

[2008]

GALLART I DIUMENGE, A.

TUTOR: LORENTE, S.

ARQUITECTURA TÈCNICA

**EINA DE CÀLCUL PER A LA
COMPROVACIÓ D'ESTRUCTURES DE
FUSTA, BASADA EN EL CTE**

[MEMÒRIA]

<i>Índex</i>	<i>1</i>
<i>Introducció: La fusta</i>	<i>2</i>
<i>Estructures de fusta</i>	<i>9</i>
<i>Contingut</i>	<i>11</i>
<i>Conclusió</i>	<i>13</i>
<i>Bibliografia</i>	<i>14</i>
<i>Annex</i>	<i>15</i>

INTRODUCCIÓ

LA FUSTA

Per a poder comprendre qualsevol aspecte que faci referència a la construcció d'estructures de fusta i al seu càlcul, prèviament haurem de tenir els coneixements necessaris sobre la matèria primera utilitzada per a la seva elaboració.

Una bona definició i una explicació general de les característiques tècniques d'un material tan noble com la fusta, la podem extreure d'una associació especialitzada en aquest sector com és Aitim. De diverses publicacions d'aquesta associació, he extret els aspectes més rellevants d'aquest material per entendre'l com a element estructural de construcció. He conservat la llengua original.

Aitim:

MADERA GENERALIDADES

La madera es un tejido exclusivo de los vegetales leñosos, que como tales tienen diferenciados especializados sus tejidos. Estos están formados por células que se pueden asemejar a tubos huecos, en el que la pared del tubo se correspondería con la pared celular y el interior hueco con el lumen de la célula. De forma simple y general se puede decir que la madera está formada principalmente por la unión de estas células; su tamaño, forma y distribución junto con otros elementos anatómicos, como los radios leñosos, la presencia de canales resiníferos o de vasos, etc. son los que dan lugar o definen las diferentes especies de madera. Esta estructura tubular es la que confiere las propiedades que tiene la madera, que depende en gran medida de las propiedades de la pared celular.

La madera se caracteriza por ser un material:

- Anisótropo, sus propiedades varían según la dirección que se considere.
- Higroscópico, el agua, tanto en forma líquida como en forma de vapor, influye en su comportamiento.
- Sus buenas propiedades mecánicas, sobre todo si se las compara con su peso.
- La posibilidad de mecanizarse y procesarse (fabricación y obtención de diferentes elementos).
- La posibilidad de protegerse frente a la acción de diferentes agentes degradadores.
- Por sus características estéticas que le confieren una especial belleza.

DENOMINACIÓN

Vulgarmente se dividen las maderas bajo dos denominaciones generales, **coníferas** y **frondosas**. Esta división no es del todo correcta pero es la más sencilla y reconocida a efectos prácticos, su significado más aproximado es el siguiente:

- *coníferas*: especies pertenecientes al orden coniferales (abetos, piceas, alerces, cedros, pinos, etc), que comprende la mayor parte de las incluidas en la división de las gimnospermas.
- *frondosas*: especies leñosas pertenecientes a la división de las angiospermas dicotiledóneas (robles, haya, olmo, encina, etc). A veces se subdividen en frondosas boreales, australes y tropicales.

La correcta utilización de estos términos sería la que indica la **Taxonomía botánica** para los vegetales que den madera dentro de las divisiones de las gimnospermas y de las angiospermas. Esta clasificación que es más técnica tiene en cuenta que en las dos divisiones no todas las clases y órdenes existentes incluyen vegetales que proporcionen madera.

IDENTIFICACIÓN

Las coníferas tienen una estructura uniforme, aproximadamente un 90 - 95% está formada por células esbeltas orientadas en el sentido longitudinal, denominadas *traqueidas* (fibras), cuyos bordes tienen forma de bisel y están tapadas. Las traqueidas son las que comunican las propiedades resistentes para el sostén del árbol y al mismo tiempo conducen la savia (su transporte se realiza a través de unos orificios, denominados *puenteaduras*, que comunican las traqueidas entre sí).

Las frondosas tienen una estructura más compleja, en la dirección longitudinal existen células estrechas y alargadas que desarrollan la función de sostén, denominadas *fibras*; y células más anchas y espaciadas entre sí, con forma de tambor o barril, denominadas *vasos*, que son las encargadas de transportar la savia y que están conectadas entre sí a través de aperturas longitudinales. En la dirección horizontal aparecen otro tipo de células, denominadas *radios leñosos*, en mayor que cantidad que en las coníferas, cuya principal función es la de almacenar productos de reserva.

ESTRUCTURA MACROSCÓPICA DE LA MADERA

La estructura macroscópica es la que se observa a ojo desnudo o con diez aumentos. Para su estudio y debido a su heterogeneidad se establecen tres planos o secciones:

- Transversal, perpendicular al eje de la rama o tronco.
- Radial, que pasa por el eje y un radio de la rama o tronco.
- Tangencial, paralela a un plano tangente al tronco, o al anillo de crecimiento.

Al examinar las tres secciones principales en un tronco de madera se pueden observar las siguientes características que son fácilmente diferenciables:

- Corteza externa o corteza propiamente dicha, constituida por células muertas.
- Corteza interna o liber, por donde circula la savia descendente.
- Cambium, tejido que produce la madera o xilema hacia el interior y la corteza hacia el exterior.
- Leño o tejido leñoso propiamente dicho, que se corresponde básicamente con lo que entendemos por madera.
- Médula, de pequeño tamaño y con reducidas características mecánicas.

En el tejido leñoso, que rellena la mayor parte del tronco y que presenta diferencias fácilmente apreciables en las coníferas y en algunas frondosas, se pueden distinguir o definir los siguientes elementos: Duramen - albura / Anillos de crecimiento / Radios leñosos / Madera juvenil / Madera de reacción

Duramen - Albura

Dentro del tejido leñoso a veces pueden diferenciarse fácilmente dos zonas, el duramen, en el interior del tronco, y la albura, en el exterior. La formación del duramen se caracteriza por modificaciones anatómicas y químicas. Las modificaciones anatómicas, tanto en las frondosas como en las coníferas, se traducen en una obturación total o parcial de los tejidos encargados de transportar la savia. Las modificaciones químicas tienen lugar al impregnarse las células con otros productos naturales producidos por el árbol (resinas, aceites, taninos, gomas, alcaloides, etc) que al oxidarse le suelen dar un característico color oscuro, que se suele apreciar con más claridad en algunas coníferas.

La madera de duramen no sólo es más oscura (en la mayoría de las especies), sino que también es más densa y resistente a los ataques de origen biológico; mientras que la madera de albura suele ser más clara, generalmente blanco amarillenta, más porosa y blanda, y menos valiosa para algunas aplicaciones. Sin embargo, desde el punto de vista de los tratamientos, la albura suele ser más fácil de tratar y de trabajar en la mayor parte de los procesos de elaboración y desintegración mecánica.

Anillos de crecimiento

Los vegetales leñosos viven un cierto número de años y a lo largo de su vida las células del cambium van formando nuevas células que dan origen a los anillos de crecimiento. Los anillos de crecimiento pueden clasificarse en: **anuales**, característicos de las plantas que crecen en la zona boreal y **estacionales**, característicos de las plantas que crecen en la zona tropical con estaciones climáticas marcadas.

Dentro de cada anillo de crecimiento se distingue, más o menos fácilmente: la madera formada en primavera (llamada **madera de primavera** en el caso de los anillos anuales, y **de primer crecimiento** en los anillos estacionales), la madera formada en verano (**madera de verano** en los anillos anuales, y **tardía** en los estacionales).

Radios leñosos

Los radios leñosos están constituidos por células dispuestas en dirección radial, perpendicular al eje del árbol, y realizan una función de trabazón de las fibras longitudinales. Tienen importancia en las propiedades de la madera, como elemento de identificación y como responsables, en parte, de las propiedades de contracción de la madera.

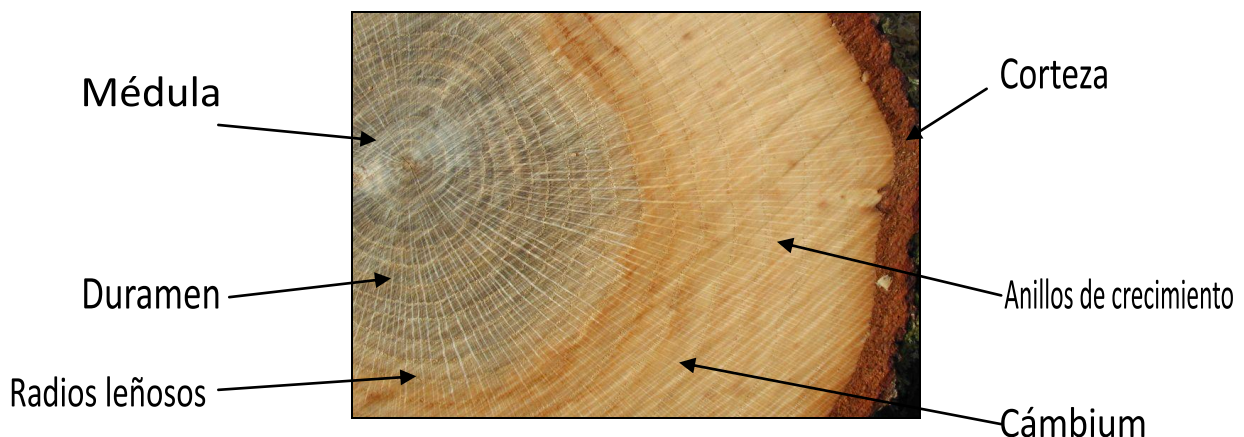
Madera juvenil

Se denomina madera juvenil a la que se produce en primeros anillos de crecimiento, normalmente la comprendida entre el quinto y vigésimo año. Esta madera tiene propiedades diferentes a la madera restante del tronco (madera madura) y presenta menor resistencia y rigidez y mayor hinchazón y merma en la dirección longitudinal que la madera normal.

Madera de reacción

Cuando el árbol se encuentra sometido a unas sollicitaciones que predominan en una dirección (debidos por ejemplo a la pendiente del terreno o a un viento dominante), responde formando lo que se denomina madera de reacción. En las coníferas se produce madera de compresión, mientras que las frondosas desarrollan madera de tracción en las zonas más traccionadas.

La madera de tracción no tiene gran importancia desde el punto de vista de su utilización estructural, pero la madera de compresión si presenta ciertos problemas.



ANISOTROPÍA

La madera, como se ha comentado, está formada por diferentes tejidos que realizan diferentes funciones y que originan que su estructura no sea homogénea. Esta heterogeneidad se refleja en sus propiedades físicas y mecánicas, y es la causa de algunos de sus defectos y también de sus ventajas. Dicha heterogeneidad da lugar a lo que se conoce con el nombre de anisotropía, que es el diferente el comportamiento de sus propiedades físicas y mecánicas según la dirección que se considere.

Se establecen tres planos o direcciones principales:

- Longitudinal, Radial i Tangencial.

Cuando se habla de las propiedades físicas se hace referencia a estas tres direcciones, y cuando se habla de las propiedades mecánicas sólo se habla de dos direcciones, la dirección paralela a las fibras (que coincide con la longitudinal) y la dirección perpendicular a las fibras (que engloba a la tangencial y radial, cuyas propiedades mecánicas suelen tener valores similares).

HIGROSCOPICIDAD

La madera es un material higroscópico que tiende a absorber o perder agua según las condiciones del ambiente (humedad relativa y temperatura del aire). De esta forma a cada estado ambiental corresponde un grado de humedad de la madera, llamado humedad de equilibrio higroscópico (HEH).

Así por ejemplo, una madera colocada en un local a 20°C de temperatura y con una humedad relativa del 40%, alcanzará una humedad de equilibrio del 8%. Por tanto será necesario secarla previamente hasta esta humedad, para que sufra las mínimas alteraciones dimensionales posibles. La madera deberá tener la humedad correspondiente a la humedad de equilibrio higroscópico de las condiciones higrotérmicas de servicio. De esta manera se reducen los movimientos que podrían ocasionarse a causa de la variación de su grado de humedad.

La higroscopicidad de la madera se mide como la variación de la densidad de la misma cuando su contenido de humedad varía en un 1 por 100.

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

Las propiedades físicas de la madera son aquellas que determinan su comportamiento frente a los distintos factores que intervienen en el medio natural, sin producir ninguna modificación mecánica o química. Estas propiedades engloban a las que determinan su comportamiento:

- a la iluminación (color, brillo y textura)
- la posibilidad de emitir partículas gaseosas (olor)
- con el agua (contenido de humedad, absorción, hinchazón, merma)
- a la gravedad (peso específico, densidad, porosidad)
- al calor (conductividad térmica, gradiente de temperatura, dilatación térmica)
- a las vibraciones acústicas (conductividad del sonido, transmisión del sonido, resonancia)
- a la acción de la corriente eléctrica (conductividad y resistencia eléctrica, etc.)
- a la penetración de la energía radiante (radiaciones ultravioleta, infrarrojos, rayos X, etc)
- a la penetración de los gases y fluidos (permeabilidad)

De todas ellas nos centramos en las más importantes y principales.

