



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Rutina para el cálculo y dimensionado de secciones de
madera y sus uniones.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

AUTOR/A: García Carda, Héctor

Tutor/a: Perelló Roso, Ricardo

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR DE
ARQUITECTURA

ESTRUCTURAS DE MADERA

RUTINA PARA EL CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE SECCIONES Y SUS UNIONES

Héctor García Carda

Tutor: Ricardo Perelló Rosso

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Curso 2021-2022

Trabajo de Fin de Grado



Palabras clave

Estructura; madera; uniones en madera.

Resumen

La implementación de las limitaciones de consumo energético está provocando un interés cada vez mayor en la utilización de materiales que contribuyan a limitar el impacto medioambiental en todos los ámbitos de la construcción. Entre los materiales estructurales que más puede contribuir a esta mejora se encuentra la madera. A pesar de que su uso es creciente, las herramientas para el análisis y el dimensionado de estructuras de este material no están tan extendidas como las de otros materiales. Las peculiaridades de su comportamiento (comportamiento diferenciado frente a diferentes estados de carga y orientación de la fibra, vinculación del valor de la resistencia con los ambientes en los que se ubica y la duración de la carga, etc.) hacen que el dimensionado, si no más complejo, sí que sea más costoso que con otros materiales.

En el siguiente trabajo se propone la generación de una rutina Excel de dimensionado y comprobación de secciones a partir de los valores a los que va a estar sometida la pieza, extendida tanto al cálculo estricto de la sección como a los medios de unión más habituales.

Paraules clau

Estructura, fusta, unions en fusta.

Resum

La implementació de les limitacions de consum energètic està provocant un interès cada vegada major en la utilització de materials que contribuïsqen a limitar l'impacte mediambiental en tots els àmbits de la construcció. Entre els materials estructurals que més pot contribuir a esta millora es troba la fusta. A pesar que el seu ús és creixent, les ferramentes per a l'anàlisi i el dimensionat d'estructures d'este material no estan tan esteses com les d'altres materials. Les peculiaritats del seu comportament (comportament diferenciat enfront de diferents estats de càrrega i orientació de la fibra, vinculació del valor de la resistència amb els ambients en què s'ubica i la duració de la càrrega, etc.) fan que el dimensionat, si no més complex, sí que siga més costós que amb altres materials.

En el següent treball es proposa la generació d'una rutina Excel de dimensionat i comprovació de seccions a partir dels valors a què estarà sotmesa la peça, estesa tant al càlcul estricte de la secció com als mitjans d'unió més habituals.

Key words

Structures, wood, wood joints

Summary

The introduction of energy consumption limitations is leading to an increasing interest in the use of materials that contribute to limiting the environmental impact in all areas of construction. Among the structural materials that can contribute most to this improvement is wood. Although its use is growing, the tools for the analysis and design of structures made of this material are not as widespread as those for other materials. The peculiarities of its behavior (differentiated behavior in different load states and fiber orientation, linking the resistance value with the environments in which it is located and the duration of the load, etc.) make sizing, if not more complex, more costly than with other materials.

In the following assignment we propose the generation of an Excel routine for designing and checking cross-sections based on the values to which the part will be subjected, extended to both the strict calculation of the cross-section and the most common joints.

Índice

Introducción	1
Madera aserrada y madera laminada encolada de uso estructural.....	2
Generalidades y clasificación de las uniones en estructuras de madera	5
Objetivos y Metodología	8
Objetivos	8
Metodología	8
Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	9
Comprobación de secciones.....	10
Valores de cálculo	10
Tracción paralela a la fibra	11
Compresión paralela a la fibra.....	11
Flexión simple y flexión esviada	11
Cortante	12
Flexotracción.....	13
Flexocompresión.....	14
Tracción perpendicular a la fibra	14
Compresión perpendicular a la fibra.....	15
Combinación de tracción perpendicular y cortante	15
Comprobación de uniones	17
Capacidad de carga lateral.....	17
Cortadura simple y cortadura doble.....	17
Variables de la capacidad de carga por plano de cortante	21
Capacidad de carga axial.....	22
Variables de la capacidad de carga axial	23
Capacidad de cortadura en la clavija.....	23
Capacidad de aplastamiento de la chapa	24
Número eficaz de elementos de fijación	25
Generación de la rutina del Excel	26
Introducción. Guía Básica	26
Info. Técnica Uniones.....	28
Valores de cálculo	32
Comprobación secciones	34
Comprobación uniones.....	36
Compendio de ejemplos de uniones	39

Estudio de casos: Comprobación de sección	40
Estudio de casos: Comprobación de unión.....	42
Conclusiones	47
Bibliografía.....	48
Índice de figuras	50

Introducción

Desde las cabañas más rudimentarias a los edificios contemporáneos complejos, el ser humano ha encontrado la madera como un material de confianza para ejecutar las estructuras de sus obras por sus características polivalentes y su sostenibilidad ambiental.

La madera, como material estructural, presenta ciertas particularidades intrínsecas que la diferencian claramente de otros más comunes, como el hormigón y el acero. Está formada por tejidos leñosos que conforman, a nivel macroscópico, los anillos de crecimiento, los radios leñosos, el duramen y la albura. La madera, al ser un material heterogéneo, presenta un comportamiento desigual en sus capacidades físicas y mecánicas dependiendo de la dirección que se considere. Por ello se debe diferenciar claramente la anisotropía de este material, es decir, el estudio de éste dependiendo de la dirección de la fibra. El análisis de la madera se realiza mediante dos direcciones principales:

- Paralela a la fibra (axial).
- Perpendicular a la fibra (radial o tangencial).

Para representar claramente las diferencias de la madera con el hormigón y el acero, esta tabla compara los valores de resistencia, los módulos de elasticidad y la densidad de los tres materiales.

	Flexión (N/mm ²)	Tracción (N/mm ²)		Compresión (N/mm ²)		Cortante (N/mm ²)	M. Elast. (N/mm ²)	Densidad (kg/m ³)
		0°	90°	0°	90°			
Madera (C 24)	24	14	0,4	21	2,5	4	11.000	350
	<i>14,7</i>	<i>8,6</i>	<i>0,25</i>	<i>12,9</i>	<i>1,54</i>	<i>2,46</i>		
Hormigón (HA-25)	-	1,79		25		1,79	32.000	2.400
		1,19		16,7		1,19		
Acero (S275)	275	275		275		158	210.000	7.850
	<i>262</i>	<i>262</i>		<i>262</i>		<i>150</i>		
- Valores característicos: sin cursiva Valores de cálculo: <i>en cursiva</i> - 0°: dirección paralela a la fibra 90°: dirección perpendicular a la fibra - Módulo de elasticidad: tomados los valores medios.								

Tabla 1. Comparación de resistencias de los materiales

[2]

A partir de la tabla se pueden sacar diferentes conclusiones acerca del comportamiento de la madera y sus resistencias:

- El comportamiento general de la madera posee mejores resistencias y prestaciones en la dirección paralela a la fibra que en la dirección perpendicular.
- En dirección paralela a la fibra, el comportamiento de tracción y compresión es excelente, mientras que en dirección perpendicular disminuye de manera rotunda, especialmente en tracción. Esto tendrá una gran repercusión en el cálculo y diseño de las uniones, especialmente al fallo por hienda.

- Su resistencia a flexión es alta si se asocia a su peso. Se podrá comprobar en la designación de las clases resistentes de las maderas estructurales.
- Posee una resistencia a cortante muy escasa, independientemente de su dirección.
- Encontramos un módulo de elasticidad exageradamente bajo en comparación a los otros materiales, lo cual repercute sobre el pandeo de los elementos, la deformación y la resistencia a compresión en dirección paralela a la fibra.

Por otra parte, si nos centramos en sus características como material de construcción, la madera ofrece diversas ventajas frente a otros materiales en este sector. Destacamos por ejemplo su facilidad de montaje en obra y su limpieza constructiva, permitiendo una reducción de tiempos de montaje destacable y realizando un ensamble en seco. Por otra parte, al ser un material higroscópico, puede ceder o absorber humedad ambiental hasta llegar a un equilibrio con su entorno cercano interior. El confort interior también se incrementa por su adecuada absorción de ondas acústicas en el interior, además de un buen aislamiento térmico, reduciendo el consumo de energía de los edificios.

[3]

Habiendo realizado un estudio generalizado de la anisotropía de la madera, sus resistencias y ventajas como material dentro del sector de la construcción, nos disponemos a redactar las particularidades de las capacidades resistentes y su influencia en el diseño estructural.

Madera aserrada y madera laminada encolada de uso estructural

Las dos variantes de madera estructural que se analizarán más en profundidad en este trabajo serán la madera aserrada y la madera laminada encolada, ya que su uso habitual en el sector de la construcción es de los más comunes. A la hora de determinar sus características principales, se deben tener en cuenta diferentes factores como sus aplicaciones, dimensiones más comunes, especies y propiedades, entre otros.

En primer lugar, la madera aserrada estructural consiste en piezas de madera de sección rectangular proveniente de un único tronco, mediante aserrado longitudinal y cepillado. Esta sección ha sido transformada por procesos mínimos que no incluye ni encolados ni ensambles de unión dentada. Su uso se suele restringir a luces cortas y medias, pudiendo usarse en sistemas estructurales mixtos también. También puede encontrarse en los pies derechos de los sistemas de entramado ligero y las viguetas de los forjados. Dentro de las especies españolas más utilizadas podemos destacar:

- Pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.)
- Pino laricio (*Pinus nigra* Arnold ssp. o *Pinus laricio* Loud)
- Pino pinaster (*Pinus pinaster* Ait.)
- Pino radiata (*Pinus radiata* D. Don)
- Castaño (*Castanea sativa* Mill.)
- Roble (*Quercus robur* L. o *Quercus petraea* Liebl.)
- Chopo (*Populus* sp.)
- Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.)

También podemos encontrar especies del norte de Europa muy frecuentes, siendo las más comunes:

- Falso abeto (también llamado abeto o pino-abeto): *Picea abies* Karst.
- Pino silvestre: *Pinus sylvestris* L.
- Abeto: *Abies alba* Mill.

A la hora de definir sus dimensiones más frecuentes, suelen estar restringidas por su uso y origen, aunque conociendo su aplicación principal es frecuente encontrar piezas de en general poco espesor. A continuación, se expone una tabla de las dimensiones más frecuentes:

Uso	Dimensiones comunes
Montantes de muros entramados	38x64, 38x89, 47x75 y 40x100 mm
Cerchas de cubierta	
Viguetas de forjados	38x(140-286) mm y 44x(150-300) mm
Cerchas de cubierta (gran escuadría)	
Largos comunes	2,45 - 3,05 - 3,70 - 4,30 - 4,90 - 5,50 - 6,10 - 6,80 - 7,55 - 7,95 - 8,55 m

Tabla 2. Secciones comunes de piezas de madera aserrada

Si analizamos las clases resistentes que conforman este grupo de maderas de uso estructural, Europa define en la norma UNE-EN 338 dos clases principales:

- Coníferas y chopo: se diferencian doce clases resistentes denominadas C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C 40, C45 y C50.
- Frondosas: se diferencian ocho clases resistentes denominadas D18, D24, D30, D35, D40, D50, D60 y D70.

La letra C o D hace referencia a la inicial del término en inglés para denominar la familia de especies (C: "coniferous" y D: "deciduous"). El número que acompaña a la letra C o D es la resistencia característica a flexión expresada en N/mm².

Todos los valores característicos de estas clases resistentes se recogen en los anexos de este trabajo.

[3]



Fig. 1 Piezas de madera aserrada

[13]

Por otra parte, la madera laminada encolada de uso estructural se forma a partir del encolado de láminas de madera en dirección paralela al eje de las láminas. En concreto, las láminas tendrán un espesor comprendido entre 6 y 45 mm, y podrán utilizarse maderas de especies coníferas o chopo tratadas o no frente a agentes biológicos. Su aplicación en las estructuras es bastante variada, pudiéndose encontrar en edificios con grandes luces, de luces moderadas (siendo el elemento principal resistente en estructuras mixtas), en las cubiertas de peso propio reducido y en entornos de ataques químicos agresivos. De manera similar a la madera aserrada, las especies más frecuentes usadas para la fabricación de este tipo de maderas son:

- Falso Abeto (*Picea abies*)
- Pino silvestre (*Pinus sylvestris*)
- Eucalipto (*Eucalytus globulus*)
- Roble (*Quercus robur* y *Quercus petraea*)
- Castaño (*Castanea sativa*)
- Fresno (*Fraxinus excelsior*)
- Chopo (*Populus robusta*, *Populus alba*)
- Pino radiata (*Pinus radiata*)

Sus dimensiones más frecuentes están predefinidas por las fábricas y empresas que gestionan su elaboración, aunque suelen moverse alrededor de esta gama de dimensiones:

Anchura	Altura	Longitud
80, 100, 110, 130, 140, 160, 180, 200 y 220 mm Si se precisa más anchura, la solución más habitual es disponer dos piezas juntas.	Definido por el número de láminas acopladas	Influye mucho el fabricante Limitado por transporte

Tabla 3. Dimensiones comunes de piezas de madera laminada encolada

Por otra parte, las clases resistentes que conforman la madera laminada encolada son dos:

- Madera laminada encolada homogénea: se diferencian 4 clases resistentes denominadas GL24h, GL28h, GL32h y GL36h.

- Madera laminada encolada heterogénea: se diferencian 4 clases resistentes denominadas GL24c, GL28c, GL32c y GL36c.

Las letras GL son la abreviatura del término inglés “Glued Laminated”. En otros textos en inglés también se utiliza el término glulam para referirse a la madera laminada encolada. Por otra parte, la letra h y c hace referencia a la inicial del término para denominar las palabras que especifican en tipo de madera laminada encolada (“homogénea” y “combinada”). De manera igual que la madera aserrada, el número que acompaña a la letra C o D es la resistencia característica a flexión expresada en N/mm².

Todos los valores característicos de estas clases resistentes se recogen en los anexos de este trabajo.

[3]



Fig. 2 Elaboración y secciones de madera laminada encolada

[17]

Generalidades y clasificación de las uniones en estructuras de madera

Las uniones en las estructuras de madera deben ser analizadas detalladamente por su complejidad y optimización. Es posible que el fallo de cualquiera de éstas promueva un agotamiento general de la estructura y desencadene un efecto mariposa en la obra. Las uniones pueden clasificarse de una gran variedad de formas, aunque generalmente se diferencian tres grandes grupos: las uniones carpinteras, las uniones mecánicas y las uniones encoladas.

Las uniones carpinteras, también llamadas tradicionales, son aquellas en que el ensamblaje de las piezas se produce por un trabajo de carpintería. Hoy en día se promueve su uso en estructuras de luces comprendidas entre 10 y 12 metros, además de obras de rehabilitación, por su versatilidad. Suelen tener un componente estético importante, además de un comportamiento contra el fuego excelente. Si se usan en estructuras de luces menores, suelen ser uniones económicas. Podemos destacar las uniones de caja y espiga, los embarbillados, los empalmes y los ensambles en cola de milano.

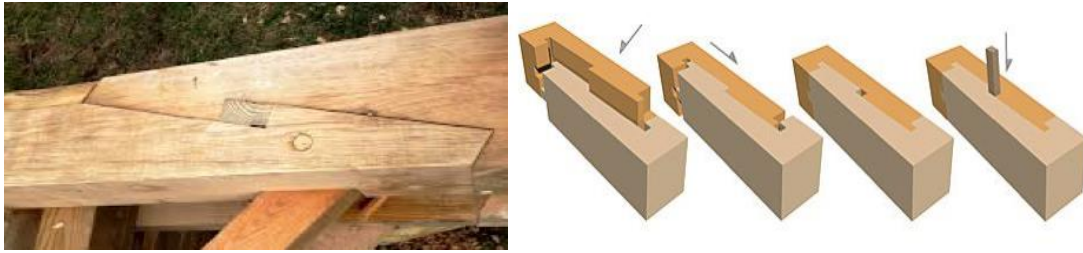


Fig. 3 Uniones carpinteras (rayo de Zeus)

[18]

Por otra parte, las uniones mecánicas son aquellas que usan herrajes para transmitir los esfuerzos. Se encuentran dos grandes grupos en este tipo de uniones dependiendo del modo de transmisión de esfuerzos: las clavijas y los conectores. Por una parte, las clavijas transmiten los esfuerzos entre piezas mediante corte y flexión provocando tensiones de aplastamiento en la madera a través del área proyectada de la clavija. Destacamos las grapas, los clavos, los tirafondos, los pernos y los pasadores. Por otra parte, los conectores transmiten los esfuerzos mediante una mayor superficie y permiten una mayor capacidad de transmisión de carga que los pasadores y los pernos, pero requieren separaciones mayores. Podemos destacar los de tipo anillo, tipo placa, dentados y placas clavo.

