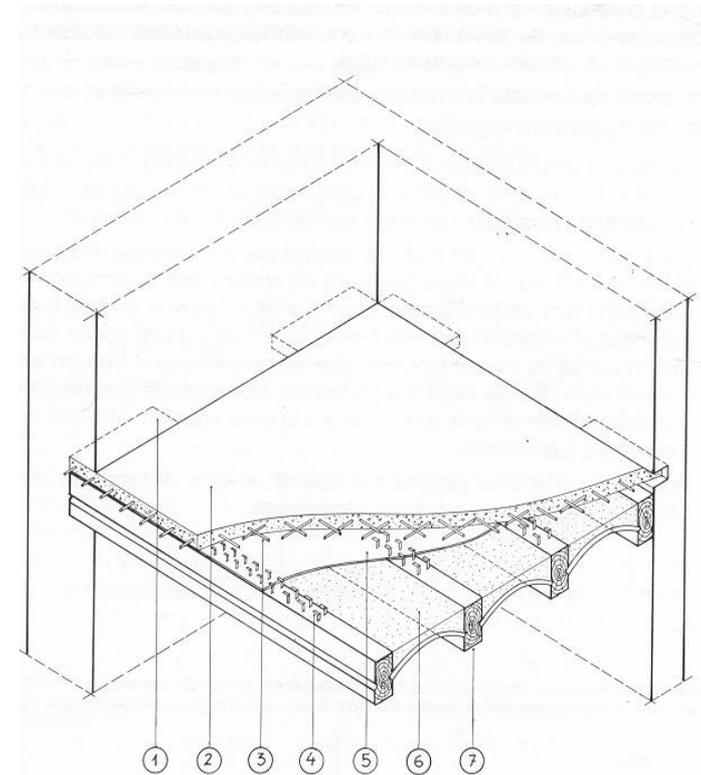
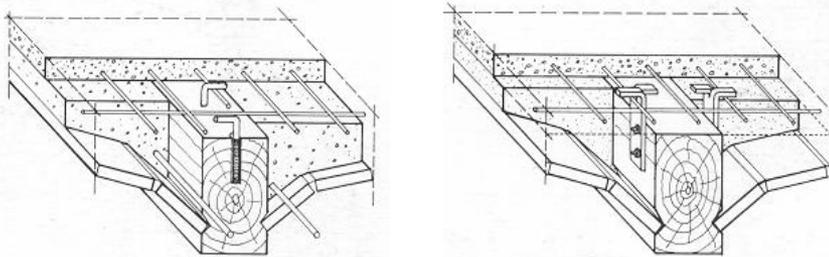
III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

- Refuerzo de la pieza
- 2. Intervenciones por la parte superior
 - 3. Estructuras mixtas: aporte de hormigón

Disponemos una capa de hormigón, armado con un mallazo, sobre las viguetas del forjado, debidamente conectada. El hormigón trabaja como cabeza comprimida, y la madera predominantemente a tracción.

Esta solución no solo se utiliza como recurso para incrementar la capacidad de carga, rigidez y aislamiento de forjados existentes, sino también en obra nueva.

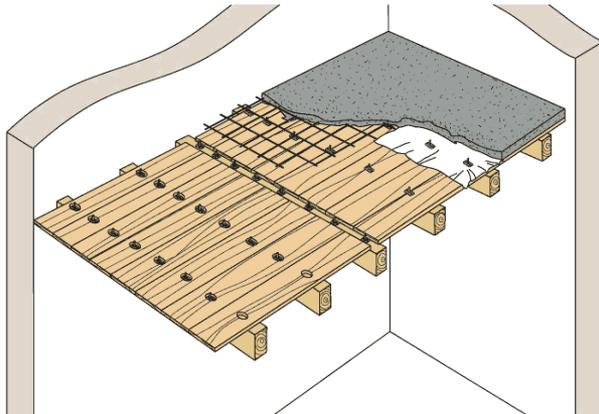


Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

3. Estructuras mixtas: aporte de hormigón - TECNARIA



Principals mesures correctores

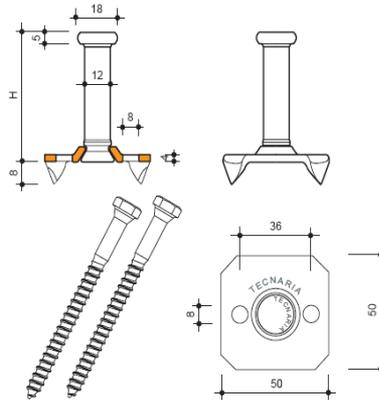
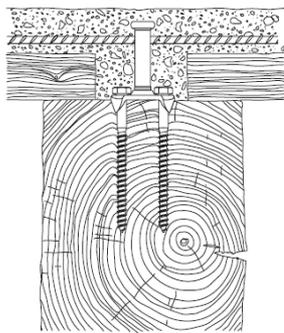
III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

