

TÍTULO:

*“ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DE LA UNIÓN POR EMBARBILLADO
EN ESTRUCTURAS DE MADERA TRADICIONALES”.*



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID (UVA).
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR ARQUITECTURA VALLADOLID (ETSAVA).
GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA.

ALUMNO. MARÍA RIOL SAN JOSÉ.
TUTOR. GAMALIEL LÓPEZ RODRÍGUEZ.
- SEPTIEMBRE, 2019-

RESUMEN

Optimizar la tradición.

Este trabajo trata del estudio, estandarización y perfeccionamiento de la unión por embarbillado.

A partir de un regreso al uso de materiales naturales, como es la madera, se pretende que con el estudio de las reglas carpinteras y apoyándonos en las nuevas tecnologías seamos capaces de desarrollar un método científico con el que dar mejores y eficientes soluciones a problemas concretos.

Para ello, y ayudándonos de proceso de cálculo de esta unión que sigue el CTE SE-M, se desarrolla una hoja de cálculo Excel la cual analiza las distintas características tanto del embarbillado simple como del de talón y se estudia las distintas variaciones del embarbillado simple frontal, concluyendo con las soluciones más óptimas en esta tipología.

Palabras Clave: madera, unión tradicional, unión carpintera, embarbillado, análisis, optimización, Excel.

ABSTRACT

To improve the tradition.

This paper aims to study, standardization and optimize the cogging joint.

From a return to the use of natural materials, such as wood, it is purport, with the study of carpentry rules and supporting on new technologies, being able to develop a scientific method which grant better and efficient solutions for specific problems.

To carry this out, being guided with the calculation process of this union that follows in the CTE SE-M, lit is made an Excel which analyzes the different characteristics of both, front area and rear area cogging joint, and studies the different variations of front area cogging joint, closing with the most optimal solutions in this typology.

Keywords: wood, traditional union, carpentry joint, cogging joint, analysis, optimization, Excel.

1	ANTECEDENTES	4
2	LA MADERA	5
2.1	DEFINICIÓN	5
2.2	ESTADO DEL ARTE	5
2.3	MADERA COMO MATERIAL	8
2.3.1	PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA	8
2.3.2	PROPIEDAS FÍSICAS DE LA MADERA	10
2.4	LA MADERA EN LA CONSTRUCCIÓN	12
2.4.1	TIPOS DE MADERA	12
3	UNIONES DE MADERA	16
3.1	ESTADO DEL ARTE	16
3.2	PRECEDENTES	18
3.3	TIPOLOGÍA DE UNIONES	20
3.3.1	UNIONES MECÁNICAS	20
3.3.2	UNIONES CARPINTERAS / UNIONES TRADICIONALES	22
3.3.3	UNIONES ENCOLADAS (ADHESIVOS)	28
3.3.4	UNIONES HÍBRIDAS	29
4	EMBARBILLADO	30
4.1	DEFINICIONES	30
4.2	ESTADO DEL ARTE	30
4.3	EMBARBILLADO (ENSAMBLE POR BARBILLA Y REBAJE)	31
4.4	TIPOLOGÍA DE EMBARBILLADO	32
4.4.1	EMBARBILLADO SIMPLE	32
4.4.2	EMBARBILLADO DOBLE	38
4.5	DIMENSIONADO	41
4.5.1	NORMATIVA:	41
4.5.2	METODOLOGÍA	41
4.5.3	EMBARBILLADO SIMPLE	42
4.5.4	EMBARBILLADO DOBLE	55
4.6	EJEMPLOS EMBARBILLADO	59
4.6.1	IGLESIA SAN CRISTÓBAL EN PRÁDANOS DE OJEDA. PALENCIA.	59
4.6.2	CARTUJA DE MIRAFLORES. BURGOS.	63
4.7	ESTUDIO DE EMBARBILLADO SIMPLE FRONTAL	65
5	BASE EXCEL	77
5.1	BASE EXCEL EMBARBILLADO SIMPLE FRONTAL	78
5.2	BASE EXCEL EMBARBILLADO SIMPLE TALÓN	79
5.3	APLICACIÓN BASE EXCEL EMBARBILLADO SIMPLE FRONTAL	80
	(CRESPO; GUAITA; LORENZANA; VILLAR, 2015)	80
5.3.1	EMBARBILLADO FRONTAL SIMPLE	82
6	NOMENCLATURA	89
7	BIBLIOGRAFÍA	91

1 ANTECEDENTES

En las uniones carpinterías existen muchos estudios sobre las uniones mecánicas, en parte realizados por los fabricantes de los herrajes para facilitar el uso y convencer al usuario.

En uniones tradicionales no hay casi estudios, esto se debe a la falta de uso que ha tenido últimamente la madera, sobretodo en las uniones, quedando sustituida por las uniones mecánicas y solo estudiando las tradicionales para la rehabilitación.

Entre los pocos trabajos que existen, siendo nuestro tema a tratar el ensamble por embarbillado, destacamos algunos que están vinculados al estudio experimental y simulación numérica, como es el *"Análisis experimental y por elementos finitos del estado tensional de uniones tradicionales por embarbillado simple y doble en madera estructural"* (Crespo; Guaita; Lorenzana; Villar, 2015) del que nos hacemos eco y aportamos nuestro estudio del embarbillado simple frontal.

También destacamos en embarbillado simple: (Parisi y Piazza, 2002), (Villar et al., 2007), (Villar et al., 2008).

En combinación del embarbillado simple con la unión caja-espiga: (Palma et al., 2010), (Koch et al., 2013), (Feio et al., 2014).

El embarbillado doble solo se ha encontrado un trabajo de simulación numérica (Parisi y Cordié, 2010) que el estudio (Crespo; Guaita; Lorenzana; Villar, 2015) ha seguido y completado realizando la parte experimental.

Nuestro estudio se encuentra solo en el ámbito teórico, tratando de conseguir una optimización teórica del embarbillado simple, es por esto que en nuestros antecedentes se encuentran estudios de aplicación de la normativa del código técnico y su evolución hasta ella como es: Documento de Aplicación del CTE, *"Diseño y Cálculo de Uniones en Estructuras de Madera"*. (Fuente: Argüelles; Arriaga; Íñiguez; Esteban; Fernández. MADERIA 2011). Y en menor medida *"Capítulo 14. Uniones carpinteras: cálculo"*.