Contenido de humedad de la madera

El contenido de humedad de la madera, se define como la masa de agua contenida en la madera expresada como porcentaje de la masa anhidra.

$$h = (Ph - P0) \times 100 / P0$$

Siendo: Ph = peso húmedo de la probeta. P0 = peso anhidro de la probeta, obtenido por desecación en estufa a una temperatura de 103 ± 2 °C. En la fórmula se observa que el numerador representa la masa de agua que tiene la madera.

La humedad de la madera influye significativamente en las propiedades mecánicas y debe tenerse en cuenta en el cálculo. Por ello, las estructuras quedan asignadas a una clase de servicio, que determinará los valores resistentes e influirá en las deformaciones, bajo unas condiciones ambientales determinadas. Distinguimos tres clases de servicio 1, 2 y 3, de menor a mayor contenido de humedad.

Hinchazón y merma de la madera

La variación del contenido de humedad produce en la madera una variación de sus dimensiones. Cuando aumenta dicho contenido se hincha, mientras que cuando disminuye se contrae o merma. Estos movimientos sólo tienen lugar cuando su contenido de humedad se encuentra por debajo del punto de saturación de las fibras (aproximadamente cuando tienen una humedad del 30%), a partir del 30% sólo se produce un aumento de peso y su volumen permanece prácticamente constante.

Debido a su anisotropía, las variaciones dimensionales no serán las mismas en las direcciones axial, radial y tangencial. Estas contracciones o mermas modifican también como es natural su volumen. Para evaluarlas se han definido los coeficientes de contracción: contracción volumétrica total, contracción tangencial y contracción radial.

Densidad

La densidad de la madera se define como la relación entre su masa y su volumen, y es necesario referirla a un determinado contenido de humedad, generalmente el 12 %. La densidad de las maderas es muy variable, de forma particular las coníferas más utilizadas en la construcción tienen una densidad comprendida entre 400 y 550 kg/m³ y las frondosas entre 600 y 700 kg/m³. Según su densidad se pueden clasificar en: *muy ligera, ligera, semipesada, pesada, muy pesada*.

Dureza

Se define como la resistencia que opone la madera a la penetración de cuerpos extraños como ciertas herramientas, clavos, tornillos, etc. La dureza está relacionada con la densidad y tiene una marcada importancia en su relación con la dificultad de su trabajo ya sea realizado manual o mecánicamente. Las maderas se clasifican como: blandas, semiduras y duras.

Propiedades térmicas

Los coeficientes de dilatación de la madera son muy bajos (del orden de 3 a 6×10^6 en la dirección paralela y de 30 a 70×10^6 en la perpendicular), por lo que se puede decir que apenas se dilata.

Así mismo la madera es un mal conductor del calor debido a la escasez de electrones libres, por ejemplo el coeficiente de conductividad calorífica de la coníferas (pino y abetos) en la dirección perpendicular varía aproximadamente de 0,09 a 0,12 kcal / mh°C.

El calor específico de la madera es bajo, varía de 0,4 a 0,7 Kcal/kg°C, lo que significa que no necesitamos mucho calor para llegar a los 150°C, temperatura a la que empiezan a desprenderse gases combustibles y por tanto a aparecer las llamas.

Una vez que la madera entra en combustión hay que tener en cuenta la formación de carbón en las capas externas, que retrasa la difusión del calor hacia su interior constituyendo una barrera térmica que actúa

como aislante. La zona interior de la pieza no sufre apenas ninguna modificación y conserva intactas sus propiedades mecánicas, el acero o el hormigón se comportan de forma totalmente diferente. La velocidad de carbonización aproximada de la madera es de 0,7 mm/mn.

A pesar de que es un material inflamable a temperaturas relativamente bajas, en relación con las que se producen en un incendio, es menos peligroso de lo que la gente se piensa por las siguientes razones:

- Su baja conductividad térmica hace que la temperatura disminuya hacia el interior.
- La carbonización superficial que se produce impide por una parte la salida de gases y por otra la penetración del calor.
- Al ser despreciable su dilatación térmica no actúa sobre las estructuras y no las deforma.

Propiedades acústicas

Las propiedades acústicas de la madera permiten, además de la fabricación de elementos materiales, su utilización en la construcción si se conoce su comportamiento y sobre todo como diseñar e instalar los elementos de madera.

Absorción de sonido: Los materiales absorbentes de sonido pueden ser de dos tipos: porosos y paneles resonantes. Los paneles de madera maciza o los tableros derivados a la madera adheridos a superficies rígidas son pobres absorbentes del sonido (absorben entre el 5 - 10% y reflejan más del 90%); dejando la superficie de la madera en forma rugosa se aumenta muy ligeramente la absorción. Por el contrario las placas acústicas porosas fabricadas con fibras de madera pueden absorber más del 90% del sonido y reflejar el resto. Los paneles de tableros contrachapados pueden utilizarse como paneles resonantes, diseñados para absorber sonidos de baja frecuencia, que se colocan separados de la superficie rígida unos centímetros.

Transmisión del sonido (tabiques o suelos) - ruido aéreo. La pérdida de transmisión se rige por la ley de masas, cuanto mayor sea la masa por unidad de superficie del tabique la transmisión será menor. Esta ley indica que la madera, de forma aislada no es un buen aislante acústico; pero si las paredes o suelo constan de dos o más elementos de madera y se incorporaran otros productos con mejores propiedades acústicas, de tal forma que queden sin contacto entre sí (rotura de los puentes acústicos), se consigue un buen nivel de aislamiento. El diseño y composición del tabique o suelo es de gran importancia para mejorar sus prestaciones acústicas.

Aislamiento de impactos (suelos - techos) - ruido de impactos. Mide el grado en que un suelo o techo produce la transmisión del ruido de pisada u otros impactos. Los mejores resultados se consiguen con suelos pesados y no resonantes, en ambos casos la madera está en desventaja. Pero al igual que en el caso de transmisión una posible solución se centraría en el diseño y composición de estos elementos.

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA

Debido a la anisotropía de su estructura, a la hora de definir sus propiedades mecánicas se consideran la dirección perpendicular y la dirección paralela a la fibra. En este hecho radica la principal diferencia de comportamiento frente a otros materiales utilizados estructuralmente, como el acero y el hormigón. Las resistencias y módulos de elasticidad en la dirección paralela a la fibra son mucho más elevados que en la dirección perpendicular.

Para conocer las posibilidades estructurales de la madera es obligado analizar sus características mecánicas y compararlas con las de otros materiales. En la tabla se comparan los valores medios de las tensiones admisibles de la madera, hormigón y acero.

	Flexión	Tracción		Compresión		Cortante	Módulo de elasticidad
		Paralela	Perpend.	Paralela	Perpend.		
Madera	120	120	1,5	110	28	12	110000
Hormigón	80	6		80		6	200000
Acero	1700	1700		1700		1000	2100000

Tabla Comparación de las tensiones admisibles en kp/cm² de la madera, hormigón y acero.

Se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Muy elevada resistencia a la flexión, sobre todo si se asocia a su peso (la relación resistencia / peso es 1,3 veces superior a la del acero y 10 veces la del hormigón).
- Buena capacidad de resistencia a la tracción y a la compresión paralelas a la fibra.
- Escasa resistencia al cortante. Esta limitación se presenta también en el hormigón pero no en el acero.
- Muy escasas resistencias a la compresión y a la tracción perpendicular a la fibra. Sobre todo en tracción, lo que supone una característica muy particular frente a los otros materiales.
- Bajo módulo de elasticidad, mitad que el del hormigón y veinte veces menor que el del acero. Los valores alcanzados por el módulo de elasticidad inciden sustancialmente sobre la deformación de los elementos resistentes y sus posibilidades de pandeo. Este valor neutraliza parte de la buena resistencia a la compresión paralela a la cual se ha hecho referencia anteriormente.

Propiedad	Valor N/mm ² / Comentarios	Ejemplos
Flexión	14 – 30 Elevada comparada con su peso	Vigas forjado
Tracción //	8 – 18 Elevada Correcta ejecución de las uniones para que trabaje en esta dirección	Tirantes Pendolones
Tracción ..	0,3 – 0,4 Muy baja	MLE Piezas curvas
Compresión //	16 – 23 Se ha de comprobar la inestabilidad de las piezas (pandeo)	Pilares
Compresión ..	4,3 – 5,7 Baja Se produce un aplastamiento sin llegar a la rotura	Zonas de apoyo
Cortante -rodadura -deslizamiento -cilladura	1,7 – 3,0 Baja Se producen en casos muy concretos	Vigas poca luz y gran canto Vigas doble T
Módulos de elasticidad y de cortante	E/G = 16 E// = 7-12000 E.. = E// /30 Debido a la anisotropía se utilizan los módulos de elasticidad (E) en la dirección paralela y perpendicular y el módulo de cortante (G)	

ESTRUCTURES DE FUSTA

Les estructures de fusta massissa i sobretot laminada, són una solució utilitzada en gran nombre de construccions d'obra nova i rehabilitació, ja que es tracte d'un material que presenta unes característiques molt favorables. Les principals, així com els avantatges que suposen les descriu a continuació:

Resistència a ambients agressius: La fusta laminada té una gran resistència als agents corrosius, com per exemple als ambients amb clorurs, per aquest motiu podem trobar cobertes de piscines, plantes químiques, naus per ús agrícola, pont a la muntanya o prop del mar...

Resistent al foc: La fusta ofereix una gran estabilitat envers al foc, ja que es crema molt a poc a poc degut a la protecció natural que ofereix la pròpia superfície calcinada. A més, en cas de col·lapse, aquest no es produeix sense avís previ, doncs sempre hi ha indicis que avisen del perill.

Aïllament tèrmic i acústic: La fusta ofereix una gran absorció acústica i tèrmica, tant en paraments verticals com horitzontals. Aquest fet proporciona un estalvi energètic considerable, i un augment del confort en edificis residencials.

Estalvi energètic: Per convertir la fusta des de matèria primera fins a producte llest per el consum, necessitem una quantitat d'energia molt minsa comparat amb la producció de l'acer o del formigó.

Estructures esveltes: Les estructures de fusta poden utilitzar-se per cobrir petites zones, o per crear edificis amb grans llums, de fins a 100m. En tenir una densitat molt més baixa que d'altres materials, la fusta ens permet dissenyar unes construccions amb pilars molt menys robusts, ja que han de suportar un pes molt menor que si utilitzéssim formigó.

Reciclable: És un material natural que només rep tractaments per poder ser més durable envers la humitat i els agents abiòtics i biòtics. Per aquest motiu és totalment reciclable i no genera residus.

Fàcil i ràpid: La fusta és fàcilment treballable, ja que no necessita de maquinària molt complicada i té una posta en obra molt senzilla. Per aquests motius, l'execució d'estructures de fusta es realitza en menor temps que mitjançant altres materials.

Per tots aquests motius, a part de la bellesa i l'elegància que transmet una estructura de fusta vista, tenim una gran diversitat d'exemples de construccions realitzades amb fusta massissa i fusta laminada encolada. Vegem-ne alguns exemples:

Museu del Juràssic d'Astúries:

Es tracta d'un edifici format per tres volums que simulen la petjada d'un dinosaure tridàctil. La coberta està elaborada de fusta laminada encolada, ja que és el material que millor s'adapta a la forma corbes del disseny. La planta és totalment diàfana amb una llum de 55 metres. Cadascun dels tres volums està format per una espina central en forma d'arc, que descansa sobre uns contraforts laterals de formigó armat. La unió de les tres forma un aiguafons. Com a suports de segon ordre trobem arcs semicirculars perpendiculars a l'espina central.



Vista interior i exterior de l'estructura on s'aprecia el disseny de la coberta de fusta laminada.

Pont de vianants sobre el riu Mendeo, Galicia:

Es tracta d'un pont de 41 metres de longitud i 2,6 d'amplada fet íntegrament de fusta laminada encolada. Es sustenta per dos arcs parabòlics de 10,5 metres d'alçada i 31 metres de llum, que es recolzen sobre uns fonaments de formigó a cada costat del riu. Els arcs tenen una secció de 19 x130cm composta per 52 làmines de 2,5 cm d'espessor. La passarel·la la formen tres bigues de cantell, un de 26m i dos de 7,5 a cada costat, amb una secció de 14x80cm de fusta d'abet. Les bigues de cantell estan unides perpendicularment entre sí cada 2,5m, per bigues en T i l'espai intermedi de pas, es cobreix amb taulons de 30 cm i 6cm d'espessor de Teka. Per unir els arcs parabòlics i la passarel·la es disposen 4 tensors a cada costat de fusta de cedre de Brasil.



CONTINGUT

El projecte és una eina de càlcul d'estructures de fusta. Consta d'un Llibre de Càlcul de l'aplicació Excel i d'un Manual d'Ús. La finalitat d'aquesta eina és facilitar la feina en el càlcul dels Estats Límit Últims i les Unions que s'han de realitzar en un projecte d'estructures de fusta, seguint les especificacions tècniques que marca el Codi Tècnic de l'edificació.

L'estructura del treball està basada en la classificació i l'ordre que marca el CTE, perquè sigui molt més senzilla la utilització d'aquest, consultant la normativa alhora. Per aquest motiu, s'han realitzat els mateixos esquemes que la normativa i s'ha utilitzat la mateixa terminologia, tant en l'ordre dels fulls, com en els coeficients, les magnituds i els valors obtinguts.