3. Estructuras mixtas: aporte de hormigón - TECNARIA



conector BASE placa de base 50 X 50 mm tornillos Ø 8 mm



Elemento del pliego de condiciones: conector de perno formado por una placa de base 50 x 50 x 4 mm, modelada en forma de crampones, provista de dos agujeros que permiten la introducción de dos tornillos tirafondos Ø 8 mm con subcabeza troncocónica, cuerpo de acero cincado Ø 12 mm, unido a la placa mediante recalado en frío.
Alturas del cuerpo disponibles: 30, 40, 60, 70, 80, 105, 125, 150, 175 y 200 mm
Longitud de los tornillos disponibles: 70, 100 y 120 mm

Valores mecánicos sobre madera de abeto de clase C16 (EN338) correspondiente a la clase S7 (DIN 4074) según el método de:

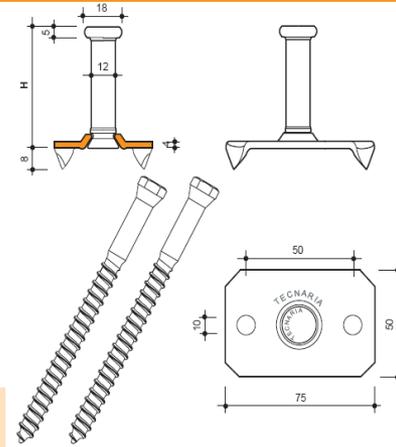
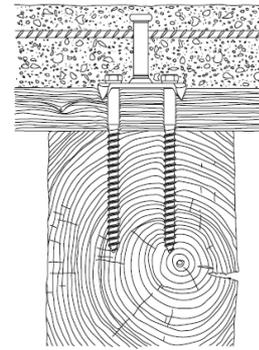
TENSIONES ADMISIBLES	Directamente sobre la viga	Sobre 2 cm de entablado	Sobre 4 cm de entablado
RESISTENCIA (carga admisible) [N]	7500	5100	3500
RIGIDEZ (módulo de desplazamiento de servicio) [N/mm]	20800	3140	1410

Valores mecánicos sobre madera de abeto de clase C16 (EN338) correspondiente a la clase S7 (DIN 4074) según el método de:

ESTADOS LÍMITE	Directamente sobre la viga	Sobre 2 cm de entablado	Sobre 4 cm de entablado
RESISTENCIA CARACTERÍSTICA R_k [N]	20900	14190	9760
MÓDULO DE DESPLAZAMIENTO INICIAL K_{ser} [N/mm]	17200	2740	1330
MÓDULO DE DESPLAZAMIENTO ÚLTIMO K_u [N/mm]	7410	1730	970



conector MAXI placa de base 75 X 50 mm tornillos Ø 10 mm



Elemento del pliego de condiciones: conector de perno formado por una placa de base 75 x 50 x 4 mm, modelada en forma de crampones, provista de dos agujeros que permiten la introducción de dos tornillos tirafondos Ø 10 mm con subcabeza troncocónica, cuerpo de acero cincado Ø 12 mm, unido a la placa mediante recalado en frío.
Alturas del cuerpo disponibles: 30, 40, 60, 70, 80, 105, 125, 150, 175 y 200 mm
Longitud de los tornillos disponibles: 100, 120 y 140 mm

Valores mecánicos sobre madera de abeto de clase C16 (EN338) correspondiente a la clase S7 (DIN 4074) según el método de:

TENSIONES ADMISIBLES	Directamente sobre la viga	Sobre 2 cm de entablado	Sobre 4 cm de entablado
RESISTENCIA (carga admisible) [N]	8700	7050	6140
RIGIDEZ (módulo de desplazamiento de servicio) [N/mm]	20800	8390	3660

Valores mecánicos sobre madera de abeto de clase C16 (EN338) correspondiente a la clase S7 (DIN 4074) según el método de:

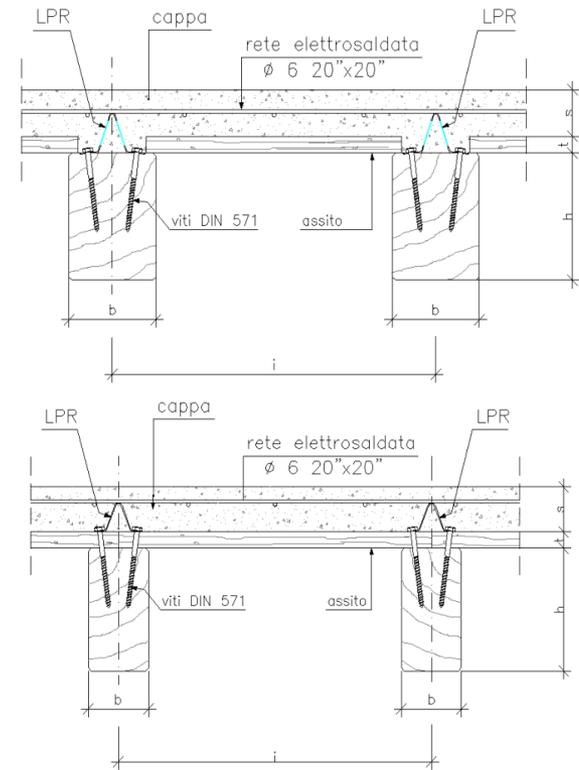
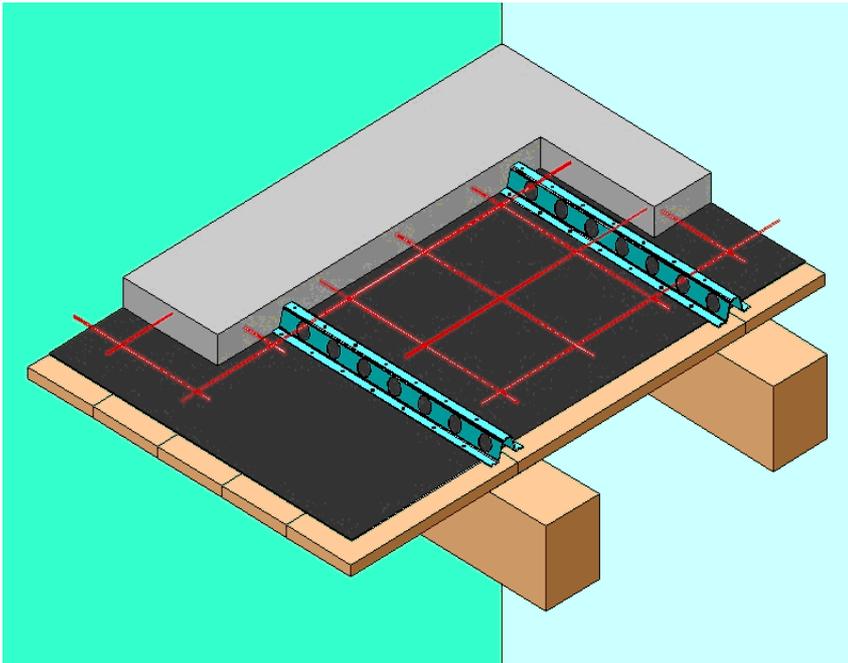
ESTADOS LÍMITE	Directamente sobre la viga	Sobre 2 cm de entablado	Sobre 4 cm de entablado
RESISTENCIA CARACTERÍSTICA R_k [N]	24250	19630	17100
MÓDULO DE DESPLAZAMIENTO INICIAL K_{ser} [N/mm]	17200	6800	3230
MÓDULO DE DESPLAZAMIENTO ÚLTIMO K_u [N/mm]	7410	3270	2410

Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

3. Estructuras mixtas: aporte de hormigón - LPR



Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

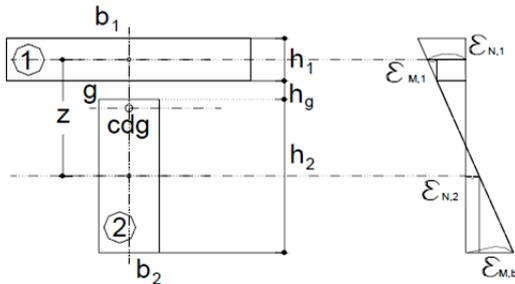
3. Estructuras mixtas: aporte de hormigón