También quiero destacar el TFG *"Análisis del Diseño y el Comportamiento Mecánico, así como el Cálculo y Optimización de una Unión Tradicional: el Embarbillado Simple"* (Rodríguez González, Fernando, 2018) de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Valladolid.

Las imágenes son en su mayoría adaptaciones de figuras (Argüelles; Arriaga; Íñiguez; Esteban; Fernández. MADERIA 2011) y (Argüelles, 2010).

2 LA MADERA

2.1 DEFINICIÓN

Real Academia de la lengua Española (RAE):
" f. Parte sólida de los árboles cubierta por la corteza."

2.2 ESTADO DEL ARTE

La madera forma parte de las edificaciones de maneras muy diversas: estructuras integrales, elementos parciales (pilares, vigas, brochales, viguetas, correas, pares, aleros, etc.), elementos auxiliares (encofrados, andamiajes, cimbras, apuntalados, apeos, etc.), carpinterías, escaleras, elementos de mobiliario, etc.

- Es el material de construcción más antiguo que existe, se empleaba como único componente en los primeros refugios.

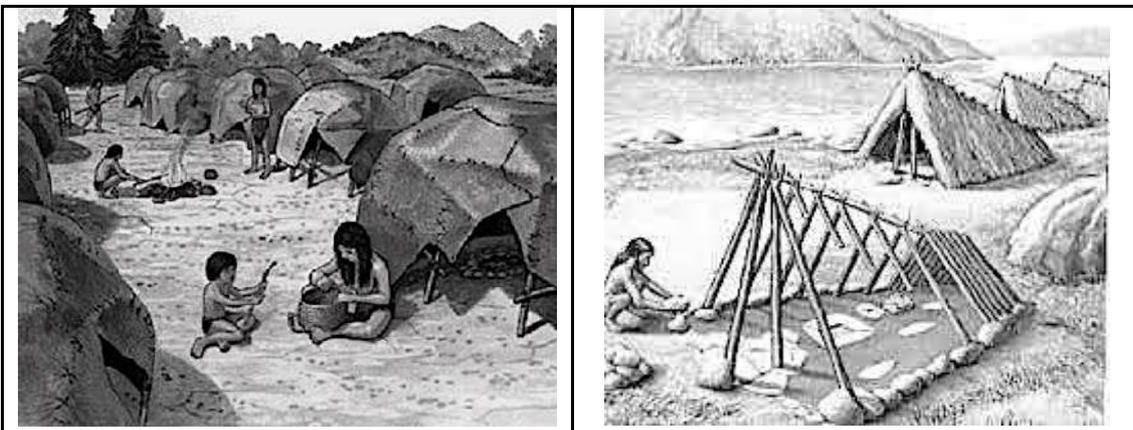


Fig. 1. y Fig. 2. Uso de la madera en los primeros refugios.

La construcción con madera y fardos de paja sigue teniendo lugar en etnias aborígenes del Amazonas o los papúes de Nueva Guinea.

- Las herramientas de piedra afilada permitieron cortar los troncos haciendo de este un elemento más sólido.

La casa grande mesolítica data de 10.000 años de antigüedad en Gran Bretaña, a día de hoy es una de las estructuras más grandes construidas con madera.



Fig. 3. y Fig. 4. Casa Mesolítica.

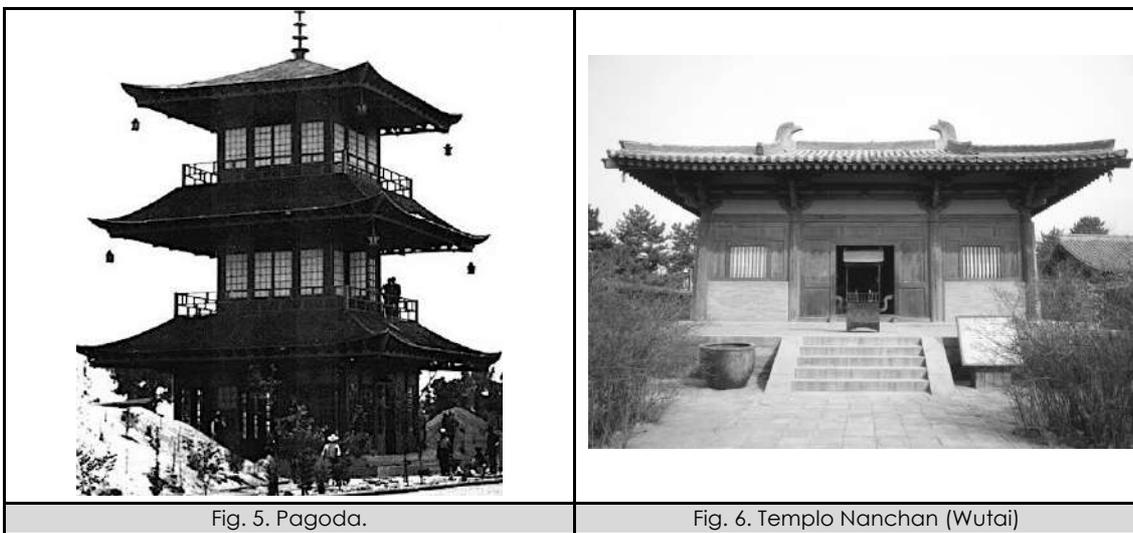
- El zarzo y tiras de maderas entretejidas con materiales adhesivos se han utilizado para construir paredes durante 6000 años. Esta construcción tiene lugar en pueblos celtas tradicionales, perviviendo en la tradición de Galicia y Asturias.

El tratado más antiguo sobre construcción titulado 'De architectura', escrito por Marco Vitrubio sobre el año 25 a.C., recoge las primeras descripciones sobre la composición, cualidades y usos de la madera, la influencia de la época de poda y las características frente a los xilófagos.

- Grecia desarrolla la carpintería de armar; construcción y ensamble de piezas que conforman sistemas complejos, forjados o entramados horizontales, entramados de vigas y pilares y sistemas de cubierta.

Edificaciones denominadas pagodas en China y Japón; construcción con un marco de madera sobre una base de piedra.

Ejemplo: Templo Nanchan (Wutai), construcción de madera más antigua de China, año 782.