El CTE i el conjunt de bibliografia tècnica de referència estan redactats en castellà, així com una bona part dels materials didàctics utilitzats per a la meua formació acadèmica. No obstant, la llengua utilitzada per al projecte ha estat el català. Aquest fet, totalment voluntari, ha comportat un volum de feina complementària considerable ja que el vocabulari és molt especialitzat i han calgut infinites consultes de terminologia.

El Llibre de Càlcul permet fer les comprovacions dels Estats Límit Últims següents: esgotament de seccions sotmeses a tensions orientades segons les direccions principals, sol·licitacions combinades en seccions constants, estabilitat de peces, esgotament de seccions de peces de cantell variable o corbes de fusta laminada encolada i peces rebaixades. Pel que fa a l'apartat d'Unions, és possible comprovar la capacitat de càrrega lateral i axial del conjunt format pels elements mecànics de fixació i la combinació de peces de fusta o de fusta i acer. Els elements de fixació considerats són els de tipus clavilla: claus, grapes, perns, passadors i cargols i els connectors: d'anell o placa i dentats. Les classes de fusta objecte d'aquest estudi són les fustes massisses i les fustes laminades encolades amb les seves particulars classes resistents.

Han quedat fora del projecte els taulers com a material per realitzar estructures, ja que requereixen càlculs i coeficients diferents. En un principi es van voler incloure i fins i tot es van dissenyar els fulls corresponents a Estats Límit Últims, però això feia els fulls molt poc operatius, ja que hi havia una gran quantitat de variables a tenir en compte. Pel que fa a la fusta microlaminada, la normativa adreça als propis subministradors per obtenir-ne la certificació dels valors de les propietats mecàniques, per tant, no és possible estandarditzar els càlculs. Tampoc és possible realitzar combinacions d'accions permanents, amb sobrecàrregues d'ús, de neu, de vent i accidentals. S'hauria de calcular prèviament el valor resultant i després realitzar la comprovació.

També forma part d'aquest projecte el Manual d'Ús. Ens permet consultar qualsevol dada que faci referència a un full de càlcul concret. En aquest document s'hi recull la finalitat de cada comprovació, els valors que hem d'introduir per tal d'obtenir càlculs correctes, els termes i la nomenclatura presents, les relacions de dependència que hi ha entre les diferents variables i coeficients, així com qualsevol especificació que marqui la normativa respecte als valors introduïts o obtinguts en els càlculs i que no siguin evident o es desprenguin automàticament del funcionament del programa. L'elaboració d'aquest manual s'ha hagut de fer un cop tots els fulls de càlculs han estat

totalment acabats i, malgrat el treball addicional que ha representat, ha estat positiu, ja que ha obligat a repassar totes les fórmules, totes les dependències, tots els missatges d'error i les llegendes de terminologia. Això ha minimitzat les possibilitats de trobar errors o incoherències i ha homogeneïtzat el conjunt, unificant termes, format i el disseny.

Per elaborar el Llibre de Càlcul i el Manual d'Ús, s'ha partit de la normativa vigent: el Codi tècnic de l'edificació, que es basa directament en l'Eurocodi 5. Entre els dos textos hi ha poques diferències, per aquest motiu, el manual d'Aitim *Estructuras de madera, diseño y cálculo*, basat en l'Eurocodi 5, ha estat fonamental en aquest projecte, ja que ha servit per a resoldre els nombrosos dubtes, indefinicions i errors d'interpretació que han sorgit del text de la normativa. Aquesta obra explica les normes de manera més detallada, amb exemples i especificacions de totes les comprovacions pas a pas, amb tots els factors i coeficients a tenir en compte en el càlcul. La normativa, en canvi, únicament estableix els intervals que han de complir els índex per tal de donar validesa a la comprovació. Malgrat la consulta d'aquests dos recursos, hi ha hagut dades i/o fórmules que no s'han pogut determinar i ha calgut la recerca per la xarxa en webs especialitzades del sector. En alguns casos s'ha pogut resoldre i en d'altres no. Per aquest motiu, la comprovació de càrrega axial en unions amb perns i de combinacions d'accions axials i laterals no s'han inclòs en aquest treball.

En el moment d'acceptar la proposta de projecte no vaig ser conscient de la magnitud del treball que començava i per aquest motiu he hagut de posposar la presentació. També ha influït en aquest retard, el fet que en la realització del projecte han aparegut dificultats en cadascun dels passos que he seguit. Algunes fan referència a la pròpia comprensió dels continguts, d'altres a les eines informàtiques i d'altres a les fons documentals.

La primera dificultat va ser l'aprenentatge de l'aplicació Excel del paquet d'ofimàtica *Microsoft Office*, versió 2007. Calia dominar les possibilitats de què disposa i de les quals en desconeixia l'existència i el funcionament. A mesura que el projecte anava avançant i calia la definició d'una funció, m'informava mitjançant manuals virtuals o a través de persones de l'entorn amb més nocions sobre el programa. Això em va permetre programar el fulls perquè realitzessin les accions que volia realitzar, però no va evitar que es generessin errors de compilació, que poc a poc, mitjançant proves i comparacions de resultats, s'han anat resolvent perquè es complissin totes les condicions de càlcul que estableix el CTE.

La segona dificultat va ser la comprensió de les estructures de fusta, ja que en el pla d'estudis d'Arquitectura Tècnica només es programen les estructures d'acer i de formigó. La fusta únicament s'estudia com a material de construcció. Molt lligat a la comprensió de les estructures, està la comprensió de la normativa. Un cop llegida molt a fons, considero que és molt imprecisa, ambigua, embolicada i tal i com he comentat, no desenvolupa els passos a seguir per a realitzar les comprovacions. Per aquest motiu ha estat imprescindible la utilització de bibliografia complementària i l'ajuda del tutor del projecte. El conjunt ha fet possible la instrumentalització del Codi tècnic per al càlcul d'estructures de fusta.

Per últim, la inexistència de projectes del mateix caire o de característiques similars, ha fet que no tingués cap punt de referència i hagués "d'anar obrint camí", establint els meus propis objectius i buscant els mitjans per assolir-los.

CONCLUSIÓ

La creació d'aquesta eina implica la instrumentalització de la normativa, pel que fa a estructures de fusta, amb un ús senzill i ràpid. Permetrà determinar si les seccions de fusta compleixen el que determina la normativa vigent, tant pel que fa als Estats Límit Últims, com a les Unions.

Des de l'inici del projecte, es van marcar uns objectius. S'havia d'elaborar una eina ràpida i eficaç per una banda i clara i entenedora per l'altra. Per al primer objectiu es va buscar un disseny fàcil d'utilitzar que, partint d'una entrada inicial de dades, proporcionés automàticament els resultats de les comprovacions requerits. Pel segon objectiu, es van construir els fulls de càlcul amb un software d'ús general, com és l'Excel, de manera que els usuaris del programa, amb nocions bàsiques d'aquest software i del tema, fossin capaços de fer-lo servir amb l'únic ajut dels comentaris, la llegenda i el Manual d'Ús, sense consultar la normativa ni cercar-hi valors. Aquests objectius s'han complert i n'ha resultat un material útil.

La rapidesa i la facilitat d'ús son els avantatges més notables, però no son totes les qualitats d'aquest programa. Permetrà una total transparència de càlcul, mostrant en tot moment els coeficients i factors que intervenen en les operacions, fet que possibilitarà l'anàlisi posterior de les dades obtingudes, per valorar quines han de ser les modificacions a realitzar. Aquesta qualitat marca la diferència amb tot el software existent actualment adaptat a la nova normativa, ja que només permeten conèixer el valor final de la comprovació.

Una de les utilitats pensada des d'un principi, va ser que servís com a annex de càlcul d'un projecte bàsic d'estructures de fusta i, per tant, havia de tenir un format i una estructura formals i estar preparat per permetre la impressió dels fulls de càlcul desitjats.

Amb aquest projecte s'obren les portes per a la creació de projectes complementaris o ampliacions del mateix, com podrien ser la introducció dels taulers dintre de les comprovacions, o l'anàlisi dels sistemes estructurals de fusta i productes derivats.

BIBLIOGRAFIA

Publicacions:

AITIM. *Estructuras de madera: Diseño y cálculo*. 2a ed. Madrid: Aitim, 2003.
ISBN 84-87381-17-0

Normes:

BOE (23/10/2007), núm. 254 i BOE (25/01/2008), núm. 22

“Real Decreto 314/2006 por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Texto refundido con modificaciones del RD 1371/2007, de 19 de octubre, y corrección de errores del BOE de 25 de enero de 2008”. *Documento Básico: Seguridad estructural. Madera*.

Documents en línia:

AITIM. Información general: *Construcción i estructuras de madera*. [En línia]. Madrid
<<http://infomadera.net/empresa/producto/766>> [Consulta: 25 d'Agost 2008]

AULA CLIC. *Curso de Excel 2007*. [En línia].
<<http://www.aulaclik.es/excel2007/>> [Consulta: 9 d'Abril 2008]

MEDIA MADERA. *Galería*. [En línia]. Astúries
<<http://www.mediamadera.com/flash/galeria/diapo.php>> [Consulta: 26 d'Agost 2008]

TERMCAT. *Centre de terminologia*. [En línia]. Barcelona
<http://www.termcat.cat/scripts/rwisapi.dll/@Termcat_dev.env> [Consulta: 20 d'Agost 2008]

TRANSLENDIUM SL. [En línia]. Barcelona
<<http://www.translendum.com/>> [Consulta: 5 de juny 2008]

GENCAT. *Diccionari visual de la construcció*. [En línia]. Catalunya
<http://www10.gencat.net/ptop/AppJava/cat/documentacio/llengua/terminologia/diccvisual.jsp> [Consulta: 25 d'Agost 2008]

MINISTERIO DE VIVIENDA. *Código técnico de la edificación*. [En línia]. Madrid
<http://www.codigotecnico.org/index.php?id=33>> [Consulta: 11 de febrer 2008]

PROGRAMATIUM. *Tutorial de Excel*. [En línia].
<<http://www.programatium.com/excel.htm>> [Consulta: 3 d'abril 2008]

ANNEX

FULLS DE CÀLCUL

[2008]

GALLART I DIUMENGE, A.

TUTOR: LORENTE, S.



*Escola Politècnica
Superior d'Edificació
de Barcelona*

Eina de càlcul per a la comprovació d'estructures de fusta, basada en el *CTE*

[Fulls de càlcul]

*Eina de càlcul per a la comprovació dels Estats Límit Últims i les Unions en estructures de fusta,
segons el CTE SE-M.*

Índex

6 - Estats límit últims

6.1 Esgotament de les seccions sotmeses a tensions orientades segons les direccions principals

- [6.1.2 Tracció uniforme paral·lela a la fibra](#)
- [6.1.3 Tracció uniforme perpendicular a la fibra](#)
- [6.1.4 Compressió uniforme paral·lela a la fibra](#)
- [6.1.5 Compressió uniforme perpendicular a la fibra](#)
- [6.1.6 Flexió simple](#)
- [6.1.7 Flexió esviada](#)
- [6.1.8 Tallant](#)
- [6.1.9 Torsió](#)

6.2 - Sol·licitacions combinades en seccions constants

- [6.2.1 Compressió inclinada respecte la fibra](#)
- [6.2.2 Flexió i tracció axial combinades](#)
- [6.2.3 Flexió i compressió axial combinades](#)
- [6.2.4 Tracció perpendicular i tallant combinats](#)

6.3 - Estabilitat de peces

6.3.1 Vinclament de columnes sol·licitades a flexió composta

- [6.3.2.2.a Peces de secció constant a compressió simple](#)
- [6.3.2.2.b Flexocompressió amb moments flectors addicionals a l'esforç de compressió](#)

6.3.3 Bolcament lateral de bigues

- [6.3.3.3.2 Comprovació de peces de directriu recta i secció constant en flexió simple](#)
- [6.3.3.3.3 Comprovació de peces de directriu recta i secció constant en flexocompressió](#)

6.4 - Esgotament de les seccions en peces de cantell variable o corb de fusta laminada encolada o microlaminada

6.4.2 Bigues de cantell variable i cares sense canvi de pendent

- [6.4.2.1 Tensions de tracció en la vora inclinada](#)
- [6.4.2.2 Tensions de compressió en la vora inclinada](#)

6.4.3 Bigues a dos aigües o amb canvi de pendent en una de les cares

- [6.4.3.b.i Tensions normals de flexió en la zona del vèrtex](#)
- [6.4.3.b.ii Tensions de tracció perpendicular en la zona del vèrtex](#)

6.4.4 Bigues corbes en parts del seu traçat

- [6.4.4.b Tensions de flexió i tracció perpendicular en la zona del vèrtex](#)

6.5 - Peces rebaixades

- [6.5.2 Bigues rebaixades en la zona de recolzament](#)

8 - Unions

8.3 - Unions de tipus clavilla

8.3.2 Claus

[8.3.2.1.2 Càrrega lateral en unions amb claus entre fusta i fusta](#)

[8.3.2.1.4 Càrrega lateral en unions amb claus entre acer i fusta](#)