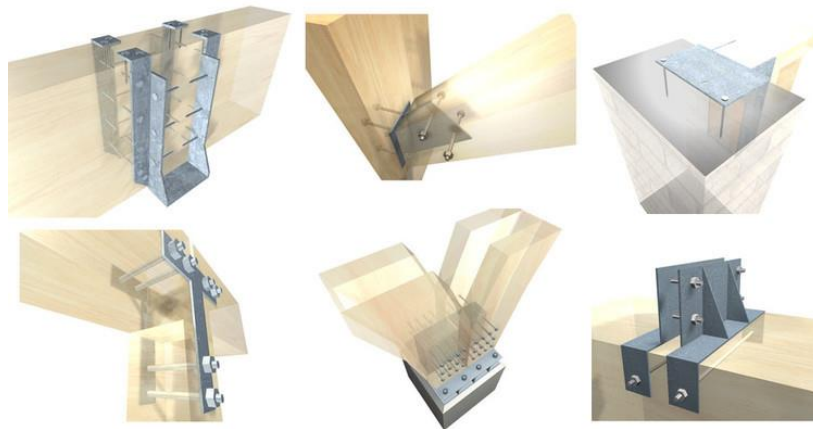


Fig. 4 Variantes de uniones metálicas

[10]

Finalmente, las uniones encoladas son aquellas en las que se usan adhesivos estructurales para la transmisión de esfuerzos. Se debe de tener en cuenta varios factores que puedan modificar el comportamiento de estas uniones como la durabilidad, el sismo y el precio. No es un sistema habitual o extendido entre las empresas.



Fig. 5 Variantes de uniones encoladas

[19]

A continuación, se expone una tabla resumen exponiendo las características más frecuentes de las diferentes uniones de tipo clavija que se ejecutan.

Nombre	Dimensiones		Calidades	Designación
	Diámetros (mm)	Longitudes (mm)		
Clavos	2, 4, 5, 6, 8	Entre maderas 35 – 260 Chapa-madera 35 – 125	$f_u \geq 600 \text{ N/mm}^2$	Tipo de clavo, Norma, Diámetro (mm/10) x longitud (mm), Material y Superficie
Grapas	1,2 – 2	30 – 90	$f_u \geq 800 \text{ N/mm}^2$	Diámetro del alambre (mm) x longitud del vástago (mm)
Pernos	6, 10, 12, 16, 20, 24, 30	100 – 600	$f_u \geq 600 \text{ N/mm}^2$ <small>Las calidades habituales son acero 6.8, 8.8 y 10.8</small>	Perno de acero de calidad según UNE-EN-ISO 898-1, diámetro y protección
Tirafondos	6, 10, 12, 16, 20, 24	25 – 300	$f_u \geq 400 \text{ N/mm}^2$	Diámetro nominal x longitud (mm), norma, superficie.
Pasadores	6, 8, 10, 12, 16, 20, 24, 30	50 – 500	$f_u \geq 360 \text{ N/mm}^2$ <small>Acero S235 (min)</small>	Pasador, diámetro x longitud (mm), calidad del acero y Protección

Tabla 4. Tabla resumen sobre las características básicas de los elementos clavija

[1]

[4]

[9]

Objetivos y Metodología

Objetivos

En la actualidad, el uso de este material como elemento estructural está más presente por sus ventajas productivas y sostenibles. No obstante, las herramientas relacionadas con su cálculo y comprobación no están al día completamente, además de estar delegadas a empresas especializadas y no estar tan extendidas como otras herramientas de análisis. Como se ha explicado anteriormente, el comportamiento mismo de la madera está condicionado mayoritariamente por factores que en otros materiales no tienen tanta influencia (comportamiento diferenciado frente a diferentes estados de carga y orientación de la fibra, vinculación del valor de la resistencia con los ambientes en los que se ubica o la duración de la carga), lo cual puede crear reticencia a la comprobación de estas secciones.

El propósito inicial de este trabajo es acercar de una manera sencilla y eficiente el cálculo de estructuras de madera y sus uniones más habituales y extendidas, en concreto las uniones del tipo clavija. Por ello, se trasladarán a un archivo Excel toda la formulación y comprobaciones expuestas en el Documento Básico de Seguridad Estructural referenciando al cálculo de la Madera (DB-SE M), además de otros artículos y libros especializados que ayuden a la comprensión de esta materia.

El propósito final de esta herramienta es poder ser empleada tanto a nivel docente como profesional, ya que se considera importante que el cálculo de las estructuras de madera pueda extenderse en todos los ámbitos.

Este trabajo tiene una carga de planificación y gestión elevada, además de ser intrínsecamente un proyecto de aplicación práctica. Por ello, en el apartado de metodología, se expondrán las diferentes etapas de planificación que han permitido la creación de esta herramienta.

Metodología

Para poder desarrollar de manera coherente en proyecto del Excel, se han seguido tres fases principales, las cuales comprendían distintos ámbitos académicos y profesionales.

Primera parte: esta fase del proyecto se centró especialmente en la planificación y recolección de información tanto del proyecto como de las mismas herramientas de ayuda. Se propusieron los objetivos fundamentales y se planificaron los plazos aproximados del trabajo.

Segunda parte: tras recolectar e investigar las herramientas propuestas en la fase primera, se amplió la búsqueda a ámbitos profesionales y prácticos de la aplicación. Por ello, se atendió a las exposiciones de Maderalia y FIMMA en la Feria de Valencia, además de los cursos introductorios de la Cátedra MADERAMEN realizada por el profesor Manuel Guaita, catedrático de Universidad de la Universidad de Santiago de Compostela, que trataba sobre estructuras de madera durante el verano de 2022.

Tercera parte: habiendo realizado todo el análisis académico y profesional de las anteriores fases, se propone concentrar todo lo aprendido en un Excel conciso y fácil de

usar. Se explicarán las partes fundamentales del Excel realizado más adelante con detenimiento.

Objetivos de Desarrollo Sostenible

A la hora de desarrollar el Trabajo de Fin de Grado asociado al cálculo y dimensionado de las secciones de madera y sus uniones, se han planteado como base los ODS siguientes:

Objetivo 8. Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos.

Es esencial, especialmente en el contexto de estructuras de madera, encontrar maneras de apoyar a las empresas productivas de este material y fomentar el crecimiento de las mismas. Adicionalmente, se debe tomar conciencia de la producción local sostenible frente a la sobreproducción y el monopolio, ofreciendo diversidad y calidad en todas las regiones.

Objetivo 9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.

Realizando un estudio exhaustivo sobre este material, se promueve la divulgación universal sobre la madera, exponiendo una alternativa sostenible y accesible para las necesidades actuales de la construcción. Por otra parte, se promueve la optimización del material y el fomento de la innovación de las estructuras de madera.

Objetivo 11. Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.

Mediante la promulgación y estudio de estas estructuras, se fomenta una construcción rápida, industrial, prefabricada y sostenible, promoviendo una urbanización del entorno y restauración del patrimonio enfocada al cuidado del medioambiente. Por otra parte, se incluyen anexos e información adicional que suman al carácter pedagógico del tema tratado y ofrecen soluciones y alternativas concretas a las soluciones constructivas sobre este material.

Comprobación de secciones

Valores de cálculo

El valor de cálculo de una propiedad de la madera (también denominada resistencia de cálculo) se define como:

$$X_d = k_{mod} \cdot k_h \cdot \frac{X_k}{\varphi_M}$$

X_d valor de cálculo de una propiedad

k_{mod} factor de modificación influenciado por la clase de duración de la carga y la clase de servicio

X_k valor característico de la propiedad

φ_M coeficiente parcial de seguridad para la propiedad del material

k_h factor de altura que influencia el cálculo de la capacidad a flexión y tracción paralela ($f_{m,k}$ | $f_{m,g,k}$ y $f_{t,0,k}$ | $f_{t,0,g,k}$)

De manera similar, una unión o sistema estructural posee un valor de capacidad de carga de cálculo:

$$R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_k}{\varphi_M}$$

X_d valor característico de la capacidad de carga

k_{mod} factor de modificación influenciado por la clase de duración de la carga y la clase de servicio

X_k valor característico de la propiedad

Coeficientes parciales de seguridad para el material, φ_M							
Situaciones persistentes y transitorias:							
Madera aserrada							1,30
Madera laminada encolada							1,25
Valores de factor, k_{mod}							
Material	Norma	Clase de servicio	Clase de duración de la carga				
			Permanente	Larga	Media	Corta	Instantánea
Madera maciza	UNE-EN 14081-1:2016	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 14080:2013	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
<i>Clase de uso 1: el elemento estructural está a cubierto, protegido de la intemperie y no expuesto a la humedad. En estas condiciones la madera maciza tiene un contenido de humedad menor que el 20%. Ejemplos: vigas o pilares en el interior de edificios</i>							
<i>Clase de uso 2: el elemento estructural está a cubierto y protegido de la intemperie, pero debido a las condiciones ambientales, se puede dar ocasionalmente un contenido de humedad de la madera mayor que el 20 % en parte o en la totalidad del elemento estructural. Ejemplos: estructuras de piscinas cubiertas o lugares de poca ventilación y humedad elevada.</i>							
<i>Clase de uso 3: el elemento estructural se encuentra al descubierto, no en contacto con el suelo.</i>							

Factor de altura k_h	
Madera aserrada (canto < 150 mm)	$k_h = \left(\frac{150}{h}\right)^{0,2} \leq 1,3$
Madera laminada encolada (canto < 600 mm)	$k_h = \left(\frac{600}{h}\right)^{0,1} \leq 1,1$

Tabla 5. Coeficientes expuestos en el Apartado 2 del DB-SE M

[6]

Tracción paralela a la fibra

Como se ha comprobado anteriormente, la madera posee una elevada resistencia de tracción paralela a la fibra. La relación tensión-deformación es lineal hasta el punto de rotura, considerando una pieza libre de defectos. A su vez, para comprobar el agotamiento de una sección sometida a tracción. debe de cumplir la condición:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$\sigma_{t,0,d}$ tensión de cálculo a tracción paralela a la fibra

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_n}$$

$f_{t,0,d}$ resistencia de cálculo a tracción paralela a la fibra

Compresión paralela a la fibra

De manera parecida a la tracción, la resistencia a compresión en esta dirección es elevada. No obstante, está íntimamente ligada al módulo de elasticidad bajo que posee la madera, afectando al pandeo de las piezas, especialmente las más esbeltas. La relación tensión-deformación presenta un comportamiento lineal en la primera fase, pero la segunda no muestra el mismo comportamiento. Por otra parte, para comprobar el agotamiento de una sección sometida a compresión. debe de cumplir la condición:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

$\sigma_{c,0,d}$ tensión de cálculo a compresión paralela a la fibra

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_n}$$

$f_{c,0,d}$ resistencia de cálculo a compresión paralela a la fibra

Flexión simple y flexión esviada

Los valores de resistencia a flexión de la madera son notables. Como se estudia en análisis de estructuras, el momento flector origina tensiones de compresión y de tracción en las fibras del material. Es por ello que debemos de hablar de flexión, ya que su comportamiento cambia dependiendo de la propiedad como hemos visto anteriormente.

En primer lugar, a la hora de analizar la flexión simple, debemos comprobar la condición.

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$$

$\sigma_{m,d}$ tensión de cálculo a flexión

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W}$$

$f_{m,d}$ resistencia de cálculo a flexión

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

Por otra parte, la flexión esviada se origina cuando se producen momentos flectores en los dos ejes principales de la sección. Por ello, las condiciones que se deben comprobar son:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$\sigma_{m,y,d}$ tensión de cálculo a flexión respecto al eje principal y $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y}$

$f_{m,y,d}$ resistencia de cálculo a flexión respecto al eje principal y

$\sigma_{m,z,d}$ tensión de cálculo a flexión respecto al eje principal z $\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$

$f_{m,z,d}$ resistencia de cálculo a flexión respecto al eje principal z

k_m factor que tiene en cuenta el efecto de redistribución de tensiones y la falta de homogeneidad del material en la sección transversal

$k_m = 0,7$ para secciones rectangulares de madera maciza, madera laminada encolada y madera microlaminada

$k_m = 1$ para otras secciones y otros productos derivados de la madera

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$W_z = \frac{h \cdot b^2}{6}$$

Cortante

Como hemos mostrado, la resistencia de la madera a cortante es muy reducida, produciendo tensiones tangenciales que afectan a las fibras de distintos modos (cortadura, deslizamiento y rodadura). Por ello, debemos analizar los casos considerando sus particularidades.

En general, las secciones con solicitaciones de cortante en dirección paralela o ambas componentes perpendiculares a la fibra, produciendo cortadura o rodadura, deben cumplir con la condición:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad \tau_d = \tau_{max} \leq 1,5 \frac{V_d}{b \cdot h}$$

τ_d tensión de cálculo a cortante (tensión máxima en secciones rectangulares)

$f_{v,d}$ resistencia de cálculo a cortante (corte paralelo o rodadura). La resistencia a cortante por rodadura podrá considerarse igual al doble de la resistencia a tracción perpendicular a la fibra.

En concreto, las piezas en flexión son influenciadas por las fendas. Por ello se debe corregir su ancho con la siguiente ecuación:

$$b_{ef} = k_{cr} b$$

b_{ef} ancho influenciado por las fendas

b ancho real de la pieza

k_{cr} coeficiente de minoración

$k_{cr} = 0,67$ para la madera maciza y la madera laminada encolada

$k_{cr} = 1$ para otros productos derivados de la madera de acuerdo con las normas UNE-EN 13986:2006+A1:2015 y UNE-EN 14374:2005.

Flexotracción

La ley de tensiones normales de una figura plana se expresa mediante la ecuación:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{I_y} z + \frac{M_z}{I_z} y$$

Si combinamos esta ecuación con las expresadas de tracción y flexión, podemos determinar que se deben cumplir dos condiciones:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$\sigma_{t,0,d}$ tensión de cálculo a tracción paralela

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_n}$$

$f_{t,0,d}$ resistencia de cálculo a tracción paralela

$\sigma_{m,y,d}$ tensión de cálculo a flexión respecto al eje principal y

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y}$$

$f_{m,y,d}$ resistencia de cálculo a flexión respecto al eje principal y

$\sigma_{m,z,d}$ tensión de cálculo a flexión respecto al eje principal z

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

$f_{m,z,d}$ resistencia de cálculo a flexión respecto al eje principal z

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$W_z = \frac{h \cdot b^2}{6}$$

k_m factor que tiene en cuenta el efecto de redistribución de tensiones y la falta de homogeneidad del material en la sección transversal

$k_m = 0,7$ para secciones rectangulares de madera maciza, madera laminada encolada y madera microlaminada

$k_m = 1$ para otras secciones y otros productos derivados de la madera

Flexocompresión

De manera similar a la Flexotracción, la ley de tensiones es plana, aunque se deben de modificar ligeramente por el índice de compresión. Esto ocurre por el posible fallo en compresión paralela en piezas poco esbeltas tras la posible plastificación de las fibras:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$\sigma_{c,0,d}$ tensión de cálculo a compresión paralela

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_n}$$

$f_{c,0,d}$ resistencia de cálculo a compresión paralela

$\sigma_{m,y,d}$ tensión de cálculo a flexión respecto al eje principal y

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y}$$

$f_{m,y,d}$ resistencia de cálculo a flexión respecto al eje principal y

$\sigma_{m,z,d}$ tensión de cálculo a flexión respecto al eje principal z

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

$f_{m,z,d}$ resistencia de cálculo a flexión respecto al eje principal z

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$W_z = \frac{h \cdot b^2}{6}$$

k_m factor que tiene en cuenta el efecto de redistribución de tensiones y la falta de homogeneidad del material en la sección transversal

$k_m = 0,7$ para secciones rectangulares de madera maciza, madera laminada encolada y madera microlaminada

$k_m = 1$ para otras secciones y otros productos derivados de la madera

Tracción perpendicular a la fibra

Esta sollicitación es muy poco frecuente en las estructuras de madera ya que, como se ha explicado anteriormente, este material funciona de manera pésima frente a este tipo de esfuerzos. Suele presentarse en zonas específicas debido a encuentros no resueltos adecuadamente. Esta resistencia está muy ligada al efecto del tamaño de la pieza, por ello aparecen término estrechamente vinculados a esta relación.