- Madera como única solución del cerramiento superior hasta el empleo del acero en la segunda mitad del siglo XIX. El acero mejoró las herramientas existentes y a partir de este momento se empieza a utilizar como método de unión.

La supuesta combustibilidad de la madera hizo que se fuera relegando su uso a favor de materiales con aspecto más sólido como son el adobe, ladrillos de arcilla cocida, piedra o mármol. Esto se da en la zona mediterránea de Europa, herencia de los romanos. En países del norte de Europa, especialmente los escandinavos, y en EEUU siempre ha sido el principal material de construcción. A partir de la aplicación de tratamientos se recupera la fiabilidad por sus cualidades isotérmicas, sostenibilidad y buen comportamiento en caso de incendio.

- La creación de ciudades de forma rural o arquitectura verde propician un regreso de materiales, como es la madera, contrarrestando una realidad llena de vidrio y hormigón.
- En la actualidad es tendencia en la construcción el uso de materiales renovables que se puedan extraer de la naturaleza. Por temas de sostenibilidad ambiental, explotación y consumo responsable se pone a la madera en el punto de mira.

La madera, en contra de lo establecido, es un buen material sostenible medioambientalmente. Por su capacidad de almacenamiento de carbono, reciclabilidad, renovabilidad de materias primas y, en comparación a otros materiales de construcción, el bajo uso de materiales fósiles.

Quiero destacar la organización internacional Forest Stewardship Council (FSC) que reúne tanto a empresas consumidoras y comercializadoras de madera como a representantes de organizaciones medioambientales.

Esta organización trata de acabar con los mitos asociados al uso de la madera en construcción: el tema de la sostenibilidad de la madera en la edificación, teniendo en cuenta su ciclo de vida, la huella ecológica y su aportación a mejorar las condiciones derivadas del cambio climático evitando el riesgo a la deforestación por medio de la creación de explotaciones de bosques artificiales, especialmente de pino, para abastecer la demanda de madera. Conocimientos técnicos para la construcción, como por ejemplo la certificación y la diferencia económica de sistemas constructivos (madera y hormigón o acero).

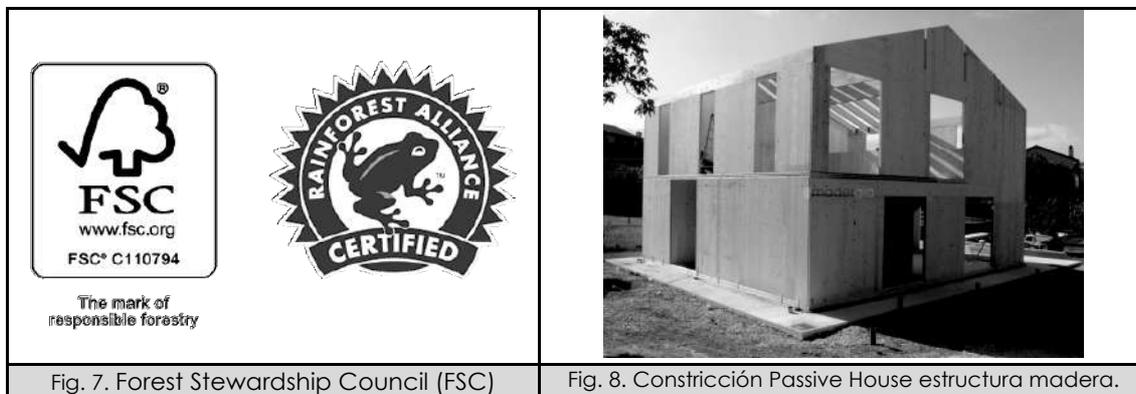
- Passive House: es una de las innovaciones constructivas del momento. Utiliza los recursos de la arquitectura bioclimática combinados con una eficiencia energética muy superior a la empleada en la construcción tradicional.

Una de las opciones es que sean de estructura de madera, con lo que se consigue:

- Mayor aislamiento térmico, 15 veces más potente que un muro de hormigón.
- Absorbe o cede humedad al entorno, manteniendo una humedad óptima.
- Grandes beneficios para el medio ambiente: materia prima ecológica, natural y sostenible. Material reciclable y biodegradable.
- Bajo costo económico.
- Rapidez constructiva.

Como elemento estructural se está comercializando en 2 tipologías:

- Sistema de entramado ligero. Elementos ligeros de madera trabados entre sí. Estructura en forma de "cajas" cerrados por paneles de madera o fibra, se aprovecha la cavidad entre estos para incorporar el aislamiento e instalaciones.
- Sistema de paneles CLT. Muros de madera contralaminados que, conformados en obra, funcionan como muros de carga. El aislamiento y el acabado superficial de la fachada se pondrán a posteriori en la zona exterior.



2.3.1 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA

2.3.1.1 HETEROGENEIDAD

Se pueden diferenciar dos niveles de análisis de la estructura: Macroscópico y microscópico.

MACROSCÓPICO: observación visual de las distintas capas. Se clasifica en:

- **Duramen:** zona interna, mayor antigüedad y resistencia. Función estructural.
- **Albura:** capa externa bajo la corteza, madera joven superpuesta a la existente. Función: transporte de la savia. Ataque de agentes bióticos por ser tan porosa.
- **Cambium:** capa entre la albura y la corteza. División de células para crear nuevas, de la albura hacia el interior o del liber al exterior.
- **Corteza:** capa más externa. Función protectora del árbol.
- **Radios medulares:** células de desarrollo radial. Función de comunicación y transporte de nutrientes.

MICROSCÓPICO: La madera es un elemento heterogéneo.

Forma parte de un organismo vivo compuesto por células que llevan a cabo las funciones fundamentales: conducción de la savia; transformación y almacenamiento de los nutrientes; además de conformar la estructura portante.

Estas células son un haz de tubos huecos de gran longitud, orientados en dirección longitudinal, unidos a través de las paredes por materia intercelular denominada lignina y trabadas por células en la dirección perpendicular formando los radios leñosos.

Los tubos huecos permiten la conducción de los nutrientes, disminuir su peso y poseen un alto rendimiento para resistir tensiones de tracción (100 N/mm^2) y de compresión.