[8.3.2.2 Càrrega axial en unions amb claus entre fusta i fusta](#)

8.3.3 Grapes

[8.3.3.1.2 Càrrega lateral en unions amb grapes entre fusta i fusta](#)

8.3.4 Perns

[8.3.4.1.2 Càrrega lateral en unions amb perns entre fusta i fusta](#)

[8.3.4.1.4 Càrrega lateral en unions amb perns entre acer i fusta](#)

8.3.5 Passadors

[8.3.5.1.2 Càrrega lateral en unions amb passadors entre fusta i fusta](#)

[8.3.5.1.4 Càrrega lateral en unions amb passadors entre acer i fusta](#)

8.3.6 Cargols

[8.3.6.1.2 Càrrega lateral en unions amb cargols entre fusta i fusta](#)

[8.3.6.2 Càrrega axial en unions amb cargols entre fusta i fusta](#)

8.4 - Unions amb connectors

[8.4.1 Connectors d'anell o de placa](#)

[8.4.2 Connectors dentats](#)

6 - Càlcul dels estats límit últims

6.1 - Esgotament de les seccions sotmeses a tensions orientades segons les direccions principals

6.1.2 Tracció uniforme paral·lela a la fibra

Característiques generals:

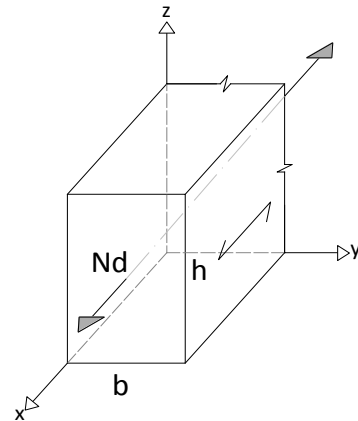
Base (b) 60 mm
Cantell (h) 120 mm
Axil de càlcul (Nd) 15 kN

Classe de fusta: Fusta massissa

Classe de servei: 1 2 3

Classe de duració: Permanent

Classe resistent: C16



Característiques específiques:

$K_H = 1,05$ $K_{mod} = 0,60$
 $f_{t,0,k} = 10$ N/mm² $\gamma_m = 1,30$

Càlculs:

$\sigma_{t,0,d} = 2,08$ N/mm²

$f_{t,0,d} = 4,83$ N/mm²

Resultats:

$I_{t,0} = 43,17\%$ **Correcta**

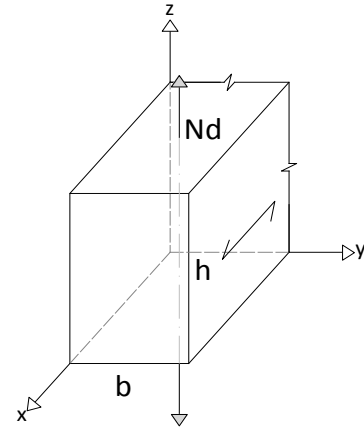
6 - Càlcul dels estats límit últims

6.1 - Esgotament de les seccions sotmeses a tensions orientades segons les direccions principals

6.1.3 Tracció uniforme perpendicular a la fibra

Característiques generals:

Base	200	mm
Cantell	500	mm
Axil de càlcul	8	kN
Volum:	0,1	m ³
Classe de fusta:	Fusta laminada encolada	▼
Classe de servei:	<input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3	
Classe de duració:	Permanent	▼
Classe resistent:	GL28h	▼
Classe de biga:	Biga simple	▼



Característiques específiques:

$$\begin{aligned} K_{vol} &= 0,63 & K_{mod} &= 0,60 \\ K_{dis} &= 1,00 & \gamma_m &= 1,25 \\ ft_{90,g,k} &= 0,45 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Càlculs:

$$\begin{aligned} \sigma_{t,90,g,d} &= 0,08 \text{ N/mm}^2 \\ ft_{90,g,d} &= 0,14 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Resultats:

$$I_{t,90} = 93,03\% \quad \text{Correcta}$$

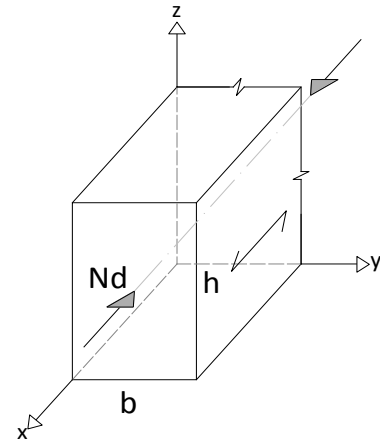
6 - Càlcul dels estats límit últims

6.1 - Esgotament de les seccions sotmeses a tensions orientades segons les direccions principals

6.1.4 Compressió uniforme paral·lela a la fibra

Característiques generals:

Base	100	mm
Cantell	300	mm
Axil de càlcul	120	kN
Classe de fusta:	Fusta laminada encolada ▼	
Classe de servei:	<input type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input checked="" type="radio"/> 3	
Classe de duració:	Permanent ▼	
Classe resistent:	GL24h ▼	



Característiques específiques:

$$K_{mod} = 0,60$$
$$\gamma_m = 1,25$$

$$f_{c,0,g,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

Càlculs:

$$\sigma_{c,0,g,d} = 4,00 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,g,d} = 11,52 \text{ N/mm}^2$$

Resultats:

$$I_{c,0} = 34,72\%$$

Correcta

6 - Càlcul dels estats límit últims

6.1 - Esgotament de les seccions sotmeses a tensions orientades segons les direccions principals

6.1.5 Compressió uniforme perpendicular a la fibra

Característiques generals:

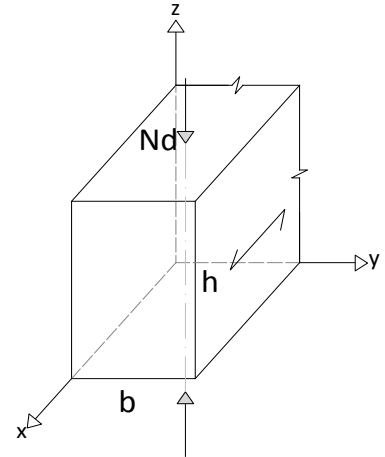
Base 130 mm
Cantell 160 mm
Axil de càlcul 39,2 kN
Longitud de contacte 130 mm

Classe de fusta: Fusta laminada encolada ▼

Classe de servei: 1 2 3

Classe de duració: Curta ▼

Classe resistent: GL24h ▼



Casos condicionants de $k_{c,90}$:

6. No es correspon a cap dels casos anteriors.

Característiques específiques:

$K_{mod} = 0,90$

$\gamma_m = 1,25$

$K_{c,90} = 1,00$

$f_{c,90,g,k} = 2,7$ N/mm²

Càlculs:

$\sigma_{c,90,g,d} = 1,88$ N/mm²

$f_{c,90,g,d} = 1,94$ N/mm²

Resultats:

$I_{t,90} = 96,95\%$

Correcta

6 - Càlcul dels estats límit últims

6.1 - Esgotament de les seccions sotmeses a tensions orientades segons les direccions principals

6.1.6 Flexió simple

Característiques generals:

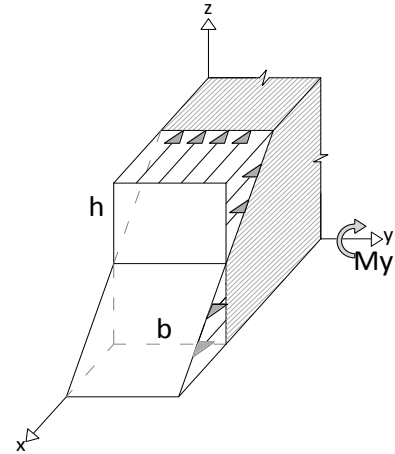
Base 150 mm
Cantell 350 mm
Moment de càlcul 5 mkN

Classe de fusta: Fusta massissa ▼

Classe de servei: 1 2 3

Classe de duració: Llarga ▼

Classe resistent: C14 ▼



Característiques específiques:

$K_{mod} = 0,70$

$K_H = 1,00$

$\gamma_m = 1,30$

$f_{m,k} = 14$ N/mm²

Càlculs:

$\sigma_{m,d} = 1,63$ N/mm²

$f_{m,d} = 7,54$ N/mm²

Resultats:

$I_m = 21,66\%$

Correcta

6 - Càlcul dels estats límit últims

6.1 - Esgotament de les seccions sotmeses a tensions orientades segons les direccions principals

6.1.7 Flexió esbiaixada

Característiques generals:

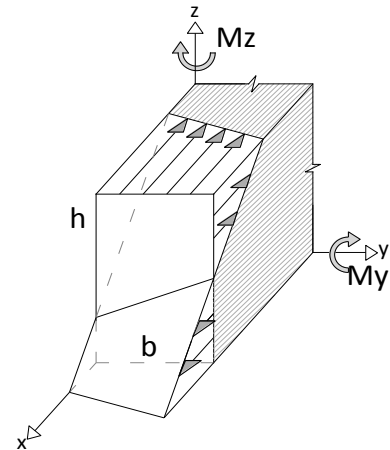
Base	80	mm
Cantell	220	mm
Moment de càlcul eix Y	1,2	mkN
Moment de càlcul eix Z	0,8	mkN

Classe de fusta: Fusta massissa ▼

Classe de servei: 1 2 3

Classe de duració: Permanent ▼

Classe resistent: C18 ▼



Característiques específiques:

$K_{mod} =$ <u>0,60</u>	$K_H =$ <u>1,00</u>
$Y_m =$ <u>1,30</u>	$K_m =$ <u>0,7</u>
$f_{m,k} =$ <u>18</u> N/mm ²	$f_{m,k} =$ <u>18</u> N/mm ²

Càlculs:

$\sigma_{m,y,d} =$ <u>1,86</u> N/mm ²	$\sigma_{m,z,d} =$ <u>3,41</u> N/mm ²
$f_{m,y,d} =$ <u>8,31</u> N/mm ²	$f_{m,z,d} =$ <u>8,31</u> N/mm ²
$I_{m,y} =$ <u>0,22</u>	$I_{m,z} =$ <u>0,41</u>

Resultats:

$I_{m,y} + K_m * I_{m,z} =$ <u>51,11%</u>	Correcta
$I_{m,z} + K_m * I_{m,y} =$ <u>56,70%</u>	Correcta

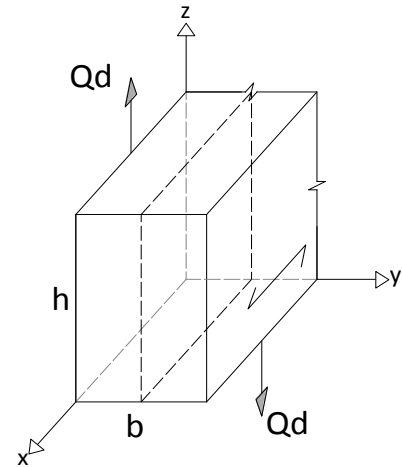
6 - Càlcul dels estats límit últims

6.1 - Esgotament de les seccions sotmeses a tensions orientades segons les direccions principals

6.1.8 Tallant

Característiques generals:

Base	200	mm
Cantell	500	mm
Tallant de càlcul	50	kN
Classe de fusta:	Fusta massissa	<input type="button" value="▼"/>
Classe de servei:	<input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3	
Classe de duració:	Permanent	<input type="button" value="▼"/>
Classe resistent:	C14	<input type="button" value="▼"/>
Classe de tallant:	Tallant paral·lel a la fibra	<input type="button" value="▼"/>



Característiques específiques:

$K_{mod} = 0,60$
 $\gamma_m = 1,30$
 $f_{v,k} = 1,7$ N/mm²

Càlculs:

$\tau_d = 0,75$ N/mm²
 $f_{v,d} = 0,78$ N/mm²

Resultats:

$I_v = 95,59\%$ **Correcta**

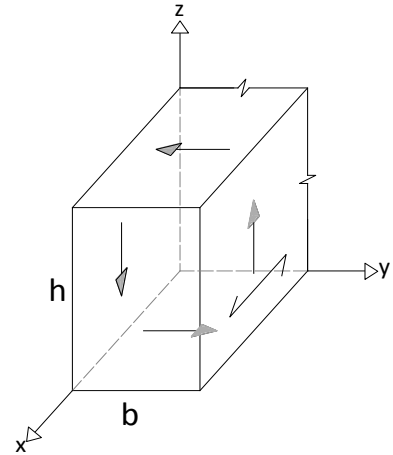
6 - Càlcul dels estats límit últims

6.1 - Esgotament de les seccions sotmeses a tensions orientades segons les direccions principals

6.1.9 Torsió

Característiques generals:

Base	200	mm
Cantell	700	mm
Torçor de càlcul	12,05	mkN
Classe de fusta:	Fusta laminada encolada	<input type="button" value="▼"/>
Classe de servei:	<input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3	
Classe de duració:	Llarga	<input type="button" value="▼"/>
Classe resistent:	GL24h	<input type="button" value="▼"/>



Característiques específiques:

$K_{mod} =$	<u>0,70</u>		$K_{forma} =$	<u>1,5</u>	
$\gamma_m =$	<u>1,25</u>				
$f_{v,g,k} =$	<u>2,7</u>	N/mm ²			