Concepto de forjado colaborante

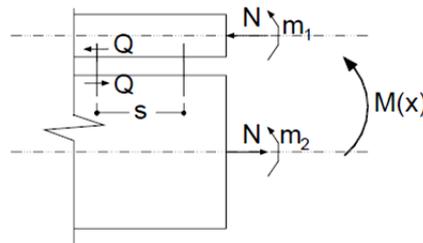
Las soluciones mixtas de madera y hormigón poseen:

- Mayor inercia
- Mayor monolitismo
- Mayor capacidad de cargas horizontales

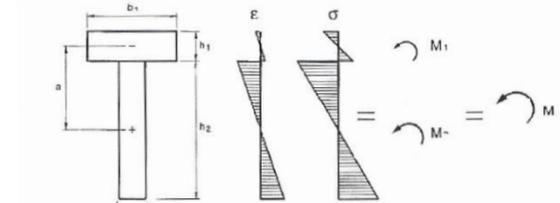
El SE-M no desarrolla esta cuestión; es necesario usar, al menos, el EC-5/1-Anejo B, la EHE y el EC-4. Para el cálculo del forjado mixto partimos de que la sección compuesta cumple la hipótesis de Navier-Bernoulli: ley plana de deformaciones unitarias:



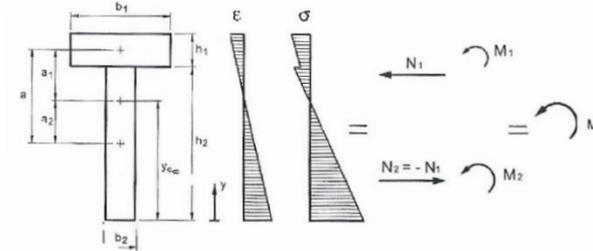
Esquema descomposició esforços y deformaciones



Deformación y tensión de flexión en una viga mixta con **rigidez nula** en las conexiones.



Deformazioni e tensioni da flessione in una trave composta con connessione a rigidezza nulla.



Deformación y tensión de flexión en una viga mixta con **rigidez infinita** en las conexiones.

Gran importancia tiene en este refuerzo la conexión entre ambos materiales, pues dependiendo de la rigidez de los conectores, el comportamiento de la sección mixta varía bastante.

Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

3. Estructuras mixtas: aporte de hormigón

Razón de ser de las estructuras mixtas. ⇒Evolución

En la actualidad ha habido un CAMBIO DE VARIABLES

- a) el requisito acústico en uso colectivo
- b) el control de la vibración en uso colectivo
- c) el costo (-> rehabilitación: coste de sustitución)
- d) el valor histórico de armaduras existentes

El análisis anterior conduce la agrupación de *tres categorías con rasgos bien diferenciados*:

- *la obra nueva*
- *la rehabilitación*
- *la restauración*

Principals mesures correctores

III - Refuerzo:

Actuaciones sobre la pieza sometida a flexión

3. Estructuras mixtas: aporte de hormigón

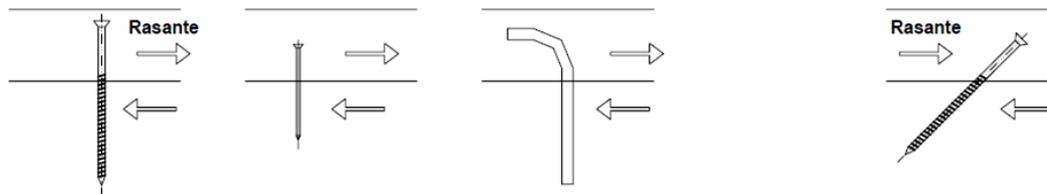
Los conectores:

Tienen gran importancia:

- Son la unión entre madera y hormigón
- Absorben en esfuerzo rasante

Hay varios tipos de conectores. Sólo nos referiremos a los conectores tipo clavija: clavos, tirafondos, barras de acero doblado.

Según la posición pueden ser:

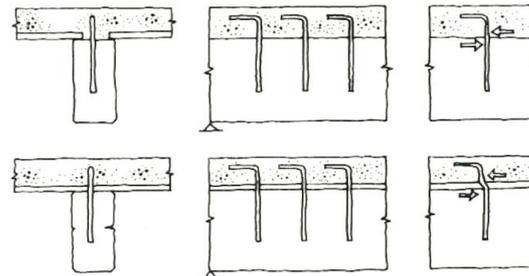


Conectores verticales

Conectores inclinados

Según el esfuerzo absorbido:

- De cortante: perpendiculares al plano de contacto entre hormigón y madera
- De cortante y flexión: si tenemos una capa intermedia no estructural.