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{1,4 \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} \leq 1$$

(2., *Estructuras de madera. Bases de cálculo*, 2018)

$\sigma_{t,90,d}$ tensión de cálculo a tracción perpendicular

$$\sigma_{t,90,max} = 1,5 \frac{M}{bhr}$$

$f_{t,90,d}$ resistencia de cálculo a tracción perpendicular

k_{vol} factor influenciado por el volumen V sometido a tracción de la pieza

$k_{vol}=1$ en madera maciza

$k_{vol} = \left(\frac{0,01 m^3}{V}\right)^{0,2}$ en madera laminada

h canto de la pieza

b ancho de la pieza

r radio medio de la pieza

Compresión perpendicular a la fibra

De manera análoga a la tracción, la comprobación a compresión perpendicular de la fibra debe cumplir la siguiente condición:

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \leq 1$$

[2]

$\sigma_{c,90,d}$ tensión de cálculo a compresión perpendicular

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}}$$

$f_{c,90,d}$ resistencia de cálculo a compresión perpendicular

$k_{c,90}$ factor que tiene en cuenta la configuración de la carga, la posibilidad de fendado y aplastamiento de la pieza

$k_{c,90}=1$ excepto en las siguientes situaciones.

Apoyos continuos

$k_{c,90}=1,25$ madera maciza de conífera

$k_{c,90}=1,50$ madera laminada encolada de conífera

Apoyos puntuales

$k_{c,90}=1,50$ madera maciza de conífera

$k_{c,90}=1,75$ madera laminada encolada de conífera

$F_{c,90,d}$ valor de cálculo de la fuerza de compresión perpendicular

A_{ef} área efectiva de la pieza en contacto en compresión perpendicular

Combinación de tracción perpendicular y cortante

En secciones sometidas a estos esfuerzos, se debe comprobar la siguiente condición:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} \leq 1$$

- T_d tensión de cálculo a cortante
- $f_{v,d}$ resistencia de cálculo a cortante. La resistencia a cortante por rodadura podrá considerarse igual al doble de la resistencia a tracción perpendicular a la fibra.
- $\sigma_{t,90,d}$ tensión de cálculo a tracción perpendicular
- $f_{t,90,d}$ resistencia de cálculo a tracción perpendicular
- k_{vol} factor influenciado por el volumen V sometido a tracción de la pieza

$$k_{vol} = \left(\frac{0,01 m^3}{V}\right)^{0,2}; V \geq 0,01m^3$$

Comprobación de uniones

Capacidad de carga lateral

A la hora de analizar los dos tipos de cargas principales en una unión, la capacidad de carga lateral hace referencia a la comprobación de la carga última de la unión por fallo de tensión de aplastamiento en la madera o por formación de rotulas plásticas en la unión, debida a sollicitaciones de flexión en las clavijas.

Las fórmulas que se expondrán en los próximos apartados se desarrollaron por Johansen a mediados del siglo XX, las cuales se adaptaron en el Eurocódigo 5 para el cálculo de las uniones y están detalladas también en el DB-SE M para el cálculo de uniones de madera.

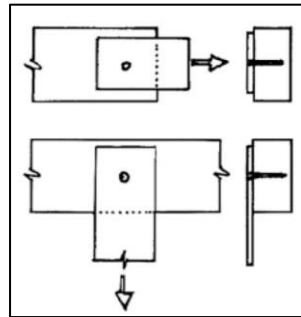


Fig. 6 Boceto aclaratorio sobre el esfuerzo lateral de una unión

[1]

Cortadura simple y cortadura doble

Es esencial a la hora de determinar $F_{v,Rk}$, la capacidad de carga por plano de cortante de un elemento de la unión, el modo de cortadura que se producirá en la unión. Existen dos posibilidades, el modelo de cortadura simple y el de cortadura doble.

El modelo de cortadura simple muestra la unión entre dos piezas, creándose un único plano de cortadura entre las piezas. Mientras tanto, en los modelos de cortadura doble, al establecer la unión de tres piezas, se producen dos encuentros distintos en las dos caras de la pieza central. Es importante determinar exactamente las distancias t_1 y t_2 en la unión, así que a continuación, se muestra unas ilustraciones para ejemplificar estos modelos.

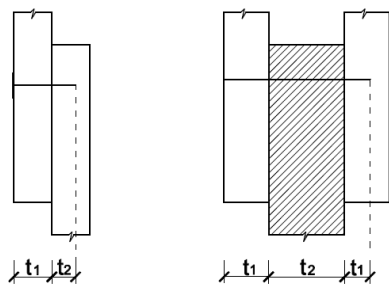


Fig. 7 Tipos de cortadura en clavos y tirafondos

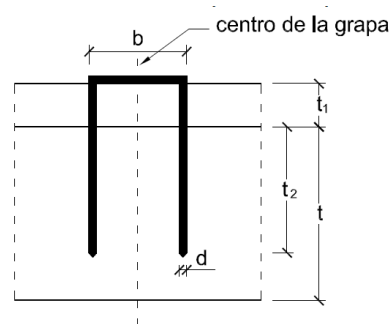


Fig. 8 Cortadura y dimensiones en grapas

SIMPLE CORTADURA

DOBLE CORTADURA

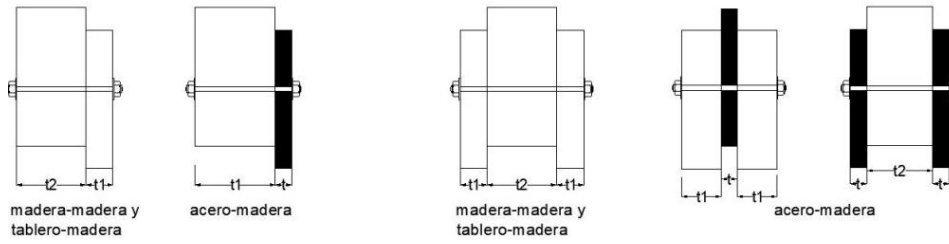


Fig. 9 Tipos de cortadura en pernos y pasadores

[6]

Como es comprensible, dependiendo si se produce cortadura simple o cortadura doble, la unión puede fallar por diferentes motivos (aplastamiento de la madera, creación de rótulas plásticas en los tornillos. Adicionalmente, dependiendo del tipo de unión que se produzca (madera-madera, tablero-madera, acero-madera), este tipo de fallos deben calcularse aplicando una formulación distinta.

Las fórmulas aplicadas para expresar el valor de $F_{v,Rk}$ en casos de unión madera-madera y tablero-madera son las siguientes:

Cortadura simple:

$$f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d \quad (8.6)$$

$$f_{h,2k} \cdot t_2 \cdot d \quad (8.7)$$

$$\frac{f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left[\sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right) + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] \quad (8.8)$$

$$F_{v,Rk} = \min \left[1,05 \cdot \frac{f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4,5 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] \right] \quad (8.9)$$

$$1,05 \cdot \frac{f_{h,1k} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2 \cdot \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4,5 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] \quad (8.10)$$

$$1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1k} \cdot d} \quad (8.11)$$

Cortadura doble:

$$f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d \quad (8.12)$$

$$0,5 \cdot f_{h,2k} \cdot t_2 \cdot d \quad (8.13)$$

$$F_{v,Rk} = \min \left[1,05 \cdot \frac{f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] \right] \quad (8.14)$$

$$1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1k} \cdot d} \quad (8.15)$$

Fig. 10 Cálculo de capacidad de carga en uniones madera-madera y tablero-madera

[6]

$F_{v,Rk}$ capacidad de carga por plano de cortante y por elemento de fijación

- t_i espesor del tablero o de la pieza o profundidad de penetración, referida a la pieza 1 o 2
- $f_{h,i,k}$ resistencia característica al aplastamiento en la pieza i
- $M_{y,Rk}$ momento plástico característico
- d diámetro del elemento de fijación
- $\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$

Por otra parte, las uniones acero-madera se comprueban aplicando un criterio adicional. Se debe concretar el espesor de la placa de acero de la unión, clasificándose como placa delgada o placa gruesa. La placa está considerada como placa delgada si $t \leq 0,5d$, mientras que se considera placa gruesa si $t \geq d$. Las fórmulas aplicadas para expresar el valor de $F_{v,Rk}$ en estos casos son:

Cortadura simple:

- a) placa delgada ($t \leq 0,5 \cdot d$);

$$F_{v,Rk} = \min \left[\begin{array}{l} 0,4 \cdot f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{array} \right] \quad (8.17)$$

- b) placa gruesa ($t \geq d$).

$$F_{v,Rk} = \min \left[\begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{array} \right] \quad (8.19)$$

$$F_{v,Rk} = \min \left[\begin{array}{l} 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \end{array} \right] \quad (8.20)$$

$$F_{v,Rk} = \min \left[\begin{array}{l} 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \end{array} \right] \quad (8.21)$$

Cortadura doble:

- a) pieza central de acero de cualquier espesor;

$$F_{v,Rk} = \min \left[\begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \end{array} \right] \quad (8.22)$$

$$F_{v,Rk} = \min \left[\begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \end{array} \right] \quad (8.23)$$

$$F_{v,Rk} = \min \left[\begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \end{array} \right] \quad (8.24)$$

- b) pieza central de madera:

- i) placa delgada ($t \leq 0,5 \cdot d$);

$$F_{v,Rk} = \min \left[\begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} \end{array} \right] \quad (8.25)$$

$$F_{v,Rk} = \min \left[\begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} \end{array} \right] \quad (8.26)$$

- ii) placa gruesa ($t \geq d$).

$$F_{v,Rk} = \min \left[\begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} \end{array} \right] \quad (8.27)$$

$$F_{v,Rk} = \min \left[\begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} \end{array} \right] \quad (8.28)$$

Fig. 11 Cálculo de capacidad de carga en uniones acero-madera

[6]

- $F_{v,Rk}$ capacidad de carga por plano de cortante y por elemento de fijación
- t_i espesor del tablero o de la pieza o profundidad de penetración, referida a la pieza 1 o 2
- $f_{h,i,k}$ resistencia característica al aplastamiento en la pieza i
- $M_{y,Rk}$ momento plástico característico
- d diámetro del elemento de fijación
- β $\frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$

Como se ha explicado anteriormente, cada fórmula concreta representa un modelo de fallo distinto. A continuación, se muestran gráficamente todos los posibles modelos de agotamiento de la unión por su modelo de cortadura.

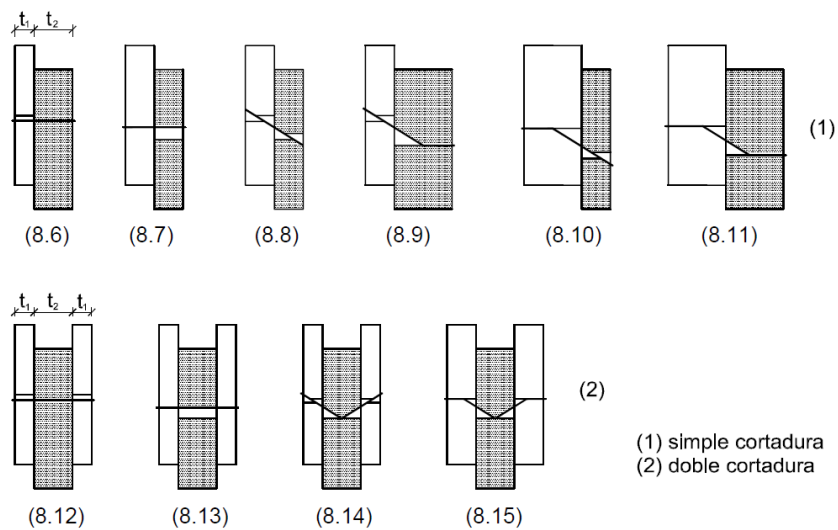


Fig. 12 Modos de fallo en uniones madera-madera y tablero-madera

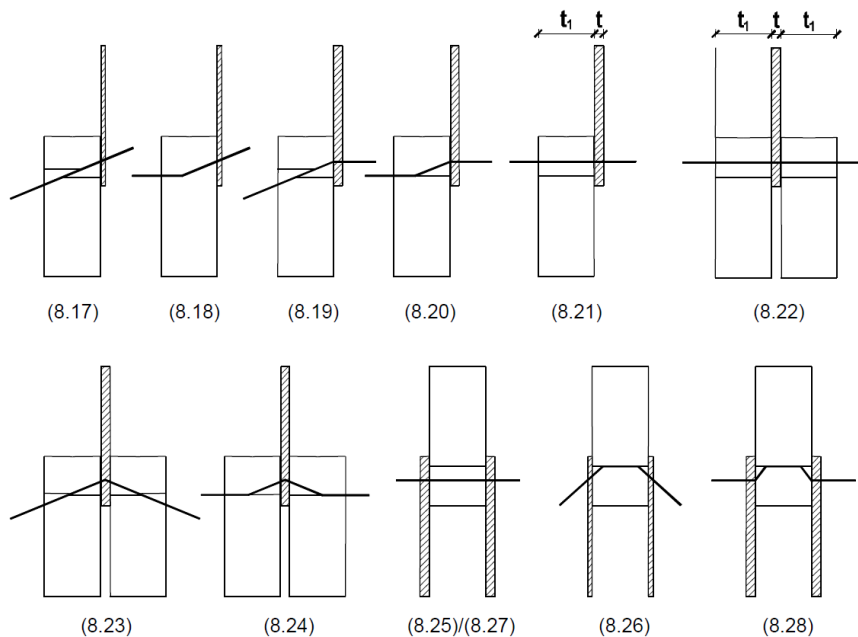


Fig. 13 Modos de fallo en uniones acero-madera

[6]

Variables de la capacidad de carga por plano de cortante

Las dos variables del cálculo de $F_{v,Rk}$ que más dependen de los elementos de la unión y los tipos de unión son $f_{h,i,k}$ y $M_{y,Rk}$. A continuación, se muestra una tabla resumen de estos valores dependiendo del elemento de la unión y de su tipo.

Elemento	$f_{h,i,k}$			$M_{y,Rk}$
	Madera-madera	Tablero-madera	Acero-madera	
Clavos	Sin taladro previo $f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}$	Contrachapado $f_{h,k} = 0,11 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}$	Sin taladro previo $f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}$	Clavos s. circular $M_{y,Rk} = \frac{f_u}{600} \cdot 180 \cdot d^{2,6}$ Clavos s. cuadrada $M_{y,Rk} = \frac{f_u}{600} \cdot 270 \cdot d^{2,6}$
	Con taladro previo $f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$	T. de fibras duro $f_{h,k} = 30 \cdot d^{-0,3} \cdot t^{-0,6}$ OSB $f_{h,k} = 65 \cdot d^{0,7} \cdot t^{0,1}$	Con taladro previo $f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$	
Grapas		Contrachapado $f_{h,k} = 0,11 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}$ T. de fibras duro $f_{h,k} = 30 \cdot d^{-0,3} \cdot t^{-0,6}$ OSB $f_{h,k} = 65 \cdot d^{0,7} \cdot t^{0,1}$		$M_{y,Rk} = 240 d^{2,6}$
Pernos	$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$	Contrachapado $f_{h,k} = 0,11 (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$ OSB $f_{h,k} = 50 \cdot d^{-0,6} \cdot t^{0,2}$	$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$	$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$
Tirafondos	$d < 6$ mm Sin taladro previo $f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}$ Con taladro previo $f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$	$d < 6$ mm Contrachapado $f_{h,k} = 0,11 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}$ T. de fibras duro $f_{h,k} = 30 \cdot d^{-0,3} \cdot t^{-0,6}$ OSB $f_{h,k} = 65 \cdot d^{0,7} \cdot t^{0,1}$	$d < 6$ mm Sin taladro previo $f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3}$ Con taladro previo $f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$	$d < 6$ mm $M_{y,Rk} = \frac{f_u}{600} \cdot 180 \cdot d^{2,6}$
	$d \geq 6$ mm $f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$	$d \geq 6$ mm Contrachapado $f_{h,k} = 0,11 (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$ OSB $f_{h,k} = 50 \cdot d^{-0,6} \cdot t^{0,2}$	$d \geq 6$ mm $f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$	$d \geq 6$ mm $M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$
Pasadores	$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$	Contrachapado $f_{h,k} = 0,11 (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$ OSB $f_{h,k} = 50 \cdot d^{-0,6} \cdot t^{0,2}$	$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$	$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$

Tabla 6. Cálculo de resistencia de aplastamiento y momento plástico de los elementos

[6]

- $f_{h,i,k}$ resistencia característica al aplastamiento en la pieza i
- $M_{y,Rk}$ momento plástico característico
- d diámetro del elemento de fijación
- ρ_k densidad característica de la madera o del tablero contrachapado (comprobación clavos en tablero contrachapado)
- t espesor de la pieza de unión
- f_u resistencia característica a tracción del alambre
- $f_{u,k}$ resistencia característica a tracción del elemento

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d \text{ para coníferas.}$$

$$k_{90} = 0,90 + 0,015d \text{ para frondosas.}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01d) \cdot \rho_k$$

Capacidad de carga axial

Este tipo de respuesta de la unión aparece cuando la misma debe soportar esfuerzos axiales, creando una conexión con la madera con las partes roscadas, las cabezas o las tuercas y arandelas de los elementos de fijación. Las uniones que presentan una capacidad de carga axial destacable son los clavos, los pernos y los tirafondos. Es de vital importancia a la hora de comprobar la capacidad de carga para estos esfuerzos tres variables diferentes: el tipo de unión y su disposición constructiva, la resistencia al arranque de los elementos y la incrustación de las cabezas.