Càlculs:

$T_{tor,d1} =$	<u>1,56</u>	N/mm ²
$T_{tor,d2} =$	<u>1,17</u>	N/mm ²
$f_{v,g,d} =$	<u>2,31</u>	N/mm ²

Resultats:

$I_{tor1} =$	<u>67,87%</u>	Correcta
$I_{tor2} =$	<u>50,83%</u>	Correcta

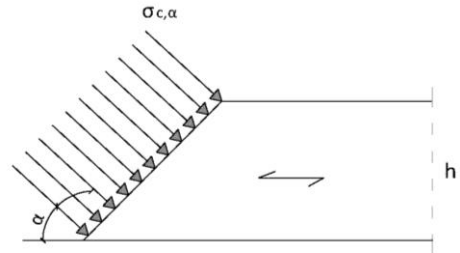
6 - Càlcul dels estats límit últims

6.2 - Sol·licitacions combinades en seccions constants

6.2.1 Compressió inclinada respecta la fibra

Característiques generals:

Secció	2000	mm ²
Axil de càlcul	3	kN
Angle α	60	graus
Classe de fusta:	Fusta laminada encolada	▼
Classe de servei:	<input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3	
Classe de duració:	Permanent	▼
Classe resistent:	GL24h	▼



Característiques específiques:

$$K_{mod} = 0,60$$
$$Y_m = 1,25$$
$$f_{c,0,g,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$
$$f_{c,90,g,k} = 2,7 \text{ N/mm}^2$$

Càlculs:

$$\sigma_{c,\alpha,d} = 1,50 \text{ N/mm}^2$$
$$f_{c,0,g,d} = 11,52 \text{ N/mm}^2$$
$$f_{c,90,g,d} = 1,30 \text{ N/mm}^2$$
$$f_{c,\alpha,d} = 1,67 \text{ N/mm}^2$$

Resultats:

$$I_{c,\alpha} = 90,06\%$$

Correcta

6 - Càlcul dels estats límit últims

6.2 - Sol·licitacions combinades en seccions constants

6.2.2 Flexió i tracció axial combinats

Característiques generals:

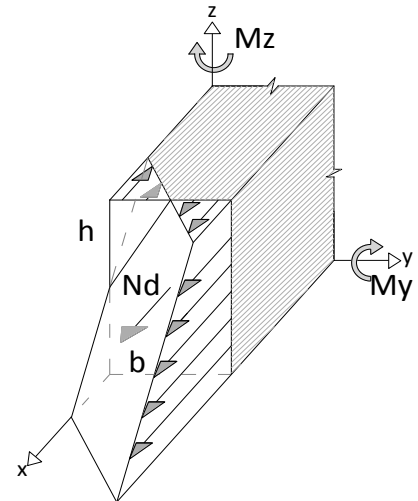
Base	100	mm
Cantell	200	mm
Axil de càlcul	11,76	kN
Moment de càlcul eix Y	2,75	mkN
Moment de càlcul eix Z	0,25	mkN

Classe de fusta: Fusta massissa

Classe de servei: 1 2 3

Classe de duració: Permanent

Classe resistent: C16



Característiques específiques:

$K_{mod} =$	0,60		$K_H =$	1,00	
$Y_m =$	1,30				
$K_m =$	0,7				
$f_{t,0,k} =$	10	N/mm ²	$f_{m,k} =$	16	N/mm ²
$f_{m,k} =$	16	N/mm ²			

Càlculs:

$\sigma_{t,0,d} =$	0,59	N/mm ²	$\sigma_{m,z,d} =$	0,75	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d} =$	4,13	N/mm ²			
$f_{t,0,d} =$	4,62	N/mm ²	$f_{m,z,d} =$	7,38	N/mm ²
$f_{m,y,d} =$	7,38	N/mm ²			
$I_{t,0} =$	0,13		$I_{m,z} =$	0,10	
$I_{m,y} =$	0,56				

Resultats:

$I_{t,0} + I_{m,y} + K_m * I_{m,z} =$	75,71%	Correcta
$I_{t,0} + K_m * I_{m,y} + I_{m,z} =$	62,00%	Correcta

6 - Càlcul dels estats límit últims

6.2 - Sol·licitacions combinades en seccions constants

6.2.3 Flexió i compressió axial combinats

Característiques generals:

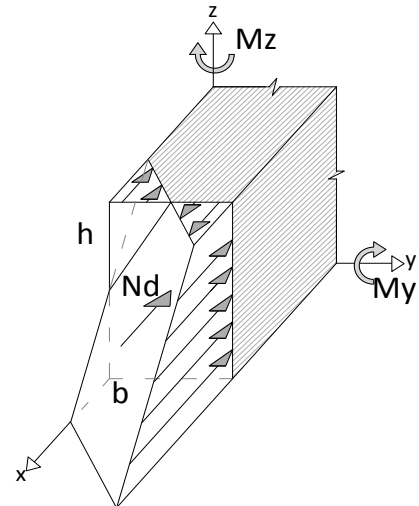
Base	100	mm
Cantell	250	mm
Axil de càlcul	10	kN
Moment de càlcul eix Y	0,5	mkN
Moment de càlcul eix Z	2,1	mkN

Classe de fusta: Fusta massissa

Classe de servei: 1 2 3

Classe de duració: Permanent

Classe resistent: C18



Característiques específiques:

$K_{mod} =$	0,60		$K_H =$	1,00	
$Y_m =$	1,30				
$K_m =$	0,7				
$f_{c,0,k} =$	18	N/mm ²	$f_{m,k} =$	18	N/mm ²
$f_{m,k} =$	18	N/mm ²			

Càlculs:

$\sigma_{c,0,d} =$	0,40	N/mm ²	$\sigma_{m,z,d} =$	5,04	N/mm ²
$\sigma_{m,y,d} =$	0,48	N/mm ²			
$f_{c,0,d} =$	8,31	N/mm ²	$f_{m,z,d} =$	8,31	N/mm ²
$f_{m,y,d} =$	8,31	N/mm ²			
$I_{c,0} =$	0,05		$I_{m,z} =$	0,61	
$I_{m,y} =$	0,06				

Resultats:

$I_{t,0}^2 + I_{my} + K_m * I_{m,z} =$	48,48%	Correcta
$I_{t,0}^2 + K_m * I_{my} + I_{m,z} =$	64,94%	Correcta

6 - Càlcul dels estats límit últims

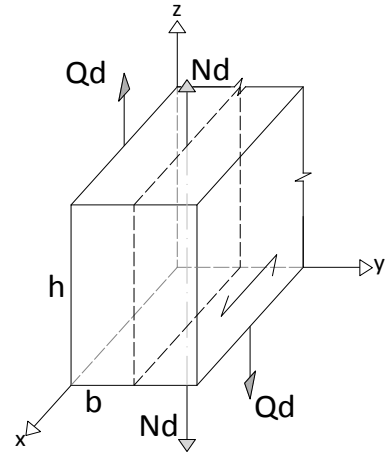
6.2 - Sol·licitacions combinades en seccions constants

6.2.4 Tracció perpendicular i tallant combinats

Característiques generals:

Base	200	mm
Cantell	450	mm
Axil de càlcul	7,5	kN
Volum:	0,10	m ³
Tallant de càlcul	2	kN

Classe de fusta:	Fusta laminada encolada	▼
Classe de servei:	<input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3	
Classe de duració:	Permanent	▼
Classe resistent:	GL32h	▼
Classe de biga:	Biga simple	▼
Classe de tallant:	Tallant perpendicular a la fibra	▼



Característiques específiques:

$K_{vol} = 0,63$	$K_{mod} = 0,60$
$K_{dis} = 1,0$	$\gamma_m = 1,25$
$f_{t,90,g,k} = 0,5$ N/mm ²	$f_{v,g,k} = 1$ N/mm ²

Càlculs:

$\sigma_{t,90,g,d} = 0,08$ N/mm ²	$\tau_d = 0,03$ N/mm ²
$f_{t,90,g,d} = 0,15$ N/mm ²	$f_{v,g,d} = 0,48$ N/mm ²
$I_{t,90} = 0,87$	$I_v = 0,07$

Resultats:

$I_v + I_{t,90} = 94,16\%$	Correcta
----------------------------	----------

6 - Càlcul dels estats límit últims

6.3 - Estabilitat de peces

6.3.2 Vinclament de columnes sol·licitades a flexió composta

6.3.2.2.a Peces de secció constant a compressió simple

Característiques generals:

Base	75	mm
Cantell	200	mm
Axil de càlcul	46,3	kN
Longitud	4,00	m
Eix de treball	z	

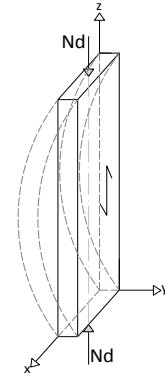
Classe de fusta: Fusta massissa

Classe de servei: 1 2 3

Classe de duració: Permanent

Classe resistent: C16

Sistema estructural: Pilar biarticulat



Característiques específiques:

$K_{mod} =$	0,60		$i_z =$	57,74	mm
$Y_m =$	1,30		$L_{k,z} =$	4,00	m
$f_{c,0,k} =$	17	N/mm ²	$\lambda_z =$	69,28	
			$E_k =$	5,40	kN/mm ²

Càlculs:

$\sigma_{c,0,d} =$	3,09	N/mm ²	$\sigma_{c,crit,d} =$	11,10	N/mm ²
$f_{c,0,d} =$	7,85	N/mm ²	$K_z =$	1,36	
			$\chi_{c,z} =$	0,52	
			$\lambda_{rel,z} =$	1,24	Comprovar l'estat límit

Resultats:

$l_{c,0} / \chi_{c,z} = 75,61\%$ Correcta

6 - Càlcul dels estats límit últims

6.3 - Estabilitat de peces

6.3.2 Vinclament de columnes sol·licitades a flexió composta

6.3.2.2.b Flexocompressió amb moments flectors addicionals a l'esforç de compressió

Característiques generals:

Base	150	mm
Cantell	450	mm
Longitud	5,00	m
Axil de càlcul	40	kN
Moment de càlcul eix Y	5,3	mkN
Moment de càlcul eix Z	2,15	mkN

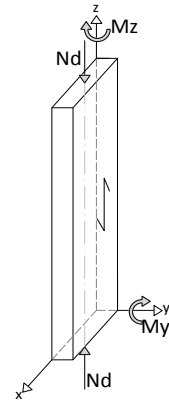
Classe de fusta: Fusta massissa

Classe de servei: 1 2 3

Classe de duració: Permanent

Classe resistent: C16

Sistema estructural: Pilar biarticulat



Característiques específiques:

$K_{mod} = 0,60$
 $Y_m = 1,30$
 $K_m = 0,7$

$i = 129,90$ mm
 $X_c = 0,88$
 $E_k = 5,4$ kN/mm²
 $K_H = 1,00$

$f_{c,0,k} = 17$ N/mm²

$f_{m,k} = 16$ N/mm²

$f_{m,k} = 16$ N/mm²

Càlculs:

$\sigma_{c,0,d} = 0,59$ N/mm²

$\sigma_{m,y,d} = 3,14$ N/mm²

$\sigma_{m,z,d} = 0,42$ N/mm²

$f_{c,0,d} = 7,85$ N/mm²

$f_{m,y,d} = 7,38$ N/mm²

$f_{m,z,d} = 7,38$ N/mm²

$l_{c,0} = 0,08$

$l_{m,y} = 0,43$

$l_{m,z} = 0,06$

Resultats:

$l_{c,0} / X_c + l_{m,y} + K_m * l_{m,z} = 55,11\%$
 $l_{c,0} / X_c + K_m * l_{m,y} + l_{m,z} = 44,08\%$

Correcta

Correcta

6 - Càlcul dels estats límit últims

6.3 - Estabilitat de peces

6.3.3 Bolcament lateral de bigues

6.3.3.2 Comprovació de peces de directriu recta i secció constant en flexió simple

Característiques generals:

Base	300	mm
Cantell	1250	mm
Moment de càlcul eix Y	500	mKn
Longitud	18,00	m

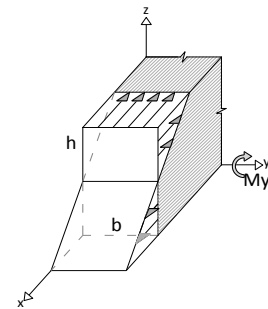
Classe de fusta: Fusta massissa

Classe de servei: 1 2 3

Classe de duració: Permanent

Classe resistent: C24

Classe de biga: Birecolzada amb moments extrems



Característiques específiques:

$K_{mod} = 0,60$	$\beta_v = 1,00$
$\gamma_m = 1,30$	$L_{ef} = 18,00$ m
$E_k = 7,4$ kN/mm ²	$W_y = 7812,50$ cm ⁴
$K_H = 1,00$	$I_z = 281250,00$ cm ⁴
$f_{m,k} = 24$ N/mm ²	$I_{tor} = 954900,00$ cm ⁴
	$G_k = 462,50$ N/mm ²

Càlculs:

$\sigma_{m,d} = 6,40$ N/mm ²	$\sigma_{m,crit} = 21,42$ N/mm ²
$f_{m,d} = 11,08$ N/mm ²	$\lambda_{rel,m} = 1,06$ Comprovació necessària
	$K_{crit} = 0,77$

Resultats:

$I_m / K_{crit} = 75,42\%$ Correcta

6 - Càlcul dels estats límit últims

6.3 - Estabilitat de peces

6.3.3 Bolcament lateral de bigues

6.3.3.3 Comprovació de peces de directriu recta i secció constant en flexocompressió

Característiques generals:

Base	130	mm
Cantell	375	mm
Longitud	5,00	m
Axil de càlcul	0	kN
Moment de càlcul eix Y	15	mkN

Classe de fusta: Fusta massissa

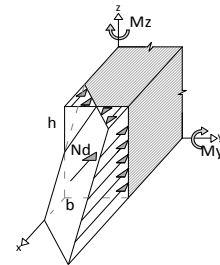
Classe de servei: 1 2 3

Classe de duració: Mitja

Classe resistent: C16

Classe de biga: Voladís amb moment extrem

Sistema estructural: Pilar biarticulat



Característiques específiques:

$K_{mod} = 0,80$	$E_k = 5,4$ kN/mm ²	$\beta_v = 2,00$
$Y_m = 1,30$	$L_{k,z} = 5,00$ m	$L_{ef} = 10,00$ m
$K_H = 1,00$	$\lambda_z = 46,19$	$W_y = 304,69$ cm ⁴
$f_{m,k} = 16$ N/mm ²	$\sigma_{c,crit,d} = 24,98$ N/mm ²	$I_z = 6865,63$ cm ⁴
$f_{c,0,k} = 17$ N/mm ²	$\lambda_{rel,z} = 0,82$	$I_{tor} = 21464,69$ cm ⁴
	$K_z = 0,89$	$G_k = 337,50$ N/mm ²
	$i_y = 108,25$ mm	$\sigma_{m,crit} = 8,45$ N/mm ²
		$\lambda_{rel,m} = 1,38$

Càlculs:

$\sigma_{c,0,d} = 0,00$ N/mm ²	$\sigma_{m,d} = 4,92$ N/mm ²	$K_{crit} = 0,53$
$f_{c,0,d} = 10,46$ N/mm ²	$f_{m,d} = 9,85$ N/mm ²	$\chi_{c,z} = 0,81$
$I_{c,0} = 0,00$	$I_m = 0,50$	

Resultats:

$$(I_m / K_{crit})^2 + I_{c,0} / \chi_{c,z} = 89,71\%$$

Correcta

6 - Càlcul dels estats límit últims

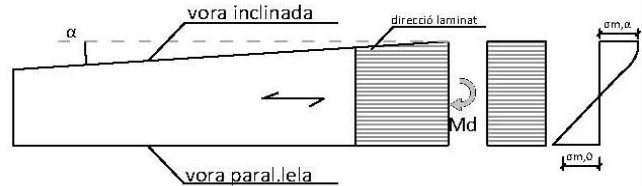
6.4 - Esgotament de les seccions en peces de cantell variable o corb de fusta laminada encolada o microlaminada

6.4.2 Bigues de cantell variable i cares sense canvi de pendent

6.4.2.1 Tensions de tracció en la vora inclinada

Característiques generals:

Base	250	mm
Cantell	550	mm
Moment de càlcul	65	mkN
Volum:	0,45	m ³
Angle α	6,00	graus



Classe de fusta: Fusta laminada encolada ▼

Classe de servei: 1 2 3

Classe de duració: Llarga ▼

Classe resistent: GL28h ▼

Característiques específiques:

$$K_{mod} = 0,70 \quad K_{m,\alpha} = 0,46$$

$$Y_m = 1,25 \quad K_H = 1,01$$

$$K_{vol} = 0,47$$

$$f_{m,g,k} = 28 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,g,k} = 3,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,g,k} = 0,45 \text{ N/mm}^2$$

Càlculs:

$$\sigma_{m,0,d} = 1,23 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{m,\alpha,d} = 4,93 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,g,d} = 15,82 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,g,d} = 1,79 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,g,d} = 0,12 \text{ N/mm}^2$$

Resultats:

$$I_{m,0} = 7,76\% \quad \text{Correcta}$$

$$I_{m,\alpha} / K_{m,\alpha} = 67,81\% \quad \text{Correcta}$$

6 - Càlcul dels estats límit últims

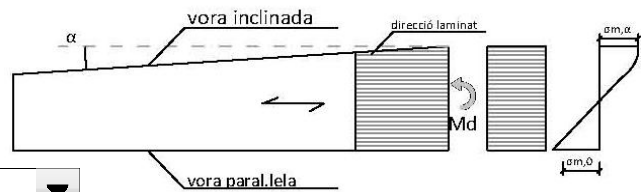
6.4 - Esgotament de les seccions en peces de cantell variable o corb de fusta laminada encolada o microlaminada

6.4.2 Bigues de cantell variable i cares sense canvi de pendent

6.4.2.2 Tensions de compressió en la vora inclinada

Característiques generals:

Base 250 mm
Cantell 550 mm
Moment de càlcul 65 mKn
Angle α 6,00 graus



Classe de fusta: Fusta laminada encolada

Classe de servei: 1 2 3

Classe de duració: Mitja

Classe resistent: GL28h

Característiques específiques:

$K_{mod} = 0,80$
 $Y_m = 1,25$

$K_{m,\alpha} = 0,85$
 $K_H = 1,01$

$f_{m,g,k} = 28$ N/mm²
 $f_{v,g,k} = 3,2$ N/mm²
 $f_{c,90,g,k} = 3$ N/mm²

Càlculs:

$\sigma_{m,0,d} = 1,23$ N/mm²

$\sigma_{m,\alpha,d} = 4,93$

$f_{m,g,d} = 18,08$ N/mm²
 $f_{v,g,d} = 2,05$ N/mm²
 $f_{c,90,g,d} = 1,92$ N/mm²

Resultats:

$I_{m,0} = 6,79\%$
 $I_{m,\alpha} / K_{m,\alpha} = 32,19\%$

Correcta

Correcta

6 - Càlcul dels estats límit últims

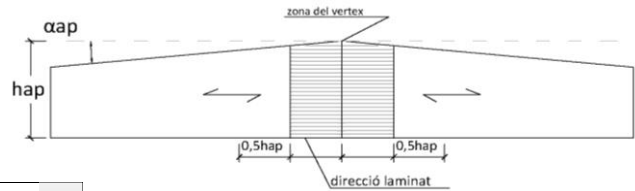
6.4 - Esgotament de les seccions en peces de cantell variable o corb de fusta laminada encolada o microlaminada

6.4.3 Bigues a dos aigües o amb canvi de pendent en una de les cares

6.4.3.b.i Tensions normals de flexió en la zona del vèrtex

Característiques generals:

Base 180 mm
Cantell (h_{ap}) 435 mm
Moment màx. de càlcul 39,45 mKN
Angle α_{ap} 6,00 graus



Classe de fusta: Fusta laminada encolada ▼

Classe de servei: 1 2 3

Classe de duració: Permanent ▼

Classe resistent: GL24h ▼

Característiques específiques:

$K_{mod} = 0,60$ $K_I = 1,21$
 $Y_m = 1,25$ $K_H = 1,03$
 $f_{m,g,k} = 24$ N/mm²

Càlculs:

$\sigma_{m,d} = 8,39$ N/mm²
 $f_{m,g,d} = 11,90$ N/mm²

Resultats:

$I_{m,d} = 70,50\%$ Correcta

6 - Càlcul dels estats límit últims

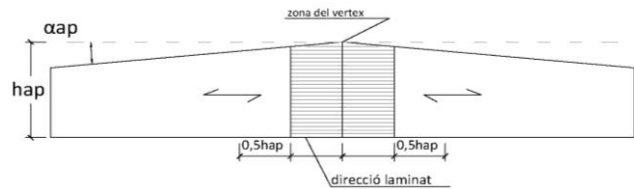
6.4 - Esgotament de les seccions en peces de cantell variable o corb de fusta laminada encolada o microlaminada

6.4.3 Bigues a dos aigües o amb canvi de pendent en una de les cares

6.4.3.b.ii Tensions de tracció perpendicular en la zona del vèrtex

Característiques generals:

Base	210	mm
Cantell (h_{ap})	635,5	mm
Càrrega distribuïda (P_d)	20	kN
Moment màx. de càlcul	120,3	mkN
Angle α_{ap}	6,20	graus
Volum:	0,26	m ³



Classe de fusta: Fusta laminada encolada ▼

Classe de servei: 1 2 3

Classe de duració: Permanent ▼

Classe resistent: GL28h ▼

Característiques específiques:

$$K_{mod} = 0,60 \quad K_{dis} = 1,40$$
$$Y_m = 1,25 \quad K_{vol} = 0,52$$

$$f_{t,90,g,k} = 0,45 \text{ N/mm}^2$$

Càlculs:

$$\sigma_{t,90,g,d} = 0,13 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,90,g,d} = 0,22 \text{ N/mm}^2$$

Resultats:

$$I_{t,90} = 81,07\%$$

Correcta

6 - Càlcul dels estats límit últims

6.4 - Esgotament de les seccions en peces de cantell variable o corb de fusta laminada encolada o microlaminada

6.4.4 Bigues corbes en parts del seu traçat

6.4.4.b Tensions de flexió i tracció perpendicular en la zona del vèrtex

Característiques generals:

Base	120	mm	Càrrega distribuïda (P_d)	0	kN
Cantell (h_{ap})	661,36	mm	Volum zona vèrtex	0,17	m ³
Moment de càlcul	51	m kN	t	38	mm
Angle α_{ap}	0,00	graus			
r_{in}	6330,68	mm			

Classe de fusta: Fusta laminada encolada ▼

Classe de servei: 1 2 3

Classe de duració: Permanent ▼

Classe resistent: GL28h ▼

Classe de biga: Biga a dos aigües amb intradós corb (laminat interromput a la zona vèrtex superior) ▼

Característiques específiques:

$K_{mod} = 0,60$	$K_{dis} = 1,70$
$Y_m = 1,25$	$K_{vol} = 0,57$
	$K_p = 0,02$
	$K_r = 0,93$
$f_{t,90,g,k} = 0,45$ N/mm ²	$K_f = 1,04$
$f_{m,g,k} = 28$ N/mm ²	$K_H = 1,00$

Càlculs:

$\sigma_{t,90,g,d} = 0,14$ N/mm ²	$\sigma_{m,d} = 6,07$ N/mm ²
$f_{t,90,g,d} = 0,22$ N/mm ²	$f_{m,g,d} = 13,44$ N/mm ²

Resultats:

$I_{t,90} = 69,45\%$	Correcta
$I_{m,d} / K_r = 41,83\%$	Correcta

6 - Càlcul dels estats límit últims

6.5 - Peces rebaixades

6.5.2 Bigues rebaixades en la zona de recolzament

Característiques generals:

Base	220	mm	Angle $\beta=$	35	graus
Cantell (h_{ef})	600	mm	$h=$	800	mm
Tallant de càlcul	46,28	kN	$x=$	110	mm

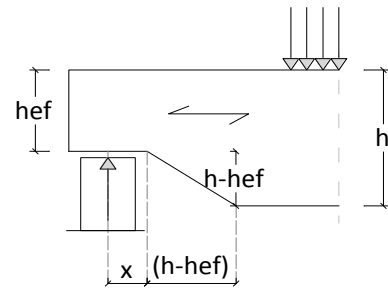
Classe de fusta: Fusta laminada encolada ▼

Classe de servei: 1 2 3

Classe de duració: Curta ▼

Classe resistent: GL24h ▼

Classe de rebaix: Rebaix inferior ▼



Característiques específiques:

$K_{mod}=$	0,90	$K_v=$	0,46
$Y_m=$	1,25	$K_n=$	6,50
$f_{v,g,k}=$	2,7	$\alpha=$	0,75
	N/mm ²	$i=$	1,43

Càlculs:

$\tau_d=$	0,53	N/mm ²
$f_{v,g,d}=$	1,94	N/mm ²

Resultats:

$I_v / K_v=$ 58,46% **Correcta**

8 - Unions

8.3 - Unions de tipus clavilla

8.3.2 Claus

8.3.2.1.2 Càrrega lateral en unions amb claus entre fusta i fusta

Característiques generals:

Tallant de càlcul	5	kN	d=	5	mm
t ₁ =	40	mm	α=	0	graus
t ₂ =	52	mm			
t ₁₂ =	55	mm			

Classe de fusta al cap (1): Fusta massissa ▼

Classe de fusta a la punta (2): Fusta massissa ▼

Classe de servei: 1 2 3

Classe de duració: Llarga ▼

Classe resistent fusta 1: C18 ▼

Classe resistent fusta 2: C18 ▼

Classe de claus: Circulars ▼

Tipologia d'unió: Unió de Tall doble ▼

Característiques específiques:

$K_{mod} = 0,70$	$f_{h,1,k} = 16,19$ N/mm ²
$\gamma_m = 1,30$	$f_{h,2,k} = 16,19$ N/mm ²
$\rho_k = 320$ kg/m ³	$\beta = 1,00$
$\rho_k = 320$ kg/m ³	$M_{y,Rk} = 11819,38$ Nmm
$K_{ef} = 0,93$	
$K_r = 1$	