Principals mesures correctores

IV - Sustitución:

- **Sustitución de la pieza, o parte de ella:**

Si el material de una pieza está degradado, podemos optar por sustituir la parte que se encuentre en mal estado o realizar la sustitución de la pieza entera, bien sea de forma física o de forma funcional (sustituimos la funcionalidad de la pieza defectuosa por otra nueva, sin eliminarla).

Por lo tanto, podemos hablar de:

1. Intervenciones por la parte inferior o lateral de las barras (es decir, bajo las piezas de entrevigado en un forjado)
2. Intervenciones por la parte superior del forjado o elemento.

Cada una de ellas se puede subdividir según el material que se utilice y el efecto que produzca (aumento de I y W ; incorporación de esfuerzos activos)

Principals mesures correctores

IV - Sustitución:

- Sustitución de parte de la pieza

REPARACIÓN DE VIGA

UNIÓN OBLICUA VERTICAL

planta
alzado

caso 1. reparación en el apoyo

planta
alzado

caso 2. reparación en el centro del vano

CARACTERÍSTICAS

Unión capaz de devolver la totalidad de la capacidad resistente original a la viga en cualquier punto de esta.

PREDIMENSIONADO

01 Aplicar los criterios de diseño.
Para reparaciones en el apoyo, la longitud de la unión será $l=4b$.
Para reparaciones en el centro del vano, la longitud de la unión será $l=6b$.
Colocar clavijas de montaje en ambos extremos de la unión.

02 Calcular la viga a flexión.
Calcular con la sección restaurada de la viga.
Emplear la calidad de la madera reparada.

08

RECUPERACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MADERA. INJERTOS ENCOLADOS

REPARACIÓN DE VIGA

UNIÓN OBLICUA INCLINADA

planta
alzado

caso 1. reparación en el apoyo

planta
alzado

caso 2. reparación en el centro del vano

CARACTERÍSTICAS

Unión capaz de devolver la totalidad de la capacidad resistente original a la viga en las zonas cercanas a los apoyos.

PREDIMENSIONADO

01 Aplicar los criterios de diseño.
Para reparaciones en el apoyo, la longitud de la unión será $l=4h$.
Para reparaciones en el centro del vano, la longitud de la unión será $l=6h$.
Colocar varillas en zona de tracción.

02 Calcular la viga a flexión.
Calcular con la sección restaurada de la viga.
Emplear la calidad de la madera reparada.

RECUPERACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MADERA. INJERTOS ENCOLADOS

09

Principals mesures correctores

IV - Sustitución:

- Sustitución de parte de la pieza

REPARACIÓN DE TIRANTE

UNIÓN EN DIENTE DE PERRO

CARACTERÍSTICAS
Unión capaz de devolver suficiente capacidad resistente al tirante.

PREDIMENSIONADO

- 01 Aplicar los criterios de diseño.
Diseño de doble diente de perro tradicional.
Colocar cuñas de ajuste.
Colocar clavijas de montaje.
- 02 Calcular el conjunto.
Calcular la tensión en el tirante.
Comprobar tensión máxima a tracción en madera de plano de unión a testa.
Comprobar tensión máxima a compresión en cuña.
Calcular longitud mínima de plano longitudinal.

10

RECUPERACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MADERA. INJERTOS ENCOLADOS

REPARACIÓN DE TIRANTE

UNIÓN A MEDIA MADERA

CARACTERÍSTICAS
Unión capaz de devolver la totalidad de la capacidad resistente al tirante.

PREDIMENSIONADO

- 01 Aplicar los criterios de diseño.
Diseño a media madera tradicional.
Colocar varillas roscadas en testa.
- 02 Calcular el conjunto.
Calcular la tensión en el tirante.
Comprobar tensión máxima a tracción en madera de plano de unión a testa.
Calcular el número y longitud de las varillas en testa.