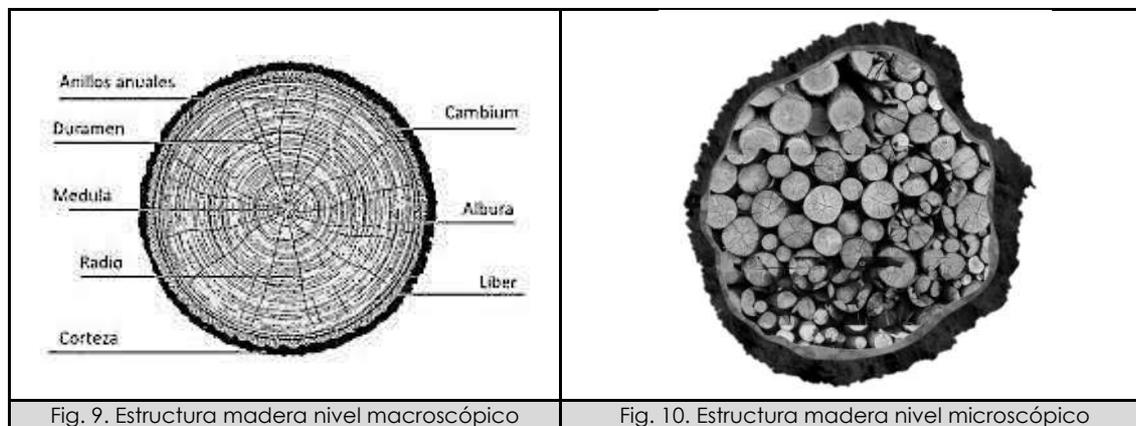


Fig. 9. Estructura madera nivel macroscópico

Fig. 10. Estructura madera nivel microscópico

2.3.1.2 ORTOTROPÍA

La madera es un material ortótropo al tener sus tres ejes ortogonales entre sí, por lo que sus propiedades mecánicas en sus fibras y en cada una de las direcciones (axial, radial y tangencial) son diferentes.

Al ser un material ortótropo es también anisótropo.

2.3.1.3 ANISOTROPÍA

La madera es un material anisótropo debido a su heterogeneidad.

Sus propiedades físicas y en particular sus características mecánicas dependen de la dirección del esfuerzo con relación a la orientación de las fibras.

Deben considerarse tres direcciones principales:

- **Axial.** Paralela al eje de crecimiento del árbol. Mejores prestaciones (compresión).
- **Radial.** Perpendicular al eje de crecimiento del árbol. Normal a los anillos de crecimiento.
- **Tangencial.** Perpendicular a la dirección radial y a la fibra. Tangente a los anillos de crecimiento

Utilización de subíndice propio, no se aplica a otros materiales.

- "0" para indicar la dirección paralela a la fibra
- "90" para la radial o perpendicular
- "α" para la oblicua, etc.

El comportamiento estructural de la madera es muy bueno si coincide la dirección del esfuerzo y la orientación de las fibras. A medida que se desvían la dirección de la tensión de las fibras empeora llegando a un mal comportamiento para sollicitaciones como la tracción perpendicular. Este hecho condiciona la construcción.

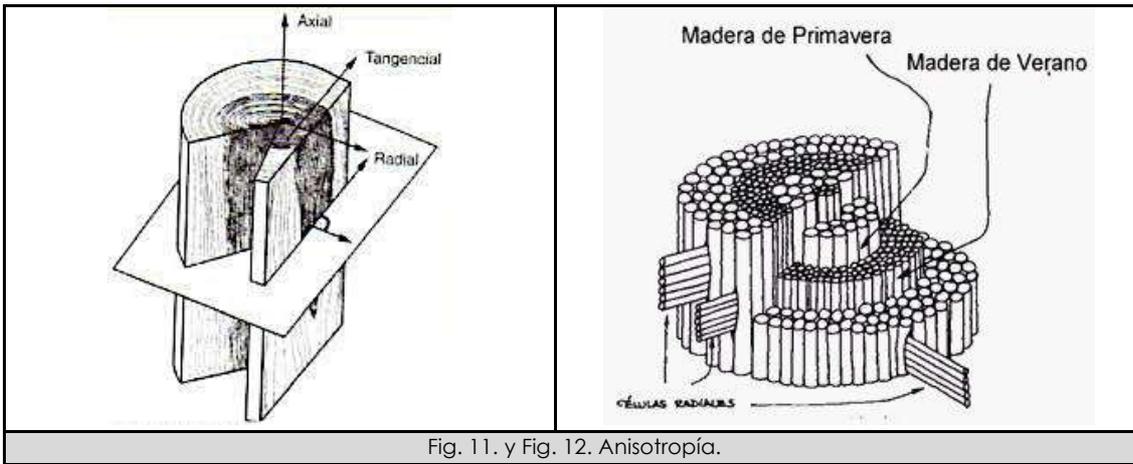


Fig. 11. y Fig. 12. Anisotropía.

2.3.1.4 HIGROSCOPICIDAD

La madera es un material higroscópico, la variación del contenido de humedad produce modificaciones en sus dimensiones. Al incrementarse se hincha y al disminuir se contrae o merma, siendo el efecto muy distinto en función de la dirección. La madera debe tener un contenido de humedad lo más parecido al equilibrio higroscópico.

Esto genera repercusiones en la seguridad de la estructura, tales como:

- Tensiones en uniones que impiden el movimiento libre de la madera. Fendas en las proximidades de los medios de fijación.
- Madera colocada con excesivo contenido de humedad crea desajustes y holguras de los medios de unión
- Aparición de fendas de secado.