Elemento	$F_{ax,Rk}$	
Clavos	$F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} \\ f_{ax,k} \cdot d \cdot t + f_{head,k} \cdot d_h^2 \end{cases}$	
Grapas	No aplicable	
Pernos	$F_{ax,Rk} = \min \begin{matrix} f_u \text{ perno} \\ \text{capacidad de carga de la arandela} \mid \text{capacidad de la placa de acero} \end{matrix}$	
Tirafondos	Arranque $F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} f_{ax,k} d l_{ef} k_d}{12 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}$	Punzonamiento $F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} f_{head,k} d_h^2 \left(\frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8}$
Pasadores	No aplicable	

Tabla 7. Capacidad axial de los elementos

[6]

$f_{ax,k}$ valor característico de la resistencia al arranque perpendicular a la fibra

$f_{head,k}$ valor característico de la resistencia a la incrustación de la cabeza

n_{ef} número eficaz de elementos de fijación ($n_{ef} = n^{0,9}$)

l_{ef} longitud de penetración de la parte roscada en la pieza de la punta

ρ_k densidad característica de la madera

$$k_d = \min \frac{d}{8} \\ 1$$

d diámetro del elemento de fijación

d_h diámetro de la cabeza del elemento de fijación

t_{pen} longitud de penetración en la pieza de punta

t espesor de la pieza de unión

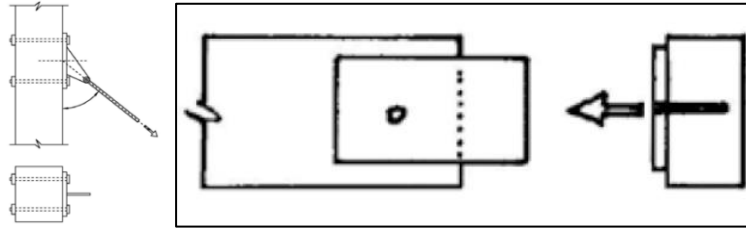


Fig. 14 Boceto aclaratorio sobre el esfuerzo axial de una unión

(1., Estructuras de madera. Uniones, 2015)

Variables de la capacidad de carga axial

En primer lugar, debemos establecer la definición de resistencia al arranque e incrustación de las uniones. Esta resistencia se debe por una parte al efecto de incrustación o punzonamiento de un elemento de fijación o, analizándolo desde otro punto de vista, al efecto del rozamiento y anclaje del fuste del elemento dentro de la pieza de madera. Como es comprensible, dependiendo del tipo de unión, los valores de estos parámetros variarán. En términos generales, los tirafondos y los pernos muestran una gran capacidad de carga dentro de estas categorías.

Elemento	$f_{ax,k}$	$f_{head,k}$
Clavos	$f_{ax,k} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$	$f_{head,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
Grapas	No aplicable	
Pernos	No aplicable	
Tirafondos	$f_{ax,k} = 0,52d^{-0,5}l_{ef}^{-0,1}\rho_k^{0,8}$	Simplificación $f_{head,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
Pasadores	No aplicable	

Tabla 8. Resistencia de arranque y resistencia de incrustación de los elementos

[6]

$f_{ax,k}$ valor característico de la resistencia al arranque perpendicular a la fibra

$f_{head,k}$ valor característico de la resistencia a la incrustación de la cabeza

l_{ef} longitud de penetración de la parte roscada en la pieza de la punta

ρ_k densidad característica de la madera

Capacidad de cortadura en la clavija

A parte de las comprobaciones de carga lateral y axial de la unión, es necesario asegurarse de la resistencia a cortadura de las clavijas metálicas. Suele ser una resistencia de poca importancia en general en uniones madera-madera y tablero-madera, pero tiene relevancia en uniones acero-madera. La capacidad a cortadura de cada clavija viene dada por la siguiente expresión:

$$F_{v,Rd} = \beta_{Lf} \cdot \alpha_v \cdot n \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_c}{\varphi_{M2}}$$

[1]

$F_{v,Rd}$	valor de cálculo de cortadura de un elemento
B_{Lf}	$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L-15d}{200d} \geq 0,75$
α_v	0,5 (DB-SE Acero)
φ_{M2}	1,25 (coef. parcial de seguridad)
$f_{u,b}$	tensión de rotura del acero de la clavija
A_c	área bruta o resistente del vástago del elemento
n	n=1 simple cortadura n=2 doble cortadura
L	longitud de la unión ($L > 15 \cdot d$)

Capacidad de aplastamiento de la chapa

De manera similar que la capacidad de cortadura en las clavijas, el aplastamiento de la chapa es una condición que debe cumplirse en las uniones acero-madera. Viene determinada especialmente por las características físicas y mecánicas de las clavijas, las disposiciones constructivas propuestas y el espesor mismo de la chapa. La capacidad de aplastamiento de la chapa viene dada por la siguiente expresión:

$$F_{b,Rd} = \frac{f_u \cdot \alpha \cdot \beta \cdot t \cdot d}{\varphi_{M2}}$$

[1]

$F_{b,Rd}$ valor de cálculo de aplastamiento de la chapa

α mínimo valor de los siguientes términos:

$$\frac{e_1}{3 \cdot d_a} ; \frac{p_1}{3 \cdot d_a} - 0,25 ; \frac{f_{u,b}}{f_u} ; 1$$

β mínimo valor de los siguientes términos:

$$\frac{2,8 \cdot e_2}{d_a} - 1,7 ; \frac{1,4 \cdot p_1}{d_a} - 1,7 ; 2,5$$

φ_{M2} 1,25 (coef. parcial de seguridad)

f_u tensión de rotura del acero de la chapa

t espesor de la chapa

d diámetro del elemento de fijación

p_1 distancia entre centros de agujeros contiguos (dirección paralela del esfuerzo)

p_2 distancia entre centros de agujeros contiguos (dirección perp. del esfuerzo)

e_1 distancia entre centro de un agujero hasta el borde contiguo (dirección paralela al esfuerzo)

- e2 distancia entre centro de un agujero hasta el borde contiguo (dirección perp. al esfuerzo)
- d_a diámetro del agujero
- f_{u,b} tensión de rotura de la clavija

Número eficaz de elementos de fijación

Si una unión está compuesta por varios elementos de fijación, es necesario plantearse la hipótesis de que el reparto de esfuerzos entre los elementos no será regular. Por ello, se realiza un ajuste del valor de la capacidad del conjunto, utilizando el concepto de n_{ef}, número eficaz de elementos de fijación alineados paralelamente a la fibra. Este valor será igual o menor al número real de elementos y varía dependiendo del tipo de elemento de la fijación.

$$F_{v,ef,Rk} \leq n_{ef} \cdot F_{v,Rk}$$

F_{v,ef,Rk} valor característico de la capacidad de carga de una fila de elementos de fijación paralelos a la fibra

n_{ef} número eficaz de elementos de fijación

F_{v,Rk} valor característico de la capacidad de carga de un elemento

Elemento	n _{ef}	
Clavos	$n_{ef} = n^{k_{ef}}$	
Grapas	$n_{ef} = n^{k_{ef}}$	
Pernos	Carga Lateral $n_{ef} = \min \left[n, n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \right]$	Carga Axial $n_{ef} = n$
	Tirafondos	Carga Axial $n_{ef} = n^{0,9}$
Pasadores	$n_{ef} = \min \left[n, n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \right]$	

Tabla 9. Número eficaz de elementos de fijación

[6]

Generación de la rutina del Excel

Desde el germen del proyecto, la simplicidad y la utilidad han sido palabras clave para definir los objetivos del mismo. Por ello, se ha desarrollado el archivo priorizando el correcto entendimiento de todos los términos, coeficientes y datos aportados para el cálculo de las secciones y las uniones, organizando el Excel en dos partes principales: las páginas explicativas y las páginas de cálculo. Se diferencian claramente los dos estilos, ya que unas tienen la pestaña anaranjada mientras que las otras no tienen un tinte característico.



Introducción. Guía Básica

Para introducir al usuario al archivo, se realiza un primer resumen acerca del correcto uso del mismo, además de mostrar ciertos términos básicos a los que se hará referencia más adelante como las clases de uso, las clases resistentes de la madera o la clase de duración de la carga. Por otra parte, se exponen la leyenda de colores que usa el mismo archivo, indicando las celdas a modificar por el usuario más adelante.

Es importante destacar que se exponen también en cada una de las explicaciones de las páginas posteriores los parámetros a modificar por el usuario, realizando una pequeña explicación de cada uno de los términos y su relevancia.

GUÍA BÁSICA Rutina para el cálculo y dimensionado de secciones de madera y sus uniones	Héctor García Carda E.T.S.A. - UPV Grado en Fundamentos de la Arquitectura 2021-2022 	<i>Este Excel ha sido revisado exhaustivamente para poder proporcionar todos los resultados correctamente. No obstante, es posible que se encuentre algún error en la formulación, por lo que se agradecería contactar con el siguiente correo e informar de los fallos encontrados: hegcars3@ara.upv.es. Es responsabilidad del usuario el uso que se pueda dar a esta herramienta.</i>
--	---	--

Esta guía resumen del siguiente Excel tiene como objetivo aclarar el uso del mismo en las tres páginas principales del archivo:

- Valores de cálculo
- Comprobación secciones
- Comprobación uniones

Las otras páginas del Excel están destinadas a la referencia y cálculo de las páginas principales, así que **se recomienda encarecidamente no modificarlas y solamente analizarlas con un objetivo de interés particular.** Para los usuarios del archivo, se ha realizado una leyenda de colores para facilitar el uso del mismo.

	Títulos		Sub títulos		Celdas a rellenar por el usuario
--	---------	--	-------------	--	----------------------------------

Valores de cálculo

El objetivo de esta página es establecer las bases con las que se va a realizar las siguientes comprobaciones. Por ello, se deberá definir los siguientes apartados:

- Identificación de la madera y clase de servicio
- Dimensiones de la pieza considerada (sección rectangular)
- Esfuerzos que afectan a la sección dependiendo de su peso propio, sobrecarga de uso, nieve y viento.

Comprobación secciones

Esta página realiza la comprobación de la sección definida en la página anterior frente a las tensiones normales a la fibra, las tensiones tangenciales y las tensiones perpendiculares a la fibra. Se puede observar las diferentes resistencias aportadas dependiendo de la clase de duración de la carga, la tensión de cálculo comparada y el índice de agotamiento de las comprobaciones. En esta página, los únicos valores que deben modificarse son:

- El momento flector considerado a la hora de comprobar la tracción perpendicular a la fibra.
- El radio medio de la pieza.
- El coeficiente k_c .
- La longitud eficaz considerada en la comprobación a compresión perpendicular.

Comprobación uniones

En este apartado, los usuarios podrán diseñar y comprobar las uniones de las secciones. La página está compartimentada en las siguientes uniones: clavos lisos, grapas, pernos, tirafondos y pasadores. Se puede comprobar que muchas casillas están comentadas para ofrecer información sobre las dimensiones, calidades y características más comunes de las uniones. Cada unión tiene unas celdas a modificar individualmente, pero es necesario tener en cuenta las celdas superiores para determinar ciertos parámetros:

- El esfuerzo de carga lateral (F_{ax}, E_d) de la unión.
- El esfuerzo de carga axial (F_{ax}, E_d) de la unión.
- La duración de la carga asociada a los esfuerzos anteriormente descritos.

Información Básica para el usuario:	
Tipos de madera aserrada: - Coníferas y chopo: C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C 40, C45 y C50. - Frondosas: D18, D24, D30, D35, D40, D50, D60 y D70.	Tipos de madera laminada encolada: - Madera laminada encolada homogénea: GL24h, GL28h, GL32h y GL36h. - Madera laminada encolada heterogénea: GL24c, GL28c, GL32c y GL36c.

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

Clase de uso 2: el elemento estructural está a cubierto y protegido de la intemperie, pero debido a las condiciones ambientales, se puede dar ocasionalmente un contenido de humedad de la madera mayor que el 20 % en parte o en la totalidad del elemento estructural. Ejemplos: estructuras de piscinas cubiertas o lugares de poca ventilación y humedad elevada.

Clase de uso 3: el elemento estructural se encuentra al descubierto, no en contacto con el suelo.

Clases de duración de la carga
Permanente: >10 años. Ejemplos: peso propio.
Larga: 6 meses - 10 años. Ejemplos: estructuras provisionales.
Media: 1 semana - 6 meses. Ejemplos: sobrecarga uso, nieve altitud > 1000 msnm.
Corta: <1 semana. Ejemplos: viento, nieve altitud < 1000 msnm.
Instantánea: Ejemplo: sismo.

Información Técnica de las uniones:

Consultar la página de Información Técnica para determinar todos los datos acerca de las distancias recomendadas, mínimas y máximas de las uniones.
 En la página de Comprobación uniones también hay esquemas aclaratorios de los conceptos tratados que el usuario puede consultar.

Info. Técnica Uniones

Para ofrecer información adicional sobre las distancias, separaciones y términos usados en el cálculo de uniones de estructuras de madera, esta página muestra varias figuras y bocetos expuestos en el DB-SE M para ayudar al usuario a diseñar su propia unión dentro de los parámetros especificados del Código Técnico.

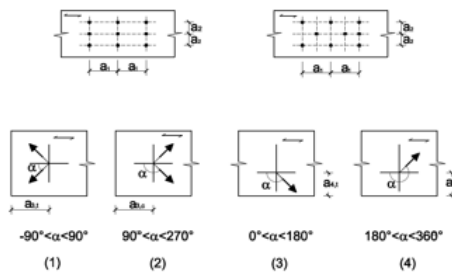
GUÍA TÉCNICA

Información varia sobre diseño de uniones y sus características

Clavos

Tabla 8.2 Uniones con clavos en madera con madera y bajo carga lateral. Separaciones y distancias mínimas.

Separaciones y distancias (véase figura 8.7)	Ángulo	Distancia mínima		
		Sin pretaladro		Con pretaladro
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
a_1 (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5\text{mm}; (5+5 \cos \alpha)d$ $d \geq 5\text{mm}; (5+7 \cos \alpha)d$	$(7+8 \cos \alpha)d$	$(4+ \cos \alpha)d$
a_2 (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	5d	7d	$(3+ \sin \alpha)d$
$a_{3,1}$ (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10+5 \cos \alpha)d$	$(15+5 \cos \alpha)d$	$(7+5 \cos \alpha)d$
$a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	10d	15d	7d
$a_{4,1}$ (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm}; (5+2 \sin \alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm}; (5+5 \sin \alpha)d$	$d < 5 \text{ mm}; (7+2 \sin \alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm}; (7+5 \sin \alpha)d$	$d < 5 \text{ mm}; (3+2 \sin \alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm}; (3+4 \sin \alpha)d$
$a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	5d	7d	3d



- (1) testa cargada
- (2) testa sin carga
- (3) borde cargado
- (4) borde no cargado

MADERA-MADERA

Debe realizarse pretaladrado cuando el espesor de las piezas de madera sea menor que,

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 7 \cdot d \\ (13 \cdot d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{400} \end{array} \right.$$

siendo:

- t espesor mínimo, [mm];
- ρ_k densidad característica de la madera, [kg/m³];
- d diámetro del clavo, [mm].