11

RECUPERACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MADERA. INJERTOS ENCOLADOS

Principals mesures correctores

IV - Sustitución:

- Sustitución física de la pieza

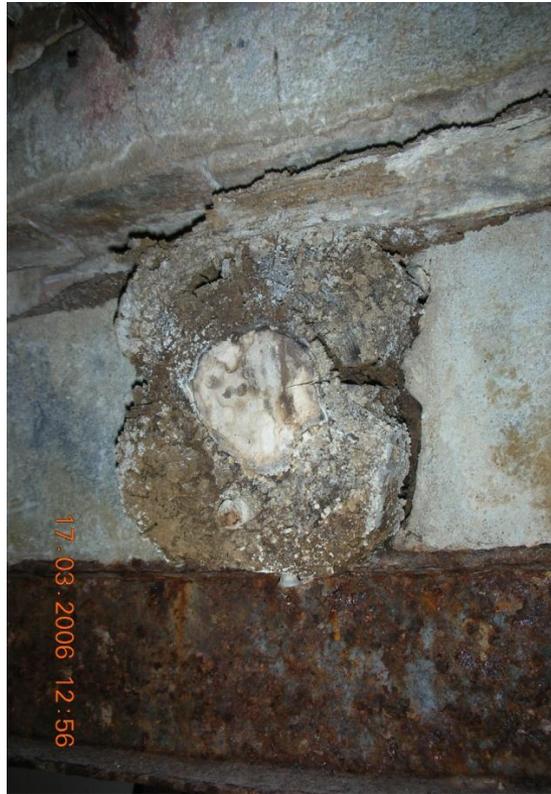
Difícil. Hay que tener cuidado de los elementos adyacentes. Puede realizarse con madera, u otros materiales como acero, hormigón.



Principals mesures correctores

IV - Sustitución:

- Sustitución física de la pieza



Principals mesures correctores

IV - Sustitución:

- **Sustitución funcional de la pieza**

Construir un nuevo elemento resistente que soporte las solicitaciones de aquel que queremos sustituir, con la anulación de su misión estructural.

Intervención por encima o por debajo, según facilidad e interés arquitectónico.

El material es diverso: madera, acero, hormigón, fibras, ... además de ser interiores, exteriores, extensibles, adaptables,...

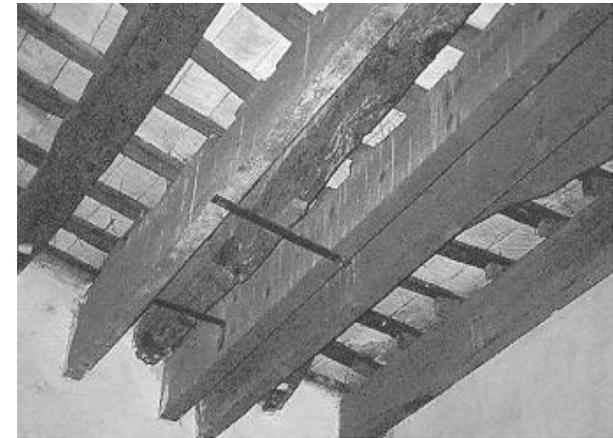
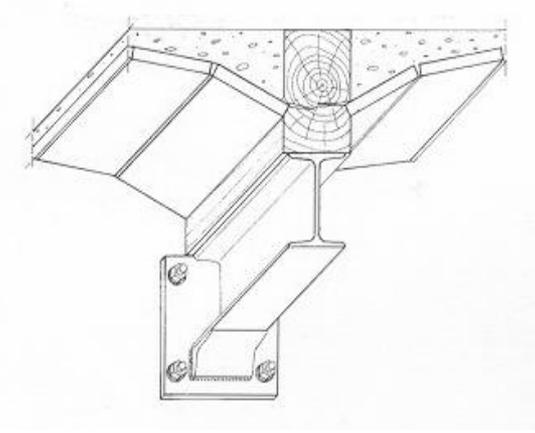
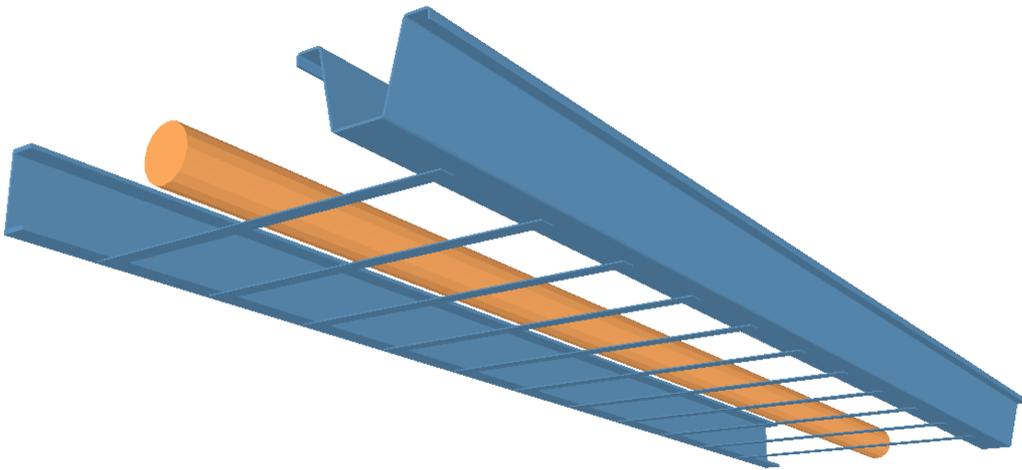
Los puntos débiles: las uniones y puesta en carga del nuevo sistema.