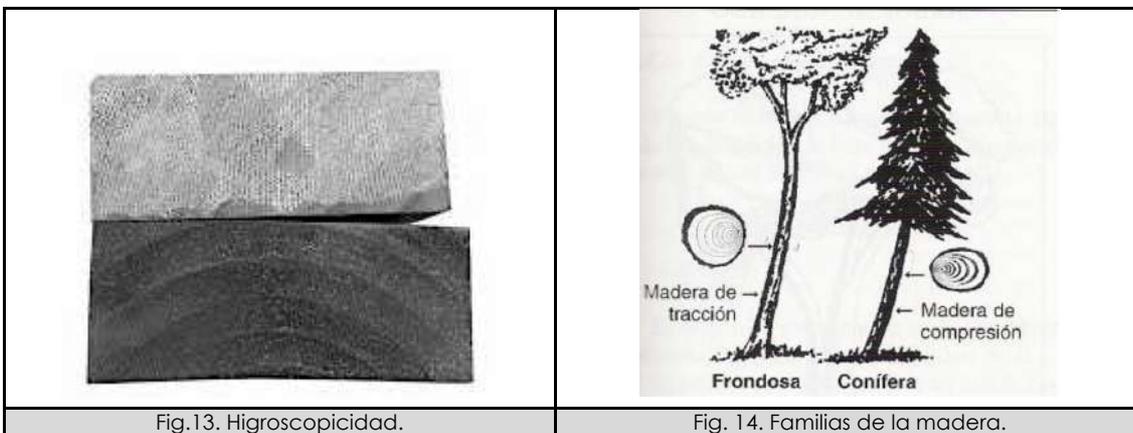


Fig.13. Higroscopicidad.

Fig. 14. Familias de la madera.

2.3.2 PROPIEDAS FÍSICAS DE LA MADERA

Por la variedad y diferencia de características que existe en la "madera" hablamos de tipos de madera, pudiendo establecer dos familias: Frondosas y Coníferas.

- **Frondosas:** árboles de madera más heterogénea y de mayor resistencia. Uso en construcción de mobiliario y suelos. Costo elevado. Ejemplos: castaño, nogal, haya, teka, roble, okume, etc.
- **Coníferas:** árboles de crecimiento "rápido" y madera homogénea. Uso en carpintería de armar y estructuras. Abundantes y baratas. Ejemplos: pinos, abetos, chopo, etc.

1.3.1.1. CALIDAD DE LA MADERA

La calidad de la madera estructural depende la especie del árbol y sus singularidades de crecimiento (comúnmente denominadas defectos) que hacen disminuir sus propiedades mecánicas.

Singularidades más relevantes:

- **Nudos:** originados por las ramas del árbol. Defecto de mayor importancia.
- **Fendas:** agrietamientos longitudinales que cortan radialmente los anillos de crecimiento. Tiene lugar durante el secado de la pieza. Favorecen el ataque de organismos.
- **Desviación de la fibra:** pendiente de la dirección de la fibra con respecto al eje de la pieza. Se debe, generalmente, a la presencia de nudos.
- **Acebolladuras:** agrietamientos longitudinales producidos por la separación de los anillos de crecimiento.
- **Gemas:** falta de madera en las aristas de la pieza.

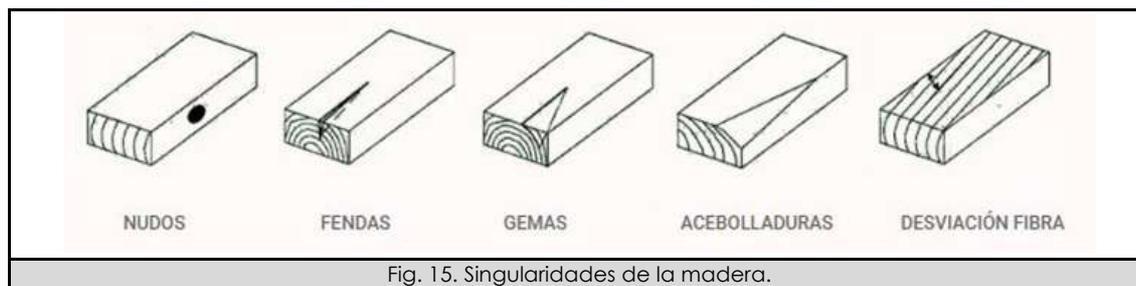


Fig. 15. Singularidades de la madera.

Se ha establecido en Europa el sistema de clases resistentes en el que se pueden encuadrar todas las combinaciones según especie-procedencia-calidad y así simplificar el cálculo.

Este sistema está definido en la norma UNE-EN 338:

(Fuente: Argüelles, 2010)

Coníferas (C: *Coniferous*): C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45 y C50.

Frondosas (D: *Deciduous*): D18, D24, D30, D35, D40, D50, D60 y D70.

El número representa la resistencia característica a la flexión en N/mm^2 .

Para la madera laminada encolada existen dos grupos:

Homogénea (GLh): GL 24h, GL 28h, GL 32h y GL 36h.

Combinada (GLc): GL 24c, GL 28c, GL 32c y GL 36c.

2.3.2.1 PATOLOGÍAS

Debido a su origen orgánico la madera es muy propensa a ser atacada por agentes, ocasionando desde un cambio en la coloración hasta la destrucción total de la lignina y celulosa que conlleva la disgregación y desaparición de la pieza.

Los agentes agresores se agrupan en función de su origen: Bióticos o Abióticos

ORIGEN BIÓTICO:

Hongos xilófagos: contenido de humedad superior al 18-20%. Las esporas del aire se depositan en la madera y se desarrollan.

Tipos de hongos:

- Mohos: no causan modificaciones relevantes en las propiedades mecánicas.
- Hongos cromógenos: influyen en su aspecto visual sin afectar a sus prestaciones.
- Hongos de pudrición: se alimentan de la madera, pérdida de las prestaciones físico-mecánicas.

Insectos xilófagos: se alimentan de madera.

Existen tres grandes grupos:

- Coleópteros: perforan galerías en la pieza hasta que se desarrollan y la abandonan.
- Isópteros (termitas): viven en nidos enterrados en el suelo y van hasta la madera solo para alimentarse. Al ser seres fotofóbicos su detección es muy compleja y cuando se descubren los daños muchas veces son irreparables.
- Xilófagos marinos: necesitan sal disuelta en el agua. Habitan en el interior de la madera creando galerías y cavidades en la pieza.