TABLERO-MADERA

- a) Las separaciones y distancias mínimas entre clavos serán en general las definidas en la tabla 8.2, multiplicadas por un factor igual a 0,85.
- b) Las distancias mínimas en tablero contrachapado serán igual a 3·d para bordes (o testas) no cargados y (3 + 4sen α) · d, para bordes (o testas) cargadas, tomando alfa según lo definido en la Figura 8.7.

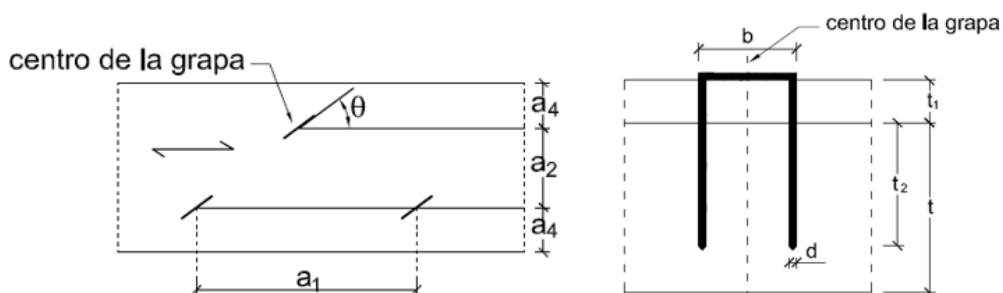
ACERO-MADERA

- 2 Las distancias mínimas serán las indicadas en la tabla 8.2. Las separaciones mínimas entre clavos serán las de la tabla 8.2 multiplicadas por un factor igual a 0,7.

Grapas

Tabla 8.3 Separaciones y distancias mínimas en grapas

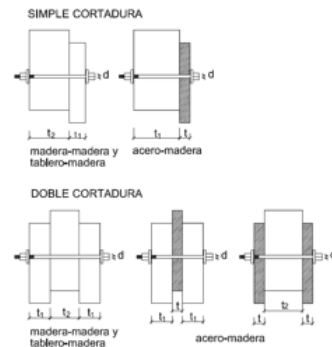
Separaciones y distancias (véase figura 8.10)	Ángulo	Separación o distancia mínima
a ₁ (paralela a la fibra) para θ ≥ 30° para θ < 30°	0° ≤ α ≤ 360°	(10 + 5 cos α) · d (15 + 5 cos α) · d
a ₂ (perpendicular a la fibra)	0° ≤ α ≤ 360°	15 · d
a _{3,t} (testa cargada)	-90° ≤ α ≤ 90°	(15 + 5 cos α) · d
a _{3,c} (testa no cargada)	90° ≤ α ≤ 270°	15 · d
a _{4,t} (borde cargado)	0° ≤ α ≤ 180°	(15 + 5 sen α) · d
a _{4,c} (borde no cargado)	180° ≤ α ≤ 360°	10 · d



Pernos

Tabla 8.4 Uniones con pernos. Separaciones y distancias mínimas.

Separaciones y distancias (véase figura 8.7)	Ángulo	Separación o distancia mínima
a ₁ (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) d$
a ₂ (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	4 d
a _{3,t} (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	max (7d;80mm)
a _{3,c} (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(1+ 6 \operatorname{sen} \alpha) d$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	4d
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(1+ 6 \operatorname{sen} \alpha) d$
a _{4,t} (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	max((2+ 2 sen α) d;3d)
a _{4,c} (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	3 d



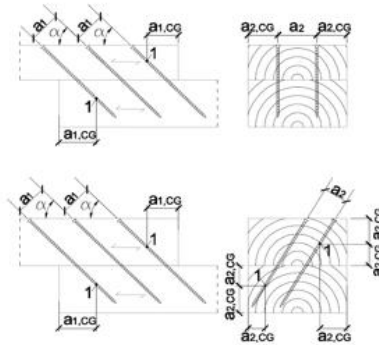
Disposiciones constructivas.

- Los agujeros en la madera para alojar los pernos deben tener un diámetro no mayor de 1 mm que el diámetro del perno. Los agujeros en las placas de acero deben tener un diámetro no mayor de 2 mm o de $0,1 \cdot d$ (el que resulte mayor) que el diámetro del perno.
- Las arandelas bajo la cabeza del perno y bajo la tuerca deben tener un lado (si son cuadradas) o un diámetro mínimo igual a $3 \cdot d$ y un espesor mínimo de $0,3 \cdot d$ (d es el diámetro del perno). La arandela debe tener pleno contacto con la superficie de la pieza.
- Los pernos y tirafondos deben apretarse de tal forma que las piezas queden firmemente unidas, y deben volver a apretarse si fuera necesario cuando la madera alcance su humedad de equilibrio higroscópico, siempre que sea requerido para garantizar la capacidad de carga o rigidez de la estructura.

Tirafondos

Tabla 8.6 - Separaciones y distancias a la testa y a los bordes mínimas en tirafondos cargados axialmente

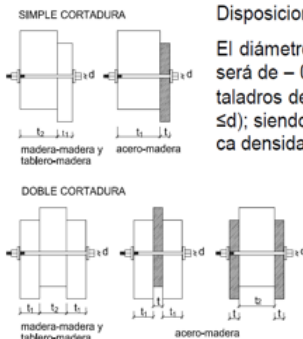
Separación mínima entre tirafondos en un plano paralelo a la fibra	Separación mínima entre tirafondos en dirección perpendicular a un plano paralelo a la fibra.	Distancia mínima a la testa desde el centro de gravedad de la parte roscada del tirafondo en la pieza.	Distancia mínima al borde desde el centro de gravedad de la parte roscada del tirafondo en la pieza.
a_1	a_2	$a_{1,CG}$	$a_{2,CG}$
7d	5d	10d	4d



Pasadores

Tabla 8.5 Separaciones y distancias mínimas para pasadores

Separaciones y distancias (véase figura 8.7)	Ángulo	Separación o distancia mínima
a_1 (paralelo a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3 + 2 \cos \alpha) \cdot d$
a_2 (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	3d
$a_{3,t}$ (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	max (7d; 80 mm)
$a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	max ($a_{3,t} \sin \alpha $; 3d)
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	3d
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	Max ($a_{3,t} \sin \alpha $; 3d)
$a_{4,t}$ (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	max [$(2 + 2 \sin \alpha) \cdot d$; 3d]
$a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	3d



Valores de cálculo

La primera página asociada al cálculo y dimensionado de las secciones es la página “Valores de cálculo”. En esta página, el usuario podrá definir exactamente la clase resistente de la madera aserrada o laminada encolada que se encuentra actualmente en el DB-SE M. Por otra parte, la clase de servicio se debe definir de manera conjunta a la madera usada, ya que modificará correspondientemente los coeficientes con los que se analizarán los valores de cálculo.

Todos estos apartados pueden encontrarse en la zona izquierda de la página:

IDENTIFICACIÓN MADERA	C27, CLASE 1		NORMAS DE IDENTIFICACIÓN MADERA: TIPO DE MADERA, CLASE DE SERVICIO		DIMENSIONES PIEZA	
Resistencia (característica) en N/mm ²					Ancho	200 mm
Flexión	$f_{m,k}$	27			Canto	400 mm
Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	16				
Tracción perpendicular.	$f_{t,90,k}$	0,4				
Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	22				
Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,6				
Cortante	$f_{v,k}$	4				
Rigidez, en kN/mm ²						
Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,medio}$	11,5				
Módulo de elasticidad paralelo 50-percentil	$E_{0,k}$	7,7				
Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,medio}$	0,38				
Módulo transversal medio	G_{medio}	0,72				
Densidad, en kg/m ³						
Densidad característica	ρ_k	370				
Densidad media	ρ_{medio}	450				
IDENTIFICACIÓN COEFICIENTES						
C. PARCIALES SEGURIDAD ΦM	1,30					
VALORES k_{mod}	PERMANENTE	LARGA	MEDIA	CORTA	INSTANTÁNEA	
	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
C. MINORACIÓN k_{cr}	0,67					
FACTOR k_m	0,70					
FACTOR k_h	1,00					

VALORES DE CÁLCULO		PERMANENTE	LARGA	MEDIA	CORTA	INSTANTÁNEA
Resistencia (característica) en N/mm ²						
Flexión	$f_{m,k}$	12,46	14,54	16,62	18,69	22,85
Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	7,38	8,62	9,85	11,08	13,54
Tracción perpendicular.	$f_{t,90,k}$	0,18	0,22	0,25	0,28	0,34
Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	10,15	11,85	13,54	15,23	18,62
Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	1,20	1,40	1,60	1,80	2,20
Cortante	$f_{v,k}$	1,85	2,15	2,46	2,77	3,38
Rigidez, en kN/mm ²						
Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,medio}$	5,31	6,19	7,08	7,96	9,73
Módulo de elasticidad paralelo 50-percentil	$E_{0,k}$	3,55	4,15	4,74	5,33	6,52
Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,medio}$	0,18	0,20	0,23	0,26	0,32
Módulo transversal medio	G_{medio}	0,33	0,39	0,44	0,50	0,61
Densidad, en kg/m ³						
Densidad característica	ρ_k	170,77	199,23	227,69	256,15	313,08
Densidad media	ρ_{medio}	207,69	242,31	276,92	311,54	380,77

También deberá especificarse las dimensiones de la pieza a analizar. Se debe comentar que se suponen secciones rectangulares, por lo que rollos estructurales de sección circular no podrían calcularse de manera directa. Todos los coeficientes de cálculo tienen un comentario anejo a la celda, por si el usuario desea consultar alguno con más atención:

IDENTIFICACIÓN COEFICIENTES			
C. PARCIALES SEGURIDAD ΦM		1,30	
VALORES k_{mod}	Factor de modificación (por duración de la carga y clase de servicio)	0,60	0,7
C. MINORACIÓN k_{cr}		0,67	
FACTOR k_m		0,70	

Finalmente, se deben de proponer las hipótesis que actúan sobre la sección, además de los esfuerzos transmitidos por cada una de ellas. Las cuatro principales propuestas son: Peso propio, sobrecarga de uso, nieve y viento. Los esfuerzos posibles se muestran diferenciando las dos posibles orientaciones de la fibra, esfuerzos paralelos a la fibra y esfuerzos perpendiculares a la fibra.

Es de destacar el comentario agregado a los esfuerzos axiales paralelos a la sección. En una misma hipótesis no es posible encontrar compresiones y tracciones a la vez, así que se debe tener en cuenta a la hora de introducir los esfuerzos.

CARGAS PARA COMBINACIONES		Esfuerzos Paralelos a la Fibra				Esfuerzos Perpendiculares a la Fibra
		N (compresión)	N (tracción)	My	Mz	V
Permanente	Q	40,00 kN		20,00 kNm		10,00 kN
Sobrecarga Uso	U	20,00 kN		10,00 kNm		
Nieve	N	10,00 kN		20,00 kNm		
Viento 1	V1					10,00 kN
Viento 2	V2		1,00 kN			

Esfuerzos Paralelos a la Fibra		Esfuerzos Perpendiculares a la Fibra	
N (compresión)	N (tracción)	My	Mz
40,00 kN			
20,00 kN			
10,00 kN		20,00 kNm	

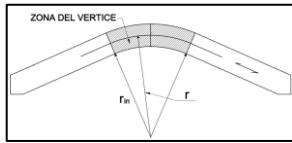
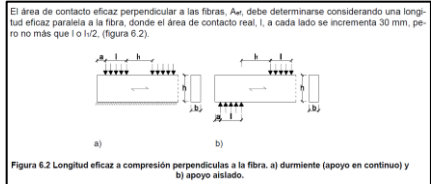
ATENCIÓN
Una hipótesis de carga solamente puede tener un esfuerzo Axil asociado, N no dos a la vez.

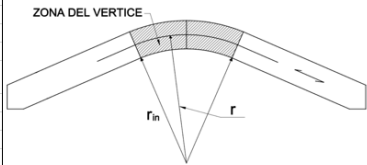
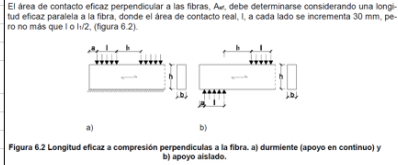
A continuación, en el Excel se comprueban doce combinaciones diferentes de hipótesis para generar los datos con los que se verificará la utilidad de la sección. Cada una de las combinaciones tiene una duración de carga asociada, la cual también afectará a la comprobación de la sección en la siguiente página. Como dato para el usuario, se muestra también los valores máximos de la combinación de cada esfuerzo y la combinación asociada a tal valor.

COMBINACIONES ELU		Esfuerzos Paralelos a la Fibra				Esfuerzos Perpendiculares a la Fibra
		N (compresión)	N (tracción)	My	Mz	V
C1	1,35Q + 1,5U	84,00 kN	0,00 kN	42,00 kN	0,00 kN	13,50 kN
C2	1,35Q + 1,5U + 1,5N	99,00 kN	0,00 kN	72,00 kN	0,00 kN	13,50 kN
C3	1,35Q + 1,5U + (1,5 × 0,5)N + (1,5 × 0,5)V1	91,50 kN	0,00 kN	57,00 kN	0,00 kN	21,00 kN
C4	1,35Q + 1,5U + (1,5 × 0,5)N + (1,5 × 0,5)V2	91,50 kN	0,75 kN	57,00 kN	0,00 kN	13,50 kN
C5	1,35Q + (1,5 × 0,7)U + 1,5N + (1,5 × 0,5)V1	90,00 kN	0,00 kN	67,50 kN	0,00 kN	21,00 kN
C6	1,35Q + (1,5 × 0,7)U + 1,5N + (1,5 × 0,5)V2	90,00 kN	0,75 kN	67,50 kN	0,00 kN	13,50 kN
C7	1,35Q + (1,5 × 0,7)U + (1,5 × 0,5)N + 1,5V1	82,50 kN	0,00 kN	52,50 kN	0,00 kN	28,50 kN
C8	1,35Q + (1,5 × 0,7)U + (1,5 × 0,5)N + 1,5V2	82,50 kN	1,50 kN	52,50 kN	0,00 kN	13,50 kN
Valores máximos		99,00 kN	1,50 kN	72,00 kNm	0,00 kNm	28,50 kN
Combinaciones asociadas		C2	C8	C2	C1	C7

Comprobación secciones

La segunda página muestra la comprobación de la pieza sometida a las determinaciones especificadas en la página anterior de “Valores de cálculo” frente a las tensiones normales a la fibra, las tensiones tangenciales y las tensiones perpendiculares a la fibra. Solamente es necesario determinar ciertos parámetros en el caso de que la pieza se vea sometida a tensiones perpendiculares a la fibra:

Tracción perpendicular		
M_f	Momento flector usado como referente para calcular la tensión de tracción perpendicular.	$\sigma_{t,90,max} = 1,5 \frac{M}{bhr}$ 
r	Radio medio de la pieza	
Compresión perpendicular		
k_c	<p>Factor que tiene en cuenta la distribución de la carga, la posibilidad de hienda y la deformación máxima por compresión perpendicular.</p> <p>Caso de durmientes (apoyo continuo) $k_c=1,25$ (madera maciza de coníferas) $k_c=1,50$ (madera laminada encolada de coníferas)</p> <p>Caso de apoyos aislados $k_c=1,50$ (madera maciza de coníferas) $k_c=1,75$ (madera laminada encolada de coníferas)</p> <p>Si no aplica / Todos los demás casos $k_c=1,00$</p>	$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$  <p>El área de contacto eficaz perpendicular a las fibras, A_{ef}, debe determinarse considerando una longitud eficaz paralela a la fibra, donde el área de contacto real, i, a cada lado se incrementa 30 mm, pero no más que l o $l/2$, (figura 6.2).</p> <p>Figura 6.2 Longitud eficaz a compresión perpendicular a la fibra. a) durmiente (apoyo en continuo) y b) apoyo aislado.</p>
l_{ef}	Longitud de contacto eficaz en compresión perpendicular a la fibra.	