Càlculs:

$F_{v,Rk} = 1590,86$ N	$f_{h,1,d} = 8,72$ N/mm ²
$F_{v,Rd} = 856,62$ N	$f_{h,2,d} = 8,72$ N/mm ²
$F_{v,ef,Rd} = 5139,70$ N	
	$M_{y,Rd} = 10744,89$ Nmm

Resultats:

No cal realitzar trepant previ

Encavalacament de claus = **No és possible**

Nº eficaç de claus = 6 Per costat

Nº claus = 7 Per costat

Distàncies mínimes:

a ₁ = 60,00 mm	a _{3,c} = 90 ≤ α ≤ 270 mm
a ₂ = 25,00 mm	a _{4,t} = 25,00 mm
a _{3,t} = 75,00 mm	a _{4,c} = 180 ≤ α ≤ 360 mm

8 - Unions

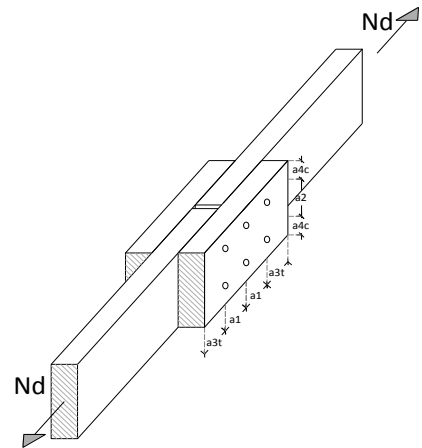
8.3 - Unions de tipus clavilla

8.3.2 Claus

8.3.2.1.4 Càrrega lateral en unions amb claus entre acer i fusta

Característiques generals:

Tallant de càlcul	18	kN	d=	9	mm
			α =	0	graus
t=	10	mm			
t12=	40	mm			
Classe de fusta:	Fusta massissa <input type="button" value="▼"/>				
Classe de servei:	<input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3				
Classe de duració:	Llarga <input type="button" value="▼"/>				
Classe resistent:	C16 <input type="button" value="▼"/>				
Classe de claus:	Circulars <input type="button" value="▼"/>				
Tipologia d'unió:	Unió de Tall doble amb peça central de fusta <input type="button" value="▼"/>				



Característiques específiques:

K_{mod} =	0,70		$f_{h,k}$ =	23,13	N/mm ²
γ_m =	1,30		$M_{y,Rk}$ =	54488,27	Nmm
ρ_k =	310	kg/m ³			
K_{ef} =	0,51				
K_r =	0,60				

Càlculs:

$F_{v,Rk}$ =	4163,80	N	$f_{h,d}$ =	12,46	N/mm ²
$F_{v,Rd}$ =	2242,04	N	$M_{y,Rd}$ =	49534,79	Nmm
$F_{v,ef,Rd}$ =	11210,22	N			

Resultats:

Cal realitzar trepant previ on $0,7d < \emptyset < 0,8d$

Nº eficaç de claus =	5	Per costat
Nº claus =	23	Per costat
Distàncies mínimes:		
a_1 =	37,80	mm
a_2 =	18,90	mm
$a_{3,t}$ =	108,00	mm
$a_{3,c}$ =	$90 \leq a \leq 270$	mm
$a_{4,t}$ =	27,00	mm
$a_{4,c}$ =	$180 \leq a \leq 360$	mm

8 - Unions

8.3 - Unions de tipus clavilla

8.3.2 Claus

8.3.2.2 Càrrega axial en unions amb claus entre fusta i fusta

Característiques generals:

Axil de càlcul	1,5	kN	d=	5	mm
t=	60	mm	d_h=	9	mm
t_{pen}=	40	mm	α=	0	graus

Classe de fusta de la punta: Fusta massissa ▼

Classe de fusta al cap: Fusta massissa ▼

Classe de servei: 1 2 3

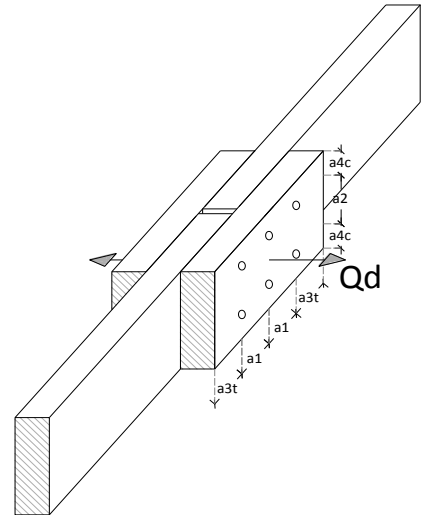
Classe de duració: Llarga ▼

Classe resistent fusta punta: C16 ▼

Classe resistent fusta cap: C16 ▼

Classe de claus: Claus de fust no llis ▼

Disposició dels claus: Càrrega axial amb claus introduïts obliquament ▼



Característiques específiques:

$K_{mod} = 0,70$	$f_{ax,k} = 1,92$ N/mm ²
$\gamma_m = 1,30$	$f_{head,k} = 6,73$ N/mm ²
$\rho_k = 310$ kg/m ³	
$\rho_k = 310$ kg/m ³	

Càlculs:

$F_{ax,Rk} = 384,40$ N	$f_{ax,d} = 1,03$ N/mm ²
$F_{ax,Rd} = 206,98$ N	$f_{head,d} = 3,62$ N/mm ²
$F_{v,ef,Rd} = 1655,88$ N	

Resultats:

No cal realitzar trepant previ

Nº claus = 4 Per costat

Distàncies mínimes:

$a_1 = 30,00$ mm	$a_{3,c} = 90 \leq \alpha \leq 270$ mm
$a_2 = 25,00$ mm	$a_{4,t} = 50,00$ mm
$a_{3,t} = 75,00$ mm	$a_{4,c} = 180 \leq \alpha \leq 360$ mm

8 - Unions

8.3 - Unions de tipus clavilla

8.3.3 Grapes

8.3.3.1.2 Càrrega lateral en unions amb grapes entre fusta i fusta

Característiques generals:

Tallant de càlcul	8	kN	d=	5	mm
t ₁ =	45	mm	α=	45	graus
t ₂ =	70	mm			
t12=	60	mm			

Classe de fusta al cap (1): Fusta laminada encolada ▼

Classe de fusta a la punta (2): Fusta laminada encolada ▼

Classe de servei: 1 2 3

Classe de duració: Llarg ▼

Classe resistent fusta 1: GL24h ▼

Classe resistent fusta 2: GL24h ▼

Tipologia d'unió: Unió de Tall doble ▼

Característiques específiques:

K _{mod} =	0,70	f _{h,1,k} =	19,23	N/mm ²
Y _m =	1,25	f _{h,2,k} =	19,23	N/mm ²
ρ _k =	380	β=	1,00	
ρ _k =	380	M _{y,Rk} =	15759,17	Nmm
K _{ef} =	0,98			

Càlculs:

F _{v,Rk} =	2001,79	N	f _{h,1,d} =	10,77	N/mm ²
F _{v,Rd} =	1121,00	N	f _{h,2,d} =	10,77	N/mm ²
F _{v,ef,Rd} =	8968,00	N	M _{y,Rd} =	14326,52	Nmm

Resultats:

Nº eficaç de grapes =	8	Unitats
Nº grapes =	9	Unitats
Distàncies mínimes:		
a ₁ =	67,68	mm
a ₂ =	75,00	mm
a _{3,t} =	92,68	mm
a _{3,c} =	90 ≤ α ≤ 270	mm
a _{4,t} =	92,68	mm
a _{4,c} =	180 ≤ α ≤ 360	mm

8 - Unions

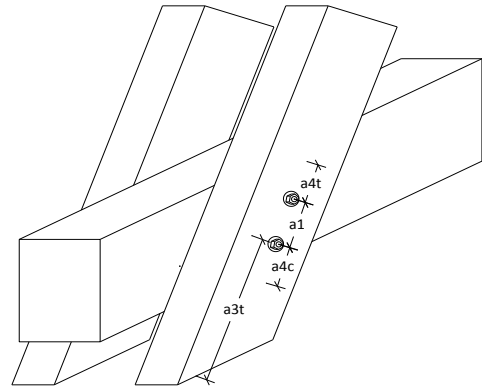
8.3 - Unions de tipus clavilla

8.3.4 Perns

8.3.4.1.2 Càrrega lateral en unions amb perns entre fusta i fusta

Característiques generals:

Tallant de càlcul	8	kN	d=	10	mm
t ₁ =	40	mm	α=	0	graus
t ₂ =	65	mm			
Classe de fusta 1:	Fusta massissa ▼				
Classe de fusta 2:	Fusta massissa ▼				
Classe de servei:	<input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3				
Classe de duració:	Mitja ▼				
Classe resistent fusta 1:	C18 ▼				
Classe resistent fusta 2:	C18 ▼				
Tipologia d'unió:	Unió de Tall doble ▼				



Característiques específiques:

K _{mod} =	0,80		f _{h,0,k1} =	23,62	N/mm ²
Y _m =	1,30		f _{h,α,k2} =	23,62	N/mm ²
ρ _k =	320	kg/m ³			
ρ _k =	320	kg/m ³	β=	1,00	
K ₉₀ =	1,50		M _{y,Rk} =	95545,72	Nmm

Càlculs:

F _{v,Rk} =	7675,20	N	f _{h,0,d1} =	14,53	N/mm ²
F _{v,Rd} =	4723,20	N	f _{h,α,d2} =	14,53	N/mm ²
F _{v,ef,Rd} =	9446,40	N			
			M _{y,Rd} =	86859,75	Nmm

Resultats:

Nº eficaç de perns =	2	Unitats			
Nº perns =	3	Unitats			
Distàncies mínimes:					
a ₁ =	50,00	mm	a _{3,c} =	90 ≤ α ≤ 270	mm
a ₂ =	40,00	mm	a _{4,t} =	30,00	mm
a _{3,t} =	80,00	mm	a _{4,c} =	180 ≤ α ≤ 360	mm

8 - Unions

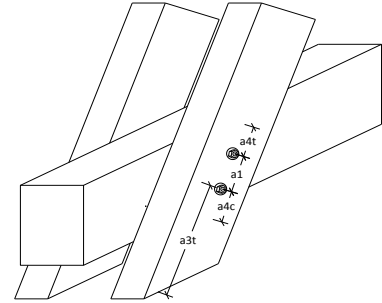
8.3 - Unions de tipus clavilla

8.3.4 Perns

8.3.4.1.4 Càrrega lateral en unions amb perns entre acer i fusta

Característiques generals:

Tallant de càlcul	12	kN	d=	15	mm
t ₁ =	50	mm	α=	0	graus
t=	10	mm			
Classe de fusta:	Fusta massissa ▼				
Classe de servei:	<input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3				
Classe de duració:	Permanent ▼				
Classe resistent:	C16 ▼				
Tipologia d'unió:	Unió de Tall doble amb peça central de fusta ▼				



Característiques específiques:

$K_{mod} = 0,60$	$f_{h,0,k1} = 21,61$ N/mm ²
$Y_m = 1,30$	$f_{h,\alpha,k2} = 21,61$ N/mm ²
$\rho_k = 310$ kg/m ³	$\beta = 1,00$
$K_{90} = 1,58$	$M_{y,Rk} = 274188,05$ Nmm

Càlculs:

$F_{v,Rk} = 8102,63$ N	$f_{h,0,d1} = 9,97$ N/mm ²
$F_{v,Rd} = 3739,67$ N	$f_{h,\alpha,d2} = 9,97$ N/mm ²
$F_{v,ef,Rd} = 14958,69$ N	$M_{y,Rd} = 249261,86$ Nmm

Resultats:

Nº eficaç de perns = 4 Unitats	
Nº perns = 7 Unitats	
Distàncies mínimes:	
a ₁ = 75,00 mm	a _{3,c} = 90 ≤ α ≤ 270 mm
a ₂ = 60,00 mm	a _{4,t} = 45,00 mm
a _{3,t} = 105,00 mm	a _{4,c} = 180 ≤ α ≤ 360 mm

8 - Unions

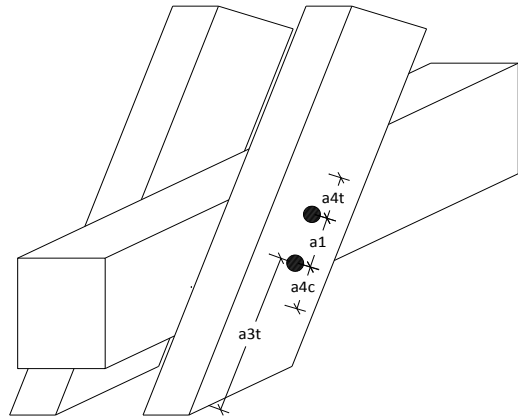
8.3 - Unions de tipus clavilla

8.3.5 Passadors

8.3.5.1.2 Càrrega lateral en unions amb passadors entre fusta i fusta

Característiques generals:

Tallant de càlcul	8	kN	d=	15	mm
t ₁ =	30	mm	α=	75	graus
t ₂ =	50	mm			
Classe de fusta 1:	Fusta laminada encolada ▼				
Classe de fusta 2:	Fusta laminada encolada ▼				
Classe de servei:	<input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3				
Classe de duració:	Permanent ▼				
Classe resistant fusta 1:	GL24h ▼				
Classe resistant fusta 2:	GL24h ▼				
Tipologia d'unió:	Unió de Tall doble ▼				



Característiques específiques:

K _{mod} =	0,60		f _{h,0,k1} =	17,24	N/mm ²
Y _m =	1,25		f _{h,α,k2} =	26,49	N/mm ²
ρ _k =	380	kg/m ³			
ρ _k =	380	kg/m ³	β=	1,54	
K ₉₀ =	1,58		M _{y,Rk} =	123384,62	Nmm

Càlculs:

F _{v,Rk} =	6464,28	N	f _{h,0,d1} =	8,27	N/mm ²
F _{v,Rd} =	3102,85	N	f _{h,α,d2} =	12,71	N/mm ²
F _{v,ef,Rd} =	9308,56	N			
			M _{y,Rd} =	112167,84	Nmm

Resultats:

Pre taladre de Ø=	14,3	mm			
Nº eficaç de passadors =	3	Unitats			
Nº passadors =	4	Unitats			
Distàncies mínimes:					
a ₁ =	52,76	mm	a _{3,c} =	90 ≤ α ≤ 270	mm
a ₂ =	45,00	mm	a _{4,t} =	58,98	mm
a _{3,t} =	105,00	mm	a _{4,c} =	180 ≤ α ≤ 360	mm

8 - Unions

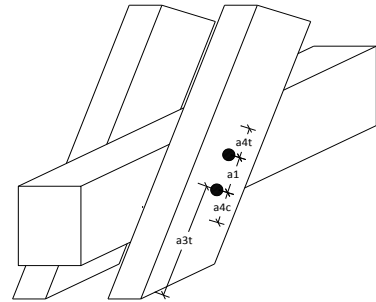
8.3 - Unions de tipus clavilla

8.3.5 Passadors

8.3.5.1.4 Càrrega lateral en unions amb passadors entre acer i fusta

Característiques generals:

Tallant de càlcul	8	kN	d=	15	mm
t ₁ =	50	mm	α=	90	graus
t=	8	mm			
Classe de fusta:	Fusta massissa ▼				
Classe de servei:	<input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3				
Classe de duració:	Permanent ▼				
Classe resistent:	C18 ▼				
Tipologia d'unió:	Unió de Tall doble amb peça central de fusta ▼				



Característiques específiques:

K _{mod} =	0,60		f _{h,0,k1} =	14,16	N/mm ²
Y _m =	1,30		f _{h,α,k2} =	22,30	N/mm ²
ρ _k =	320	kg/m ³			
K ₉₀ =	1,58		β=	1,58	
			M _{y,Rk} =	123384,62	Nmm

Càlculs:

F _{v,Rk} =	5310,48	N	f _{h,0,d1} =	6,54	N/mm ²
F _{v,Rd} =	2450,99	N	f _{h,α,d2} =	10,29	N/mm ²
F _{v,ef,Rd} =	9803,96	N			
			M _{y,Rd} =	112167,84	Nmm

Resultats:

Pre taladre de Ø=	14,3	mm			
Nº eficaz de passadors =	4	Unitats			
Nº passadors =	4	Unitats			
Distàncies mínimes:					
a ₁ =	45,00	mm	a _{3,c} =	1575,00	mm
a ₂ =	45,00	mm	a _{4,t} =	60,00	mm
a _{3,t} =	105,00	mm	a _{4,c} =	180 ≤ α ≤ 360	mm

8 - Unions

8.3 - Unions de tipus clavilla

8.3.6 Cargols

8.3.6.1.2 Càrrega lateral en unions amb cargols entre fusta i fusta

Característiques generals:

Tallant de càlcul	10	kN	$d_{ef} =$	6	mm
$t_1 =$	40	mm	$\alpha =$	110	graus
$t_2 =$	65	mm			

Classe de fusta 1: Fusta massissa

Classe de fusta 2: Fusta massissa

Classe de servei: 1 2 3

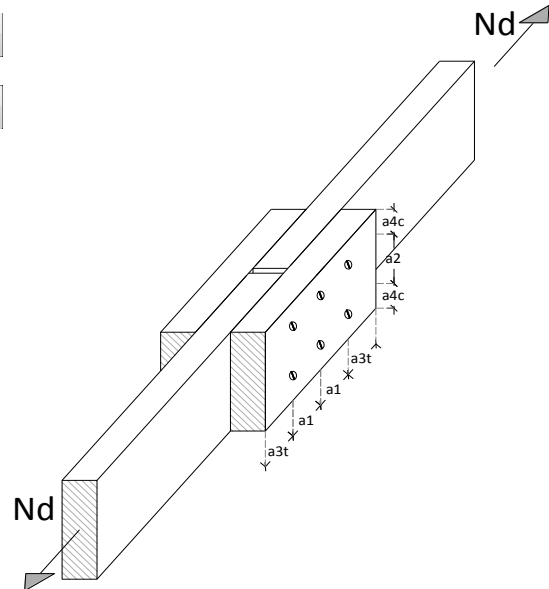
Classe de duració: Llarga

Classe resistent fusta 1: C20

Classe resistent fusta 2: C20

Classe de cargol: Tija roscada

Tipologia d'unió: Unió de Tall doble



Característiques específiques:

$K_{mod} =$	0,70		$f_{h,1,k} =$	25,44	N/mm ²
$\gamma_m =$	1,30		$f_{h,2,k} =$	25,44	N/mm ²
$\rho_k =$	330	kg/m ³	$\beta =$	1,00	
$\rho_k =$	330	kg/m ³	$M_{y,Rk} =$	18987,41	Nmm

Càlculs:

$F_{v,Rk} =$	2903,66	N	$f_{h,1,d} =$	13,70	N/mm ²
$F_{v,Rd} =$	1563,51	N	$f_{h,2,d} =$	13,70	N/mm ²
$F_{v,ef,Rd} =$	10944,56	N	$M_{y,Rd} =$	17261,28	Nmm

Resultats:

Pre taladre de la part llisa (mm) $\varnothing =$	6,0
Pre taladre de la part roscada (mm) $\varnothing =$	4,2
Nº eficaç de cargols =	7 Unitats
Nº cargols =	15 Unitats
Distàncies mínimes:	
$a_1 =$	44,36 mm
$a_2 =$	30,00 mm
$a_{3,t} =$	$-90 \leq \alpha \leq 90$ mm
$a_{3,c} =$	60,00 mm
$a_{4,t} =$	58,19 mm
$a_{4,c} =$	$180 \leq \alpha \leq 360$ mm

8 - Unions

8.3 - Unions de tipus clavilla

8.3.6 Cargols

8.3.6.2 Càrrega axial en unions amb cargols entre fusta i fusta

Característiques generals:

Axil de càlcul	1,5	kN	d=	5	mm
t ₁ =	25	mm	α=	75	graus
t ₂ =	35	mm			

Classe de fusta 1: Fusta massissa

Classe de fusta 2: Fusta massissa

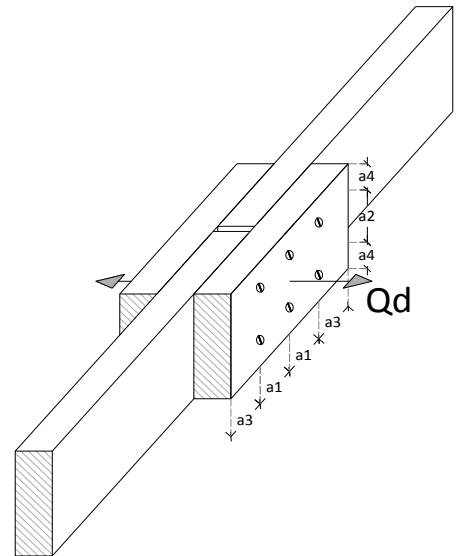
Classe de servei: 1 2 3

Classe de duració: Llarga

Classe resistent fusta 1: C16

Classe resistent fusta 2: C18

Tipologia d'unió: Unió de Tall simple



Característiques específiques:

K _{mod} =	0,70	l _{ef} =	25,00	mm	
Y _m =	1,30	f _{ax,k} =	11,65	N/mm ²	
ρ _k =	310	kg/m ³	f _{ax,α,k} =	11,28	N/mm ²
ρ _k =	320	kg/m ³			

Càlculs:

F _{ax,α,RK} =	2832,37	N	f _{ax,d} =	6,27	N/mm ²
F _{ax,α,Rd} =	1525,12	N	f _{ax,α,d} =	6,07	N/mm ²

Resultats:

Pre taladre de la part llisa (mm) Ø= No necessari

Pre taladre de la part roscada (mm) Ø= No necessari

Nº efiçaç de cargols = 4 Unitats

Nº cargols = 5 Unitats

Distàncies mínimes:

a ₁ =	20,00	mm	a _{t2} =	20,00	mm
a ₂ =	20,00	mm	a _{t1} =	20,00	mm
a ₃ , a ₄ =	20,00	mm	a _{t3} , a _{t4c} =	12,50	mm

8 - Unions

8.4 - Unions amb connectors

8.4.1 Connectors d'anell o de placa

Característiques generals:

Tallant de càlcul	8	kN	$h_e=$	12	mm
$t_1=$	38	mm	$\alpha=$	90	graus
$t_2=$	65	mm	$d_c=$	38	mm
$k_a=$	1		$d=$	12	mm

Classe de fusta 1: Fusta massissa ▼

Classe de fusta 2: Fusta massissa ▼

Classe de servei: 1 2 3

Classe de duració: Llarga ▼

Classe resistent fusta 1: C18 ▼

Classe resistent fusta 2: C22 ▼

Classe de connector: Unió amb connectors d'anell A (fusta-fusta) ▼

Tipologia d'unió: Unió de Tall simple ▼

Característiques específiques:

$K_{mod}=$	0,70		$k_1=$	1,00		$f_{h,0,k1}=$	16,04	N/mm ²
$\gamma_m=$	1,30		$k_2=$	0,75		$f_{h,\alpha,k2}=$	23,09	N/mm ²
$\rho_k=$	320	kg/m ³	$k_3=$	0,94				
$\rho_k=$	340	kg/m ³	$k_4=$	1,00		$\beta=$	1,44	
$k_{90}=$	1,34					$M_{y,Rk}=$	153490,85	Nmm
$K_{90}=$	1,53							

Càlculs:

$F_{v,0,Rk}=$	5794,97	N	$F_{v,Rk}=$	8057,21	N
$F_{\alpha,Rk}=$	4957,20	N	$F_{v,Rd}=$	4338,50	N
$F_{\alpha,Rd}=$	2669,26	N			
			$F_{v,\alpha,Rd}=$	14015,53	N

Resultats:

Nº connectors=	2	Unitats			
Distàncies mínimes:					
$a_1=$	45,60	mm	$a_{3,c}=$	58,19	mm
$a_2=$	45,60	mm	$a_{4,t}=$	28,17	mm
$a_{3,t}=$	57,00	mm	$a_{4,c}=$	$180 \leq \alpha \leq 360$	mm

8 - Unions

8.4 - Unions amb connectors

8.4.2 Connectors dentats

Característiques generals:

Tallant de càlcul	8	kN	$h_e=$	12	mm
$t_1=$	40	mm	$\alpha=$	90	graus
$t_2=$	65	mm	$d_c=$	36	mm
			$d=$	12	mm
Classe de fusta 1:	Fusta massissa ▼				
Classe de fusta 2:	Fusta massissa ▼				
Classe de servei:	<input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3				
Classe de duració:	Mitja ▼				
Classe resistent fusta 1:	C20 ▼				
Classe resistent fusta 2:	C20 ▼				
Classe de connector:	Unió amb connectors dentats dobles (C10 - C11) ▼				
Tipologia d'unió:	Unió de Tall simple ▼				

Característiques específiques:

$K_{mod}=$	0,80		$k_1=$	1,00		$f_{h,0,k1}=$	15,56	N/mm ²
$\gamma_m=$	1,30		$k_2=$	1,00		$f_{h,\alpha,k2}=$	23,81	N/mm ²
$\rho_k=$	330	kg/m ³	$k_3=$	0,94				
$\rho_k=$	330	kg/m ³				$\beta=$	1,53	
$k_{90}=$	1,34					$M_{y,Rk}=$	51803,16	Nmm
$K_{90}=$	1,53							

Càlculs:

$F_{\alpha,Rk}=$	5091,43	N	$F_{v,Rk}=$	5812,75	N
$F_{\alpha,Rd}=$	3133,19	N	$F_{v,Rd}=$	3577,08	N
			$F_{v,\alpha,Rd}=$	13420,53	N

Resultats:

Nº connectors=	2	Unitats			
Distàncies mínimes:					
$a_1=$	43,20	mm	$a_{3,c}=$	55,13	mm
$a_2=$	43,20	mm	$a_{4,t}=$	26,69	mm
$a_{3,t}=$	72,00	mm	$a_{4,c}=$	180 ≤ α ≤ 360	mm