ORIGEN ABIÓTICO:

- **El fuego:** La madera expuesta a la acción del fuego presenta una respuesta favorable. Como material orgánico arde, pero su coeficiente de transmisión térmica es muy bajo en las capas internas, (0,55 para las coníferas y 0,7 para las frondosas) manteniendo su temperatura sin alterar sus características, y aún más bajo en las capas externas, carbonizadas, esto ralentiza la propagación y acción del fuego. El peligro reside en la pérdida de sección de las piezas, comprometiendo la estabilidad.
- **La radiación solar:** Los rayos ultravioletas afectan a la lignina que origina procesos de meteorización afectando a las propiedades mecánicas y a la estética.
- **El agua:** tanto en forma de humedad como de lluvia. Produce cambios dimensionales en la dirección perpendicular a las fibras leñosas, generando fendas por la retracción durante el secado de la pieza, alabeos y facilita la aparición de agentes bióticos.
- **Daños físicos y mecánicos:** fallos de origen humano, se manifiestan en la estructura cuando entra en estado de carga. Proporcionales a la duración de la carga. Afectan a la resistencia y estabilidad.

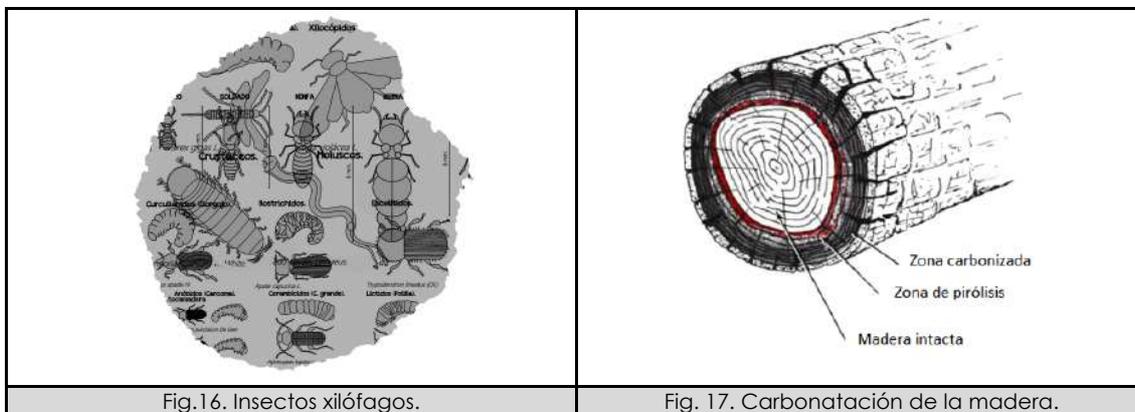


Fig.16. Insectos xilófagos.

Fig. 17. Carbonatación de la madera.

2.4 LA MADERA EN LA CONSTRUCCIÓN

La madera se extrae del árbol como material estructural, lo que la diferencia del hormigón y del acero, materiales que requieren de un proceso de transformación largo y costoso.

Las formas de uso del material van desde la más tradicional, madera aserrada, a las nuevas soluciones como son la madera reconstituida y la madera microlaminada.

2.4.1 TIPOS DE MADERA

Clasificación de acuerdo a lo establecido por D. Ramón Argüelles Álvarez. (Fuente: Argüelles, 2010)

2.4.1.1 MADERA ENTERIZA EN ROLLO O DE ROLLIZO:

Se obtiene directamente del proceso: apeado, desramado y separado de la copa del tronco en árbol. Estos rollos se descortezan y aserran, dando lugar a madera escuadrada (listones, tableros, tablones, etc.). Los diámetros están comprendidos entre los 10 y 20 cm, con largos que normalmente no llegan a los 10 m.

2.4.1.2 MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL:

Para estructuras de luces pequeñas (4 a 6 m) y medias (6 a 17 m), con diversos gruesos. Para grandes escuadrías sus dimensiones son: 15 x 20 cm; 20 x 20 cm y 20 x 25 cm.

La Norma UNE-EN 1912 aporta un listado completo de especies, procedencias, calidades y asignaciones a clases resistentes.

Ha de ser secada antes de su puesta en obra para alcanzar el grado de humedad necesario a su ubicación en el edificio.



Fig. 18. Madera de rollizo.

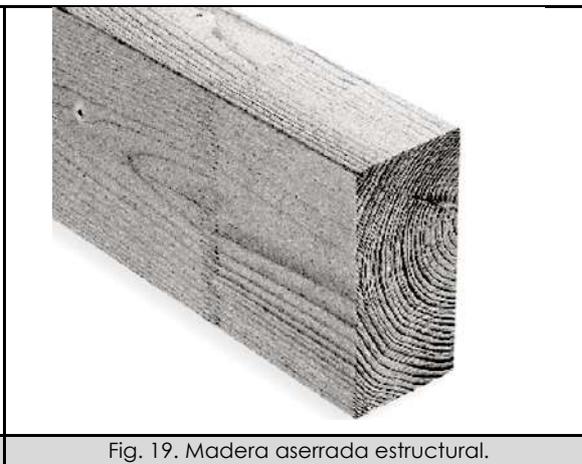


Fig. 19. Madera aserrada estructural.

En madera de rollizo y madera aserrada su uso se reduce a las rehabilitaciones, o intervenciones de restauración en edificios ya construidos por las alternativas y ventajas de los nuevos materiales.

2.4.1.3 MADERA EMPALMADA ESTRUCTURAL:

Empalme mediante dentado múltiple, recibe el nombre de "finger joints".

Las dimensiones transversales varían de 60 a 120 mm. de base y de 120 a 240 mm. de altura. Largos hasta 14 m.

Madera seca y en consecuencia mucho más estable. Especies habituales: pino y abeto. Clases resistentes C24 y C30. Clases de servicio 1 y 2 debido a los tipos de colas.

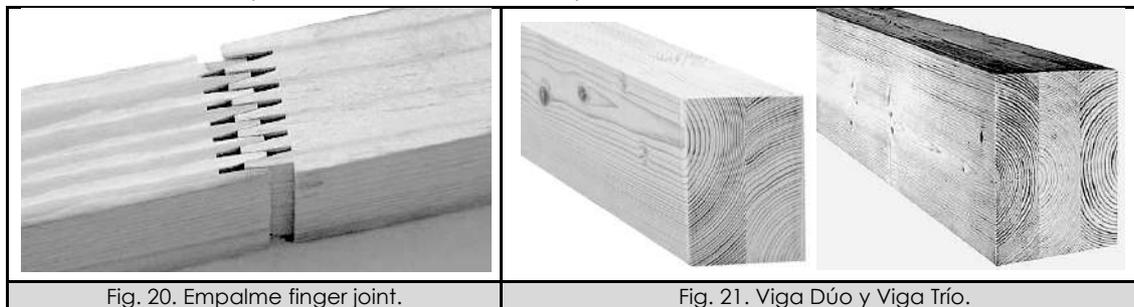
2.4.1.4 MADERA ASERRADA ENCOLADA /SISTEMAS PROHOLTZ:

Alternativa a la técnica de madera laminada, se crean vigas denominados dúos y tríos.