FLEXIÓN ESVIADA Y COMBINACIONES DE INDICES DE AGOTAMIENTO		TRACCIÓN PERPENDICULAR	COMPRESIÓN PERPENDICULAR
CORTANTE			
k_m	0,70	M_f 2,00 kNm	k_c 1,00
b_{ef}	134 mm	r 600 mm	l_{ef} 150 mm
k_{vol}	0,7924	k_{vol} aplicado 1,0000	A_{ef} 30.000 mm ²
		Vol (m ³) 0,032	
			1,00
			1,25
			1,50
			1,75
			
		$\sigma_{t,90,max} = 1,5 \frac{M}{bhr}$	

C1	Esfuerzos Paralelos a la Fibra					Esfuerzos Perpendiculares a la Fibra	
	N (compresión)	N (tracción)	My	Mz	V	N (compresión)	
PERMANENTE	84,00 kN	0,00 kN	42,00 kNm	0,00 kNm	13,50 kN	0,00 kN	
Tensiones de cálculo			Resistencias de la madera				
$\sigma_{t,0,d}$	0,000 N/mm ²	Tracción para.		$f_{t,0,k}$		6,46 N/mm ²	
$\sigma_{c,0,d}$	1,050 N/mm ²	Compresión para.		$f_{c,0,k}$		10,15 N/mm ²	
$\sigma_{m,d}$	7,875 N/mm ²	Flexión		$f_{m,k}$		11,08 N/mm ²	
$\sigma_{m,y,d}$	7,875 N/mm ²						
$\sigma_{m,z,d}$	0,000 N/mm ²						
$T_{d,max}$	0,378 N/mm ²	Cortante		$f_{v,k}$		1,85 N/mm ²	
$\sigma_{t,90,d}$	0,063 N/mm ²	Tracción perp.		$f_{t,90,k}$		0,18 N/mm ²	
$\sigma_{c,90,d}$	0,000 N/mm ²	Compr. perp.		$f_{c,90,k}$		1,15 N/mm ²	
Indices de agotamiento			Sumatorio indices de agotamiento				
Tracción para.	0,0000	CUMPLE	I.A. Paralela a la fibra		0,8143		CUMPLE
Compresión para.	0,1034	CUMPLE					
Flexión Y	0,7109	CUMPLE					
Flexión Z	0,0000	CUMPLE					
Cortante	0,2046	CUMPLE	I.A. Tangente a la fibra		0,2046		CUMPLE
Tracción perp.	0,2418	CUMPLE	I.A. Perp. a la fibra		0,2418		CUMPLE
Compr. perp.	0,0000	CUMPLE					
Indices de agotamiento (combinaciones)							
Flexión esviada		Combinación tracción + flexión		Combinación compresión + flexión		Comb. Cortante + tracción perp.	
1era Cond.	2da Cond.	1era Cond.	2da Cond.	1era Cond.	2da Cond.		
0,7109	0,4977	0,7109	0,4977	0,7216	0,5083	0,6319	
$\frac{\sigma_{m,y,d} + k_{m,y} \sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d} + k_{m,y} f_{m,z,d}} \leq 1$		$\frac{\sigma_{t,d} + k_{m,t} \sigma_{m,d}}{f_{t,d} + k_{m,t} f_{m,d}} \leq 1$		$\frac{\sigma_{c,d} + k_{m,c} \sigma_{m,d}}{f_{c,d} + k_{m,c} f_{m,d}} \leq 1$		$\frac{T_d + \sigma_{t,90,d}}{f_{v,d} + k_{vol} f_{t,90,d}} \leq 1$	

C2	Esfuerzos Paralelos a la Fibra					Esfuerzos Perpendiculares a la Fibra	
	N (compresión)	N (tracción)	My	Mz	V	N (compresión)	
MEDIA	99,00 kN	0,00 kN	72,00 kNm	0,00 kNm	13,50 kN	0,00 kN	
Tensiones de cálculo			Resistencias de la madera				
$\sigma_{t,0,d}$	0,000 N/mm ²	Tracción para.		$f_{t,0,k}$		8,62 N/mm ²	
$\sigma_{c,0,d}$	1,238 N/mm ²	Compresión para.		$f_{c,0,k}$		13,54 N/mm ²	
$\sigma_{m,d}$	13,500 N/mm ²	Flexión		$f_{m,k}$		14,77 N/mm ²	
$\sigma_{m,y,d}$	13,500 N/mm ²						
$\sigma_{m,z,d}$	0,000 N/mm ²						
$T_{d,max}$	0,378 N/mm ²	Cortante		$f_{v,k}$		2,46 N/mm ²	
$\sigma_{t,90,d}$	0,063 N/mm ²	Tracción perp.		$f_{t,90,k}$		0,25 N/mm ²	
$\sigma_{c,90,d}$	0,000 N/mm ²	Compr. perp.		$f_{c,90,k}$		1,54 N/mm ²	
Indices de agotamiento			Sumatorio indices de agotamiento				
Tracción para.	0,0000	CUMPLE	I.A. Paralela a la fibra		1,0055		NO CUMPLE
Compresión para.	0,0914	CUMPLE					
Flexión Y	0,9141	CUMPLE					
Flexión Z	0,0000	CUMPLE					
Cortante	0,1535	CUMPLE	I.A. Tangente a la fibra		0,1535		CUMPLE
Tracción perp.	0,1814	CUMPLE	I.A. Perp. a la fibra		0,1814		CUMPLE
Compr. perp.	0,0000	CUMPLE					
Indices de agotamiento (combinaciones)							
Flexión esviada		Combinación tracción + flexión		Combinación compresión + flexión		Comb. Cortante + tracción perp.	
1era Cond.	2da Cond.	1era Cond.	2da Cond.	1era Cond.	2da Cond.		
0,9141	0,6398	0,9141	0,6398	0,9224	0,6482	0,4739	

C3	Esfuerzos Paralelos a la Fibra					Esfuerzos Perpendiculares a la Fibra	
	N (compresión)	N (tracción)	My	Mz	V	N (compresión)	
CORTA	91,50 kN	0,00 kN	57,00 kNm	0,00 kNm	21,00 kN	0,00 kN	
Tensiones de cálculo			Resistencias de la madera				
$\sigma_{t,0,d}$	0,000 N/mm ²	Tracción para.		$f_{t,0,k}$		9,69 N/mm ²	
$\sigma_{c,0,d}$	1,144 N/mm ²	Compresión para.		$f_{c,0,k}$		15,23 N/mm ²	
$\sigma_{m,d}$	10,688 N/mm ²	Flexión		$f_{m,k}$		16,62 N/mm ²	
$\sigma_{m,y,d}$	10,688 N/mm ²						
$\sigma_{m,z,d}$	0,000 N/mm ²						
$T_{d,max}$	0,588 N/mm ²	Cortante		$f_{v,k}$		2,77 N/mm ²	
$\sigma_{t,90,d}$	0,063 N/mm ²	Tracción perp.		$f_{t,90,k}$		0,28 N/mm ²	
$\sigma_{c,90,d}$	0,000 N/mm ²	Compr. perp.		$f_{c,90,k}$		1,73 N/mm ²	
Indices de agotamiento			Sumatorio indices de agotamiento				
Tracción para.	0,0000	CUMPLE	I.A. Paralela a la fibra		0,7183		CUMPLE
Compresión para.	0,0751	CUMPLE					
Flexión Y	0,6432	CUMPLE					
Flexión Z	0,0000	CUMPLE					
Cortante	0,2122	CUMPLE	I.A. Tangente a la fibra		0,2122		CUMPLE
Tracción perp.	0,1612	CUMPLE	I.A. Perp. a la fibra		0,1612		CUMPLE
Compr. perp.	0,0000	CUMPLE					
Indices de agotamiento (combinaciones)							
Flexión esviada		Combinación tracción + flexión		Combinación compresión + flexión		Comb. Cortante + tracción perp.	
1era Cond.	2da Cond.	1era Cond.	2da Cond.	1era Cond.	2da Cond.		
0,6432	0,4503	0,6432	0,4503	0,6489	0,4559	0,4970	

Comprobación uniones

La última página que se muestra abierta al usuario es la página “Comprobación uniones”. En ella, se podrá diseñar y calcular la capacidad de carga de las uniones propuestas de tipo clavija. Por ello, antes de realizar las modificaciones oportunas para la unión concreta, es necesario definir los esfuerzos a los que está sometida la unión y la duración de carga de estos esfuerzos, ya que la clase resistente de la madera se habrá definido en la página “Valores de cálculo”. También se adjunta un boceto explicativo que hace referencia al tipo de carga que puede experimentar una unión: cargas laterales o cargas axiales.

Esfuerzo carga lateral (Fv,Ed)	77.850,00 N	Carga Lateral	Carga Axial
Esfuerzo carga axial (Fax,Ed)			
Identificación madera	C27, CLASE 1		
Tipo de carga	CORTA		
Valor kmod	0,90		
C. parcial seguridad ΦM	1,30		

Habiendo ya definido los parámetros necesarios, nos disponemos a caracterizar concretamente la unión deseada. Sabemos que hay cinco tipos de uniones de tipo clavija diferentes: clavos, grapas, pernos, tirafondos y pasadores. Se pueden encontrar todos estos tipos de elementos en la página. Por otra parte, encontramos distintas celdas a rellenar que tienen relación con la unión específica, ya sea espesores de las piezas, diámetro de los elementos o disposiciones constructivas. Todos estos parámetros deben rellenarse correctamente para realizar el cálculo de la capacidad de carga de la unión.

Finalmente, si nos centramos en el apartado de las clases de unión de cada elemento, encontramos las tres más comunes: madera-madera, tablero-madera y acero-madera. En este apartado, debemos de elegir el tipo de cortadura a la que estará sometida la unión, además de otras especificaciones relativas concretamente a la clase de unión elegida.

COMPROBACIÓN CLAVOS LISOS					
ESPORES	t1	10 mm			
	t2	180 mm			
CARACT. DE LOS CLAVOS	d	8 mm			
	fu	600,00 N/mm²			
	tpen	100 mm			
	L	400 mm			
	a1	120 mm			
	n1	3			
n2	3				
TABLERO CONTRACHAPADO	pk	500,00 kg/m³			
UNIONES MADERA-MADERA		UNIONES TABLERO-MADERA		UNIONES ACERO-MADERA	
Tipo Cortadura	Cortadura simple	Tipo Cortadura	Cortadura doble	Tipo Cortadura	Cortadura doble P. central acero
Modo Taladro	Con taladro previo	Tipo Tablero	Tablero contrachapado		
Capacidad Carga Lateral	13.913,46 N	Capacidad Carga Lateral	29.383,08 N	Capacidad Carga Lateral	27.826,91 N
Capacidad Carga Axial	6.571,20 N	Capacidad Carga Axial	6.571,20 N	Capacidad Carga Axial	6.571,20 N
Combinación Axil-Lateral	5,60	Combinación Axil-Lateral	2,65	Combinación Axil-Lateral	2,80
Capacidad Cortadura	81.427,68 N	Capacidad Cortadura	162.855,36 N	Capacidad Cortadura	162.855,36 N

COMPROBACIÓN GRAPAS		
ESPEORES	t1	100 mm
	t2	300 mm
CARACT. DE LAS GRAPAS	d	2,0 mm
	fu	800,00 N/mm ²
	a1	90 mm
	L	300 mm
	n1	4
	n2	2
TABLERO CONTRACHAPADO	pk	500,00 kg/m ³
UNIONES TABLERO-MADERA		
Tipo Cortadura		Cortadura doble
Tipo Tablero		Tablero contrachapado
Capacidad Carga Lateral		9.186,15 N
Capacidad Cortadura		24.126,72 N

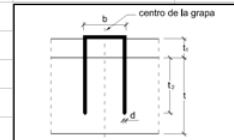
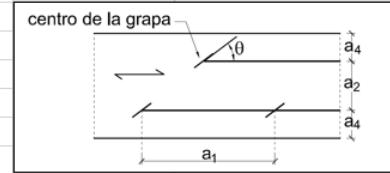
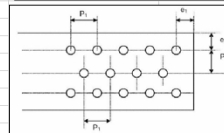
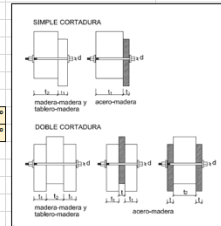


Figura 8.9 Dimensiones de las grapas



COMPROBACIÓN PERNOS					
ESPEORES	t1	100 mm			
	t2	300 mm			
CARACT. DE LOS PERNOS	d	10 mm			
	d arandela	30 mm			
	fu	800,00 N/mm ²			
	p1	80 mm			
	p2	60 mm			
	L	400 mm			
	n1	2			
	n2	1			
TABLERO CONTRACHAPADO	pk	500,00 kg/m ³			
CHAPA ACERO	fu	410,00 N/mm ²			
	e1	50 mm			
	e2	30 mm			
	alpha1	0,00 °			
	alpha2	0,00 °			
UNIONES MADERA-MADERA					
Tipo Cortadura		Cortadura doble			
UNIONES TABLERO-MADERA					
Tipo Cortadura		Cortadura simple			
Tipo Tablero		OSB			
UNIONES ACERO-MADERA					
Tipo Cortadura		Cortadura doble P. central madera Placa delgada			
Capacidad Carga Lateral	19.010,36 N	Capacidad Carga Lateral	11.403,24 N	Capacidad Carga Lateral	19.010,36 N
Capacidad Carga Axial	6.412,43 N	Capacidad Carga Axial	6.412,43 N	Capacidad Carga Axial	6.412,43 N
Combinación Axil-Lateral	16,77	Combinación Axil-Lateral	46,61	Combinación Axil-Lateral	16,77
Capacidad Cortadura	75.396,00 N	Capacidad Cortadura	37.698,00 N	Capacidad Cortadura	75.396,00 N
				Capacidad Aplastamiento	1.640.000,00 N





COMPROBACIÓN TIRAFONDOS					
ESPESORES	t1	100 mm			
	t2	300 mm			
CARACT. DE LOS TIRAFONDOS	d	16 mm	α1	0,00 °	
	fu	600,00 N/mm ²	α2	0,00 °	
	ef	60 mm			
	p1	60 mm			
	p2	50 mm			
	L	450 mm			
	n1	2			
n2	2				
TABLERO CONTRACHAPADO	pk	500,00 kg/m ²			
CHAPA ACERO	fu	410,00 N/mm ²			
	e1	50 mm			
	e2	50 mm			
<p>Figura 8.4 Definición de α_1 y α_2: a) cortadura simple, b) cortadura doble.</p>					
UNIONES MADERA-MADERA		UNIONES TABLERO-MADERA		UNIONES ACERO-MADERA	
Tipo Cortadura	Cortadura doble	Tipo Cortadura	Cortadura simple	Tipo Cortadura	Cortadura doble P. central madera Placa delgada
		Tipo Tablero	Tablero contrachapado		
Capacidad Carga Lateral	61.336,73 N	Capacidad Carga Lateral	35.520,58 N	Capacidad Carga Lateral	61.336,73 N
Capacidad Carga Axial	18.876,99 N	Capacidad Carga Axial	18.876,99 N	Capacidad Carga Axial	18.876,99 N
Combinación Axil-Lateral	1,61	Combinación Axil-Lateral	4,80	Combinación Axil-Lateral	1,61
Capacidad Cortadura	289.520,64 N	Capacidad Cortadura	144.760,32 N	Capacidad Cortadura	289.520,64 N
				Capacidad Aplastamiento	3.956.732,84 N

COMPROBACIÓN PASADORES					
ESPESORES	t1	70 mm			
	t2	200 mm			
CARACT. DE LOS PASADORES	d	26 mm	α1	0,00 °	
	fu	360,00 N/mm ²	α2	0,00 °	
	p1	140 mm			
	p2	80 mm			
	L	450 mm			
	n1	2			
	n2	2			
TABLERO CONTRACHAPADO	pk	500,00 kg/m ²			
CHAPA ACERO	fu	410,00 N/mm ²			
	e1	50 mm			
	e2	50 mm			
<p>SIMPLE CORTADURA madera-madera y acero-madera</p> <p>DOBLE CORTADURA madera-madera y acero-madera</p>					
UNIONES MADERA-MADERA		UNIONES TABLERO-MADERA		UNIONES ACERO-MADERA	
Tipo Cortadura	Cortadura doble	Tipo Cortadura	Cortadura doble	Tipo Cortadura	Cortadura doble P. central madera Placa delgada
		Tipo Tablero	OSB		
Capacidad Carga Lateral	87.902,29 N	Capacidad Carga Lateral	82.283,46 N	Capacidad Carga Lateral	116.974,01 N
Capacidad Cortadura	541.041,70 N	Capacidad Cortadura	541.041,70 N	Capacidad Cortadura	541.041,70 N
				Capacidad Aplastamiento	3.269.066,67 N

Compendio de ejemplos de uniones

Para poder ofrecer diversos ejemplos de uniones y casos prácticos en la obra, se muestran a continuación ciertas soluciones construidas en obras reales. Es necesario determinar que un encuentro concreto tiene diversas soluciones constructivas posibles, las cuales deben analizarse y definir la más óptima para el proyecto en cuestión.