Principals mesures correctores

IV - Sustitución:

- Sustitución funcional de la pieza

Soluciones de autor o con patentes de fabricantes.

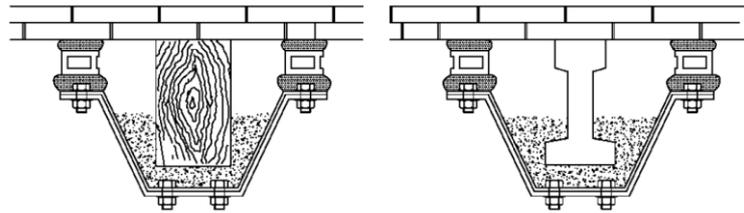


Principals mesures correctores

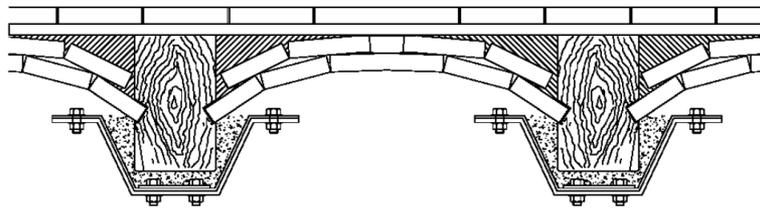
IV - Sustitución:

- Sustitución funcional de la pieza

MECANOVIGA -



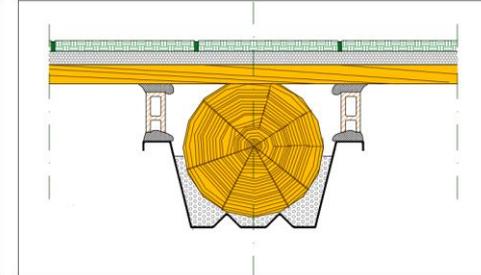
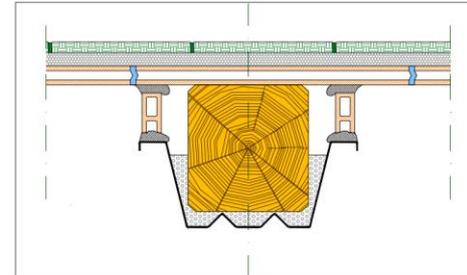
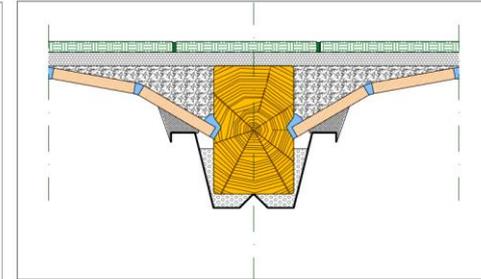
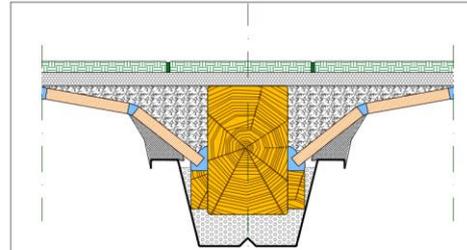
FORJADO CON TABLERO CERÁMICO Y VIGAS DE MADERA / HORMIGÓN



FORJADO CON REVOLTÓN CERÁMICO Y VIGUETAS DE MADERA



NOU BAU





GRACIAS POR VUESTRA ATENCIÓN