Las láminas son de mayor grosor que las habituales (hasta 8 cm. frente a 4,5 cm.).

Clases resistentes habituales: C24 y C30. Para el encolado se usan colas de resinas sintéticas.

- **Dúo:** dos piezas encoladas cara con cara más la unión en dentado múltiple. Longitud hasta 18 m. anchos de escuadría que varían de 80 a 160 mm. y altura hasta 240 mm.
- **Trío:** ancho que varía de 180 a 240 mm. y su altura de 120 a 220 mm.



MADERA LAMINADA ENCOLADA:

Producto más relevante estructuralmente. Eliminación de los defectos en cada una de las piezas a unir con el secado posterior. Láminas de pequeños grosores, de la misma o distinta madera, dirección de las fibras paralelas y encoladas a presión, control de la calidad y del contenido de humedad. Clases resistentes: GL 24h, GL 28h y GL 28c.

Los adhesivos que se utilizan actualmente son resinas plásticas, se adhieren a la celulosa y lignina de la madera creando una continuidad con mayor resistencia que la propia pieza. Muy eficaces en situaciones de exterior y de incendio.

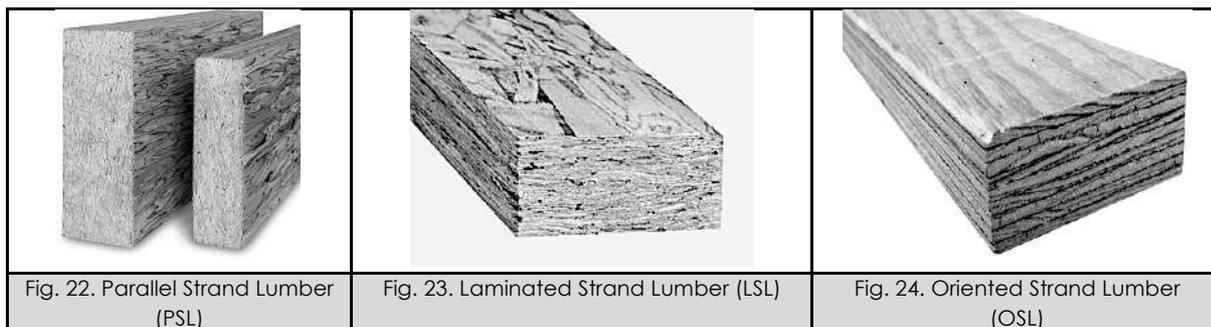
Inconveniente, mayor exigencia en las variables de fabricación y en su control. Gran variación de anchuras habituales. La altura máxima está en torno de los 2.400 mm.

2.4.1.5 MADERA RECONSTITUIDA:

Se obtiene aplicando calor y presión a chapas, tiras o virutas de madera encoladas previamente. Predomina su longitud frente a su sección transversal.

Los productos comercializados son:

- **PSL (Parallel Strand Lumber)** Madera de fibras paralelas. Perfiles de chapas de madera. La materia básica son recortes de chapas obtenidas por desenrollo, prensadas y encoladas de unos 16 mm. de anchura por 3,2 mm. de espesor que se orientan en la dirección longitudinal de hasta 2.400 mm. El resultado es un material homogéneo y sin nudos que presenta la misma anisotropía que la madera natural.
- **LSL (Laminated Strand Lumber)**. virutas gruesas y anchas encoladas según la dirección longitudinal del tablero. Las dimensiones de las virutas son: largos de 50 hasta 300 mm. y anchos de 5 a 25 mm. Este sistema reduce a mínimos la influencia de los nudos.
- **OSL (Oriented Strand Lumber)**. Perfiles de macro-virutas de madera orientadas. Más estrechas y largas que el resto. Longitudes de 472 a 945 mm y anchos de 2 a 5 mm.



2.4.1.6 MADERA MICROLAMINADA:

Encolado de chapas de madera con poco espesor y la dirección de la fibra sensiblemente paralela. Al ser láminas de poco espesor su fabricación permite la casi completa eliminación de defectos, alcanzando resistencias a flexión entre 32 y 50 N/mm². Sus dimensiones: grosores de 21 a 75 mm, anchos de 200 a 600 mm. y largos de hasta 23 m.

Utilizada en la fabricación de elementos estructurales, paneles y elementos en cajón.

Posibilidades:

- Todas sus láminas orientadas en el mismo sentido. Mayor resistencia axial. Fabricación de elementos estructurales.
- 20 % de las láminas cruzadas. Mayor estabilidad dimensional, proporciona menores resistencias (excepto en uniones).



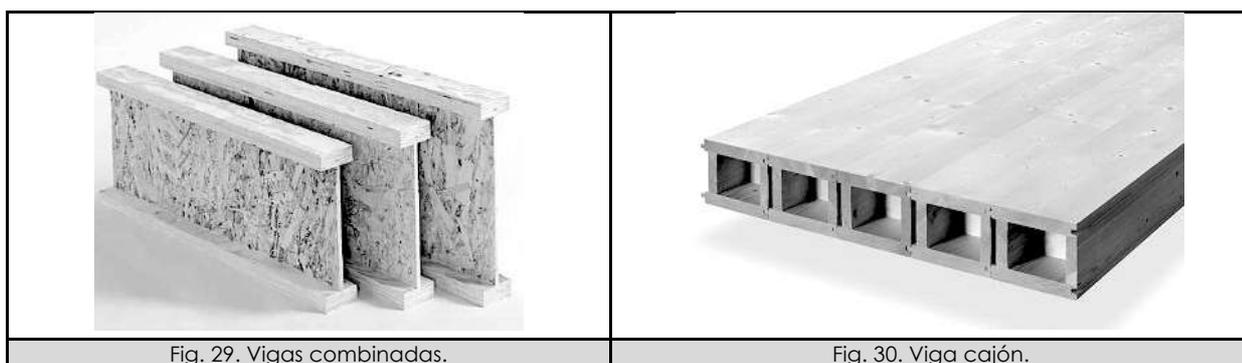
2.4.1.7 TABLEROS:

- **Tablero de virutas orientadas, OSB (Oriented Strand Board):** capas de virutas de madera encoladas y prensadas. En las capas externas se orientan en la dirección longitudinal, por lo que sus propiedades mecánicas aumentan en ese sentido y se reducen en la dirección perpendicular. Buen comportamiento en todos los ambientes.
- **Tablero contrachapado:** chapas encoladas de madera, varía la dirección de las fibras. Las capas exteriores se lijan para presentar un aspecto que no moleste al tacto. Se fabrican siempre con un número impar de láminas para conseguir una estructura simétrica respecto del eje central.
- **Tablero de partículas:** partículas de madera o de otro material lignocelulósico (paja, lino, cáñamo, etc.) pegadas entre sí por un polímero adhesivo a presión.