Imagen	Caso	Descripción breve
 <p>[14]</p>	<p>Apoyo de pilar</p>	<p>Pilar de madera maciza apoyado sobre un pie metálico. La transmisión de la carga se realiza mediante una pletina metálica interna. De esta manera se eleva la madera del suelo y permite la ventilación del encuentro.</p>
 <p>[16]</p>	<p>Apoyo de pilar</p>	<p>Pilar empotrado en contacto con el suelo. Es necesario tener un correcto detalle constructivo de este tipo de encuentros para resolver problemas de humedad, hinchazón y ataques biológicos.</p>
 <p>[12]</p>	<p>Diferentes encuentros entre elementos estructurales</p>	<p>Compendio de ejemplos sobre la unión de diferentes piezas de madera mediante chapas metálicas. Es necesario hacer un estudio pormenorizado de cada uno de estos ejemplos, pero sirven como posibles opciones a priori.</p>
 <p>[11]</p>	<p>Apoyo de correas</p>	<p>Apoyo de una correa sobre una viga de madera. Los herrajes no llegan hasta la cara superior de la correa y se puede observar la conexión mediante tornillos con tacos.</p>


 <p>[15]</p>	Encuentro pilar-viga	Podemos comprobar aquí un encuentro de continuidad de dos piezas de madera para la viga y el pilar. Se observa el uso de dos chapas metálicas, una en la cara inferior de la viga y otra en la cara superior del pilar de madera, insertando dos pletinas metálicas en su interior del mismo pilar. Reconocemos unos pernos pasantes que van de lado a lado del pilar, pasando por dentro de las pletinas. Por otra parte, las pletinas laterales de estabilidad de la viga de madera son atravesadas por otros pernos pasantes.
---	----------------------	--

Tabla 10. Compendio de ejemplos de uniones

En caso de querer consultar más ejemplos de uniones más concretas, se puede revisar el Documento de aplicación del CTE | Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera del equipo Madera. Ofrecen una gran variedad de diseños construidos en obras de estructura de madera.

Estudio de casos: Comprobación de sección

Para verificar el correcto cálculo del Excel comparado con ejercicios teórico-prácticos, se va a comparar los resultados extraídos del archivo con ejercicios ya resueltos. En este caso, se va a analizar un ejercicio basado en el EJEMPLO 6.3 del libro ESTRUCTURAS DE MADERA | BASES DE CÁLCULO.

Ejemplo 6.3

Un pilar de madera laminada tiene una sección de 200 x 400 mm. Las condiciones ambientales corresponden a la clase de servicio 3. La clase resistente de la madera es GL24h y existen las siguientes solicitaciones de cálculo N_d :

Combinación permanente: $N_d=150$ kN.

Combinación media: $N_d=350$ kN.

Deducir el Índice de Agotamiento.

Combinación Permanente	
$k_{mod}=0,5$	$f_{c,0,d}=0,5*(24/1,25)=9,6$ N/mm ²
$\sigma_{c,0,d}=150.000/(200*400)= 1,875$ N/mm ²	$I_{c,0}=1,875/9,6=0,1953$ CUMPLE
Combinación Media	
$k_{mod}=0,65$	$f_{c,0,d}=0,65*(24/1,25)=12,48$ N/mm ²
$\sigma_{c,0,d}=350.000/(200*400)= 4,375$ N/mm ²	$I_{c,0}=4,375/12,48=0,3506$ CUMPLE

Ahora nos disponemos a compararlo con los datos mostrados por el Excel:

En primer lugar, nos disponemos a Identificar la madera y clase de uso, además de las dimensiones en la Hoja de “Valores de cálculo” para poder definir los valores de cálculo con los que se trabajarán.

IDENTIFICACIÓN MADERA			GLh24, CLASE 3			NORMAS DE IDENTIFICACIÓN MADERA: TIPO DE MADERA, CLASE DE SERVICIO			DIMENSIONES PIEZA		
Resistencia (característica) en N/mm ²									Áncho	200 mm	
Flexión	$f_{m,k}$	24							Canto	400 mm	
Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	16,5									
Tracción perpendicular.	$f_{t,90,k}$	0,4									
Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	24									
Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,7									
Cortante	$f_{v,k}$	2,7									
Rigidez, en kN/mm ²											
Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,media}$	11,6									
Módulo de elasticidad paralelo 50-percentil	$E_{0,k}$	9,4									
Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,media}$	0,39									
Módulo transversal medio	G_{media}	0,72									
Densidad, en kg/m ³											
Densidad característica	ρ_k	380									
Densidad media	ρ_{media}	0									
IDENTIFICACIÓN COEFICIENTES											
C. PARCIALES SEGURIDAD ϕ_M		1,25									
VALORES k_{mod}			PERMANENTE	LARGA	MEDIA	CORTA	INSTANTÁNEA				
			0,50	0,55	0,65	0,70	0,90				
C. MINORACIÓN k_{cor}		0,67									
FACTOR k_m		0,70									
FACTOR k_h		1,04									
VALORES DE CÁLCULO											
Resistencia (característica) en N/mm ²			PERMANENTE	LARGA	MEDIA	CORTA	INSTANTÁNEA				
Flexión	$f_{m,k}$	10,00	11,00	13,00	14,00	18,00					
Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	6,87	7,56	8,94	9,62	12,37					
Tracción perpendicular.	$f_{t,90,k}$	0,16	0,18	0,21	0,22	0,29					
Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	9,60	10,56	12,48	13,44	17,28					
Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	1,08	1,19	1,40	1,51	1,94					
Cortante	$f_{v,k}$	1,08	1,19	1,40	1,51	1,94					
Rigidez, en kN/mm ²											
Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,media}$	4,64	5,10	6,03	6,50	8,35					
Módulo de elasticidad paralelo 50-percentil	$E_{0,k}$	3,76	4,14	4,89	5,26	6,77					
Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,media}$	0,16	0,17	0,20	0,22	0,28					
Módulo transversal medio	G_{media}	0,29	0,32	0,37	0,40	0,52					
Densidad, en kg/m ³											
Densidad característica	ρ_k	152,00	167,20	197,60	212,80	273,60					
Densidad media	ρ_{media}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					

Por otra parte, introducimos los datos para generar los axiles de cálculo. Como el ejercicio nos aporta datos de cálculo, se han introducido hipótesis concretas para obtener los números expuestos en el ejercicio con los que se calcularán las tensiones de compresión.

			Esfuerzos Paralelos a la Fibra					Esfuerzos Perpendiculares a la Fibra
CARGAS PARA COMBINACIONES			N (compresión)	N (tracción)	My	Mz	V	N (compresión)
Permanente	Q		111,11 kN					
Sobrecarga Uso	U							
Nieve	N		133,33 kN					
Viento 1	V1							
Viento 2	V2							
COMBINACIONES ELU			Esfuerzos Paralelos a la Fibra					Esfuerzos Perpendiculares a la Fibra
			N (compresión)	N (tracción)	My	Mz	V	N (compresión)
PERMANENTE	C1	1,35Q + 1,5U	150,00 kN	0,00 kN	0,00 kN	0,00 kN	0,00 kN	0,00 kN
MEDIA	C2	1,35Q + 1,5U + 1,5N	350,00 kN	0,00 kN	0,00 kN	0,00 kN	0,00 kN	0,00 kN

Nos centramos en la combinación C1 y C2 para analizar los resultados expuestos en la página “Comprobación secciones”.

C1		Esfuerzos Paralelos a la Fibra				Esfuerzos Perpendiculares a la Fibra	
PERMANENTE	N (compresión)	N (tracción)	My	Mz	V	N (compresión)	
	150,00 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm	0,00 kN	0,00 kN	
Tensiones de cálculo			Resistencias de la madera				
$\sigma_{1,0,d}$	0,000 N/mm ²			Tracción para.	$f_{t,0,k}$	6,87 N/mm ²	
$\sigma_{2,0,d}$	1,875 N/mm ²			Compresión para.	$f_{c,0,k}$	9,60 N/mm ²	
$\sigma_{m,d}$	0,000 N/mm ²			Flexión	$f_{m,k}$	10,00 N/mm ²	
$\sigma_{m,y,d}$	0,000 N/mm ²						
$\sigma_{m,z,d}$	0,000 N/mm ²			Cortante	$f_{v,k}$	1,08 N/mm ²	
$T_{d,max}$	0,000 N/mm ²						
$\sigma_{t,90,d}$	0,063 N/mm ²			Tracción perp.	$f_{t,90,k}$	0,13 N/mm ²	
$\sigma_{c,90,d}$	0,000 N/mm ²			Compr. perp.	$f_{c,90,k}$	1,08 N/mm ²	
Índices de agotamiento			Sumatorio índices de agotamiento				
Tracción para.	0,0000		CUMPLE	I.A. Paralela a la fibra		0,1953	CUMPLE
Compresión para.	0,1953		CUMPLE				
Flexión Y	0,0000		CUMPLE				
Flexión Z	0,0000		CUMPLE				
Cortante	0,0000		CUMPLE	I.A. Tangente a la fibra		0,0000	CUMPLE
Tracción perp.	0,3521		CUMPLE	I.A. Perp. a la fibra		0,3521	CUMPLE
Compr. perp.	0,0000		CUMPLE				
Índices de agotamiento (combinaciones)							
Flexión esviada		Combinación tracción + flexión		Combinación compresión + flexión		Comb. Cortante + tracción perp.	
1era Cond.	2da Cond.	1era Cond.	2da Cond.	1era Cond.	2da Cond.		
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0381	0,0381	0,6220	
$\frac{f_{m,y,d} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}}{f_{m,y,d} + f_{m,z,d}} \leq 1$		$\frac{\sigma_{t,d} + \sigma_{m,d} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}}{f_{t,d} + f_{m,d} + f_{m,z,d}} \leq 1$		$\frac{(\frac{\sigma_{c,d}}{f_{c,d}})^2 + \frac{\sigma_{m,d} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}}{f_{m,d} + f_{m,z,d}}}{f_{c,d} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,d} + \sigma_{c,d}}{f_{m,d} + f_{m,z,d}}} \leq 1$		$\frac{T_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{vol} f_{t,90,d}} \leq 1$	
$\frac{k_m \frac{\sigma_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d} + f_{m,z,d}}}{f_{m,y,d} + f_{m,z,d}} \leq 1$		$\frac{\sigma_{t,d} + \sigma_{m,d} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}}{f_{t,d} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + f_{m,d} + f_{m,z,d}} \leq 1$		$\frac{(\frac{\sigma_{c,d}}{f_{c,d}})^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d} + f_{m,z,d}}}{f_{c,d} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d}}{f_{m,y,d} + f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,d} + \sigma_{c,d}}{f_{m,d} + f_{m,z,d}}} \leq 1$			
C2		Esfuerzos Paralelos a la Fibra				Esfuerzos Perpendiculares a la Fibra	
MEDIA	N (compresión)	N (tracción)	My	Mz	V	N (compresión)	
	350,00 kN	0,00 kN	0,00 kNm	0,00 kNm	0,00 kN	0,00 kN	
Tensiones de cálculo			Resistencias de la madera				
$\sigma_{1,0,d}$	0,000 N/mm ²			Tracción para.	$f_{t,0,k}$	8,94 N/mm ²	
$\sigma_{2,0,d}$	4,375 N/mm ²			Compresión para.	$f_{c,0,k}$	12,48 N/mm ²	
$\sigma_{m,d}$	0,000 N/mm ²			Flexión	$f_{m,k}$	13,00 N/mm ²	
$\sigma_{m,y,d}$	0,000 N/mm ²						
$\sigma_{m,z,d}$	0,000 N/mm ²			Cortante	$f_{v,k}$	1,40 N/mm ²	
$T_{d,max}$	0,000 N/mm ²						
$\sigma_{t,90,d}$	0,063 N/mm ²			Tracción perp.	$f_{t,90,k}$	0,21 N/mm ²	
$\sigma_{c,90,d}$	0,000 N/mm ²			Compr. perp.	$f_{c,90,k}$	1,40 N/mm ²	
Índices de agotamiento			Sumatorio índices de agotamiento				
Tracción para.	0,0000		CUMPLE	I.A. Paralela a la fibra		0,3506	CUMPLE
Compresión para.	0,3506		CUMPLE				
Flexión Y	0,0000		CUMPLE				
Flexión Z	0,0000		CUMPLE				
Cortante	0,0000		CUMPLE	I.A. Tangente a la fibra		0,0000	CUMPLE
Tracción perp.	0,2146		CUMPLE	I.A. Perp. a la fibra		0,2146	CUMPLE
Compr. perp.	0,0000		CUMPLE				
Índices de agotamiento (combinaciones)							
Flexión esviada		Combinación tracción + flexión		Combinación compresión + flexión		Comb. Cortante + tracción perp.	
1era Cond.	2da Cond.	1era Cond.	2da Cond.	1era Cond.	2da Cond.		
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1229	0,1229	0,3792	

Podemos comprobar que los Índices de agotamiento coinciden exactamente con los calculados en el ejercicio a mano.

Estudio de casos: Comprobación de unión

De manera análoga a la comprobación de la sección realizada en el anterior apartado, vamos a realizar un estudio práctico para verificar los resultados del Excel. En este caso, usaremos el EJEMPLO 16.6 del libro ESTRUCTURAS DE MADERA | UNIONES.

Ejemplo 16.6

Empalme con cubrejuntas de madera con pasadores de acero S235 y diámetro de 26 mm con las dimensiones indicadas en la figura. Clase de servicio 1. Madera clase resistente C27. Los datos generales se dan a continuación:

Combinación corta: $N_d=77,85$ kN Duración: Corta

Pasadores: $f_u=360 \text{ N/mm}^2$ Diámetro 26 mm

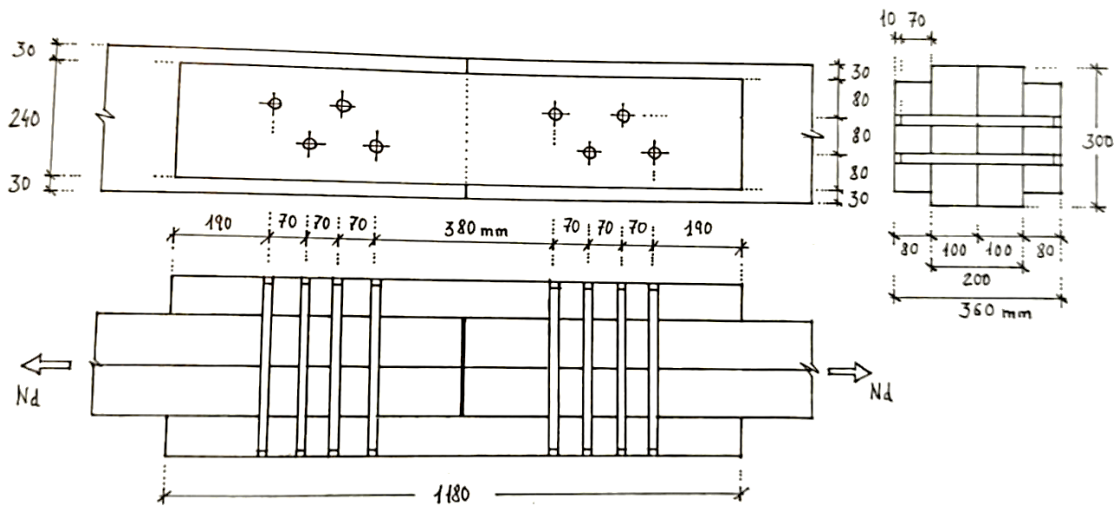


Fig. 15 Detalle constructivo de la unión del ejercicio

Momento plástico	$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$	515.649 N·mm
Resistencia Aplastamiento	$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$	22,45 N/mm ²
a1 y a2	140 mm	80 mm
Ecuaciones de Johansen	Cortadura doble: $F_{v,Rk} = \min \left[\begin{array}{l} f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d \\ 0,5 \cdot f_{h,2k} \cdot t_2 \cdot d \\ 1,05 \cdot \frac{f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1k} \cdot d} \end{array} \right]$	Min: 21.202 N
Valor característico	21.202·2	42.404
Valor de cálculo	$R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_k}{\varphi_M}$	29.357
Número eficaz	$n_{ef} = \min_{n^{0,9}} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}}$	Min: 1,497
Capacidad total	2·1,497·29,357	87.894 > 77.850 Cumple

Ahora, vamos a analizar los datos extraídos del Excel.

En primer lugar, nos disponemos a Identificar la madera y clase de uso, además de las dimensiones en la Hoja de “Valores de cálculo” para poder definir los valores de cálculo con los que se trabajarán.

IDENTIFICACIÓN MADERA	C27, CLASE 1	NORMAS DE IDENTIFICACIÓN MADERA: TIPO DE MADERA, CLASE DE SERVICIO
Resistencia (característica) en N/mm ²		
Flexión	27	
Tracción paralela	16	
Tracción perpendicular.	0,4	
Compresión paralela	22	
Compresión perpendicular	2,6	
Cortante	4	
Rigidez, en kN/mm ²		
Módulo de elasticidad paralelo medio	11,5	
Módulo de elasticidad paralelo 50-percentil	7,7	
Módulo de elasticidad perpendicular medio	0,38	
Módulo transversal medio	0,72	
Densidad, en kg/m ³		
Densidad característica	370	
Densidad media	450	

Este es el único dato que debemos de introducir en la primera página, ya que las demás celdas que debemos rellenar se encuentran en la página "Comprobación uniones". Por ello, pasamos a la siguiente página y definimos las celdas correspondientes a la duración de la carga y a los esfuerzos presentados en la unión. Podemos distinguir un boceto explicativo diferenciando carga axial y carga lateral si el usuario quiere consultarlos.

Esfuerzo carga lateral (F _v ,E _d)	77.850,00 N		
Esfuerzo carga axial (F _{ax} ,E _d)			
Identificación madera	C27, CLASE 1		
Tipo de carga	CORTA		
Valor k _{mod}	0,90		
C. parcial seguridad Φ _M	1,30		

Carga Lateral

Carga Axial

El siguiente paso es definir todos los datos referentes a la unión en concreto. Por ello debemos ir al apartado de COMPROBACIÓN PASADORES y determinar todos los aspectos de la unión. Es verdad que ciertos aspectos como la densidad del TABLERO CONTRACHAPADO o las determinaciones de la CHAPA DE ACERO no afectarán al cálculo de la unión, por ello pueden ser desestimados ya que la unión es madera-madera. A su vez, se exponen también unos bocetos explicativos para determinar los espesores y las distancias referidas.

COMPROBACIÓN PASADORES			
ESPEORES	t1	70 mm	
	t2	200 mm	
CARACT. DE LOS PASADORES	d	26 mm	α1
	f _u	360,00 N/mm ²	α2
	p1	140 mm	0,00 °
	p2	80 mm	0,00 °
	L	450 mm	
	n1	2	
TABLERO CONTRACHAPADO	pk	500,00 kg/m ³	
CHAPA ACERO	f _u	410,00 N/mm ²	
	e1	50 mm	
	e2	50 mm	

SIMPLE CORTADURA

DOBLE CORTADURA

Se verá definir en el apartado de las uniones el tipo de cortadura correspondiente al ejercicio, en este caso Cortadura doble.

En la parte inferior a este apartado podremos analizar directamente la capacidad total de la unión, ya que se han realizado todos los cálculos correspondientes en otras hojas aparte. Podemos observar los resultados en las celdas referidas a UNIONES MADERA-MADERA.

UNIONES MADERA-MADERA	
Tipo Cortadura	Cortadura doble
Capacidad Carga Lateral	87.902,29
Capacidad Cortadura	541.041,70

No obstante, analizaremos los resultados intrínsecos necesarios para llegar hasta este punto. En primero lugar, debemos ir a la página “Valores c. de las uniones” y llegar hasta el apartado de pasadores.

Q	R	S	T	U	V	W
PASADORES MADERA-MADERA						
fh,1,k	22,45		fh,0,k	22,45		
fh,2,k	22,45					
t1	70,00					
t2	200,00					
β	1,00					
My,Rk	515.649,33					
fu	360,00					
d	26,00					
$\alpha 1$	0,00					
$\alpha 2$	0,00					
PASADORES TABLERO-MADERA			TABLERO CONTRACHAPADO		OSB	
fh,1,k	20,43		fh,1,k	30,12	fh,1,k	20,43
fh,2,k	20,43		fh,2,k	30,12	fh,2,k	20,43
β	1					
PASADORES ACERO-MADERA			NÚMERO EFICAZ			
fh,1,k	22,45		nef	1,50		
fh,2,k	22,45					

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
123														
124														
125														
126														
127														
128														
129														
130														
131														
132														
133														
134														
135														
136														
137														
138														
139														
140														
141														
142														
143														
144														
145														
146														
147														
148														
149														
150														
151														
152														
153														
154														
155														

En estas impresiones de pantalla vemos como se han realizado ciertos cálculos y referencias a las páginas anteriormente citadas para poder determinar las ecuaciones de Johansen.

1. Por un lado, las ecuaciones de cortadura doble se han multiplicado ya por 2 sabiendo que se encuentran dos planos de cortadura en este tipo de casos.
2. De manera siguiente, se calculan los mínimos de cada tipo de cortadura y se exponen en la columna K.
3. Habiendo determinado en la el tipo de cortadura en la página de “Comprobación uniones”, la columna M muestra el resultado asociado a cada tipo.
4. Finalmente, la columna N multiplica este valor mencionado por el número eficaz de elementos específico a este tipo de unión por el número de filas de elementos para determinar el valor bruto de la capacidad, en este caso 126.969,98 N.
5. El único paso que falta es multiplicar este valor por el coeficiente asociado a la duración de la carga y dividirlo por el coeficiente de seguridad asociado a la madera, ubicados en la página “Comprobación uniones”. Este resultado final es el que se muestra en esta página, dando el resultado final de 87.902,29 N.

Conclusiones

Tras haber profundizado en el análisis y dimensionado de las estructuras de madera, realizar investigación independiente sobre sus usos profesionales y el futuro de las mismas en el sector de la construcción, reitero el argumento que expuse al inicio del trabajo exponiendo que la madera se está convirtiendo actualmente como una alternativa muy válida y vigente en la sociedad actual. Muestra una gran serie de ventajas estructurales y constructivas sobre sus rivales, permitiendo una construcción rápida, segura y fiable.

Analizando el trabajo realizado sobre el archivo Excel, es un proyecto revisado exhaustivamente durante mucho tiempo, pero es posible que aparezcan fallos o discrepancias en el cálculo respecto a los cálculos realizados a mano, ya sea por incorrecto uso del Excel o por un fallo en la formulación intrínseca. Si es así, se ha expuesto en el archivo un correo con el que se puede contactar en caso de duda o propuesta de mejora.

Para favorecer el correcto uso del Excel, se han ocultado tres páginas que desarrollan el cálculo de la comprobación de las secciones y las tablas sobre las clases resistentes de las maderas consideradas. Éstas se pueden relevar mediante la opción de Mostrar del Excel si el usuario desea consultar la formulación usada.

Por otra parte, una de las ventajas sobre el uso de este Excel es la posibilidad de actualización mejora del mismo por versiones. Actualmente, el trabajo se ha centrado en el análisis de las uniones de tipo clavija, pero aún existen ciertas comprobaciones relevantes a las uniones que no se han podido abordar, por ejemplo, el fallo por carga frente a la hienda, el fallo de la unión por desgarro, el fallo en bloque o el fallo por rotura de la chapa. Por otra parte, sería una gran mejora del propio archivo introducir el resto de uniones y su análisis correspondiente, así crear una herramienta completa y actualizada para todo tipo de uniones.

Por último, haciendo una valoración global del trabajo, los objetivos propuestos y la línea de trabajo utilizada, se ha llegado a presentar una herramienta pedagógica, sencilla de utilizar y completa. Se espera que su uso favorezca el aprendizaje a nivel académico y de esta manera promover el uso de estructuras de madera en la construcción del siglo XXI.

Bibliografía

- [1] Arriaga Martitegui, F., Argüelles Álvarez, R., Esteban, M., Íñiguez, G., & Argüelles Bustillo, R. (2015). *Estructuras de madera. Uniones*. Madrid: AITIM.
- [2] Arriaga Martitegui, F., Argüelles Álvarez, R., Esteban, M., Íñiguez, G., & Argüelles Bustillo, R. (2018). *Estructuras de madera. Bases de cálculo*. Madrid: AITIM.
- [3] Arriaga Martitegui, F., Esteban Herrero, M., & Íñiguez, G. (2010). *Capítulo 1. Productos de madera para la construcción. Documento de aplicación del CTE*. Madrid: Confemadera.
- [4] Arriaga Martitegui, F., Íñiguez González, G., Esteban Herrero, M., Argüelles Álvarez, R., & Fernández Cabo, J. (2011). *Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera. Documento de aplicación del CTE*. Madrid: MADERIA. Sociedad Española de la Madera.
- [5] Ministerio de Fomento. Secretaría de Estado de Infraestructuras, T. y. (2009). *Documento Básico SE-AE. Acciones en la Edificación*.
- [6]. Ministerio de Fomento. Secretaría de Estado de Infraestructuras, T. y. (2019). *Documento Básico SE-M. Madera*.
- [7] Guaita Fernández, M. (2022). "INTRODUCCION AL CALCULO DE ESTRUCTURAS DE MADERA. BASES DE CÁLCULO". Valencia: Cátedra MADERAMEN.
- [8] Guaita Fernández, M. (2022). "INTRODUCCION AL CALCULO DE ESTRUCTURAS DE MADERA. PROPIEDADES MECANICAS". Valencia: Cátedra MADERAMEN.
- [9] Guaita Fernández, M. (2022). "INTRODUCCION AL CALCULO DE ESTRUCTURAS DE MADERA. UNIONES TIPO CLAVIJA". Valencia: Cátedra MADERAMEN.
- [10] archdaily. (2017). *15 herrajes metálicos para conectar estructuras de madera laminada*. Obtenido de <https://www.archdaily.co/co/797621/15-herrajes-metalicos-para-conectar-estructuras-de-madera-laminada-arauco> (Acceso el 1 de agosto de 2022)
- [11] archdaily. (2017). *Soportes para vigas de madera | Simpson Strong Tie*. Obtenido de https://www.archdaily.cl/catalog/cl/products/14096/soportes-para-vigas-de-madera-simpson-strong-tie?ad_medium=nimrod&ad_name=smart-widget&ad_category=smart-widget (Acceso el 1 de agosto de 2022)
- [12] archdaily. (2019). *¿Cómo unir elementos de madera? 6 consejos para construir estructuras seguras y resistentes*. Obtenido de <https://www.archdaily.cl/cl/925324/como-unir-elementos-de-madera-6->

- [consejos-para-construir-estructuras-seguras-y-resistentes](#) (Acceso el 1 de agosto de 2022)
- [13] Austria, P. (2013). *Interempresas. Madera aserrada para uso estructural*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Madera/Articulos/105399-Madera-aserrada-para-uso-estructural.html> (Acceso el 1 de agosto de 2022)
- [14] esteba. (2020). *PIE DE PILAR U CON PLETINA REGULABLE*. Obtenido de <https://www.esteba.com/es/pies-de-pilares/174880000-pie-de-pilar-u-con-pletina-regulable-5701953356071.html> (Acceso el 3 de agosto de 2022)
- [15] INC, A. O. (s.f.). *Mount Currie Health Care & Child Care*. Obtenido de <https://www.actonstry.ca/project/mount-currie-health-care-day-care/> (Acceso el 6 de agosto de 2022)
- [16] MaderaEstructural. (2016). *Sobre pérgolas y porches – protección por diseño*. Obtenido de <https://maderaestructural.wordpress.com/2016/07/04/sobre-pergolas-y-porches-proteccion-por-diseno/> (Acceso el 3 de agosto de 2022)
- [17] Maderame. (s.f.). *Madera Laminada Encolada o Glulam: Definición, Tipos y Usos*. Obtenido de <https://maderame.com/madera-laminada-encolada-glulam/> (Acceso el 1 de agosto de 2022)
- [18] maderea. (2017). *Uniones carpinteras con madera*. Obtenido de <https://www.maderea.es/uniones-carpinteras-con-madera/> (Acceso el 1 de agosto de 2022)
- [19] maderea. (2019). *Uniones encoladas de madera*. Obtenido de <https://www.maderea.es/uniones-encoladas-de-madera/> (Acceso el 1 de agosto de 2022)

Índice de figuras

Figura 1. *Piezas de madera aserrada*. Extraído de: Austria, P. (2013). *Interempresas. Madera aserrada para uso estructural*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Madera/Articulos/105399-Madera-aserrada-para-uso-estructural.html> (Acceso el 1 de agosto de 2022)

Figura 2. *Elaboración y secciones de madera laminada encolada*. Extraído de: Maderame. (s.f.). *Madera Laminada Encolada o Glulam: Definición, Tipos y Usos*. Obtenido de <https://maderame.com/madera-laminada-encolada-glulam/> (Acceso el 1 de agosto de 2022)

Figura 3. *Uniones carpinteras (rayo de Zeus)*. Extraído de: maderea. (2017). *Uniones carpinteras con madera*. Obtenido de <https://www.maderea.es/uniones-carpinteras-con-madera/> (Acceso el 1 de agosto de 2022)

Figura 4. *Variantes de uniones metálicas*. Extraído de: archdaily. (2017). 15 herrajes metálicos para conectar estructuras de madera laminada. Obtenido de <https://www.archdaily.co/co/797621/15-herrajes-metalicos-para-conectar-estructuras-de-madera-laminada-arauco> (Acceso el 1 de agosto de 2022)

Figura 5. *Variantes de uniones encoladas*. Extraído de: maderea. (2019). *Uniones encoladas de madera*. Obtenido de <https://www.maderea.es/uniones-encoladas-de-madera/> (Acceso el 1 de agosto de 2022)

Figura 6. *Boceto aclaratorio sobre el esfuerzo lateral de una unión*. Extraído de: Arriaga Martitegui, F., Argüelles Álvarez, R., Esteban, M., Íñiguez, G., & Argüelles Bustillo, R. (2015). *Estructuras de madera. Uniones*. Madrid: AITIM.

Figura 7. *Tipos de cortadura en clavos y tirafondos*. Extraído de: Ministerio de Fomento. Secretaría de Estado de Infraestructuras, T. y. (2019). Documento Básico SE-M. Madera.

Figura 8. *Cortadura y dimensiones en grapas*. Extraído de: Ministerio de Fomento. Secretaría de Estado de Infraestructuras, T. y. (2019). Documento Básico SE-M. Madera.

Figura 9. *Tipos de cortadura en pernos y pasadores*. Extraído de: Ministerio de Fomento. Secretaría de Estado de Infraestructuras, T. y. (2019). Documento Básico SE-M. Madera.

Figura 10. *Cálculo de capacidad de carga en uniones madera-madera y tablero-madera*. Extraído de: Ministerio de Fomento. Secretaría de Estado de Infraestructuras, T. y. (2019). Documento Básico SE-M. Madera.

Figura 11. *Cálculo de capacidad de carga en uniones acero-madera*. Extraído de: Ministerio de Fomento. Secretaría de Estado de Infraestructuras, T. y. (2019). Documento Básico SE-M. Madera.

Figura 12. *Modos de fallo en uniones madera-madera y tablero-madera*. Extraído de: Ministerio de Fomento. Secretaría de Estado de Infraestructuras, T. y. (2019). Documento Básico SE-M. Madera.

Figura 13. *Modos de fallo en uniones acero-madera*. Extraído de: Ministerio de Fomento. Secretaría de Estado de Infraestructuras, T. y. (2019). Documento Básico SE-M. Madera.

Figura 14. *Boceto aclaratorio sobre el esfuerzo axial de una unión*. Extraído de: Ministerio de Fomento. Secretaría de Estado de Infraestructuras, T. y. (2019). Documento Básico SE-M. Madera.

Figura 14. *Detalle constructivo de la unión del ejercicio*. Extraído de: Arriaga Martitegui, F., Argüelles Álvarez, R., Esteban, M., Íñiguez, G., & Argüelles Bustillo, R. (2018). Estructuras de madera. Bases de cálculo. Madrid: AITIM.