2.4.1.8 COMBINACIONES:

Generan elementos con prestaciones y soluciones óptimas a las necesidades.

- **Vigas** de alma de madera microlaminada y alas de madera aserrada.
- **Vigas cajón:** alma de madera laminada, aserrada o microlaminada y dos o más tableros estructurales que forman las alas
- **Soportes** compuestos por varios listones unidos por presillas o separadores que actúan como vigas Vierendeel puestas en vertical.



2.4.1.9 OTROS PRODUCTOS:

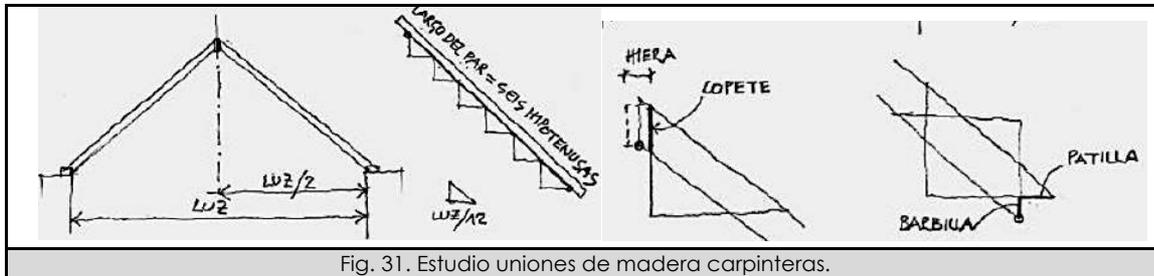
- **Paneles** (prefabricados masivos, prefabricados ligeros y sándwich)
- **Vigas mixtas** (madera-madera y madera-hormigón).

3 UNIONES DE MADERA

Las estructuras de madera están formadas por piezas unidas entre sí.

Las uniones constituyen puntos singulares, el agotamiento de una estructura se puede presentar simplemente por la falta de resistencia en una de ellas.

El conjunto de los elementos de conexión y sus operaciones anexas constituyen entre el 20 y 25% del total del precio de la estructura.



3.1 ESTADO DEL ARTE

El desarrollo de la ingeniería en las estructuras de madera está íntimamente relacionado con el progreso de las conexiones.

Durante siglos el desarrollo de las uniones dependió de la experiencia y habilidad de los maestros carpinteros, desconocedores de los esfuerzos que debía soportar el medio de unión y de su capacidad de carga.

Hasta prácticamente el siglo XX solamente se realizan uniones carpinteras acompañadas de algún elemento metálico como medio de afianzamiento.

A finales del siglo XIX y en el siglo XX aparecen nuevos medios de fijación, dando lugar a modelos estructurales de madera que compiten con las estructuras de acero.

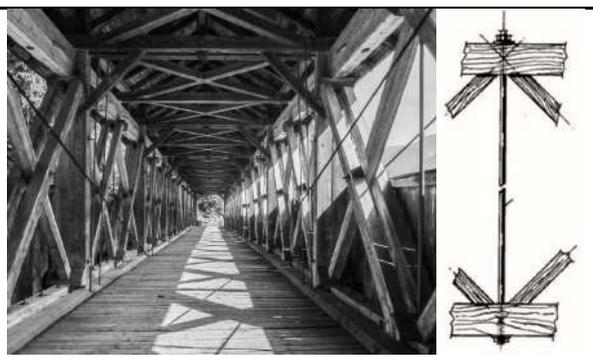
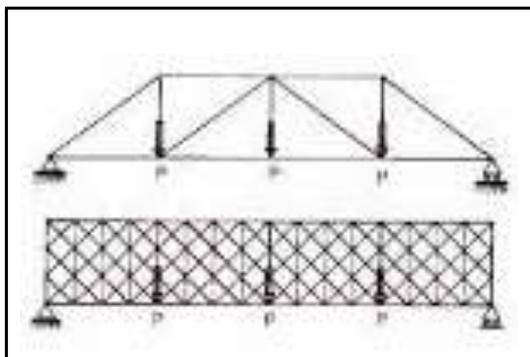
Las primeras uniones de esta tipología, y que aparecen como referencia en la mayoría de las publicaciones, corresponden a la construcción de puentes:

- El primero, por Ithiel Town (1784-1844): "sustituye los montantes y diagonales de las vigas trianguladas principales del puente por una celosía de dos planos, mucho más tupida, en la que se reparten entre varias barras los esfuerzos de tracción o compresión que debería asumir una sola ellas. La doble celosía del alma, intercalada entre las dos piezas que forman los cordones, se enlaza utilizando clavijas de madera que transmiten los esfuerzos mediante sollicitaciones de corte." (Fuente: Argüelles, 2010)

Ejemplo: Puente de Rotenbrücke. Luz 16 m. Cantón de Appenzel Ausserrhoden (Alemania) 1862.

- El segundo, William Howe (1803-1852): "usa como montantes de la viga principal redondos de hierro pretensados. A los esfuerzos de tracción generados por las cargas han de sumarse las compresiones aportadas por los redondos de acero dando como resultado fuerzas resultantes de compresión, lo que permite resolver fácilmente la unión."

Ejemplo: Puente de Graubünden. Luz 56,2 m. Cantón de Graubünden (Suiza) 1857.



En el inicio del siglo XX los tacos de madera, utilizados para formar piezas compuestas, son reemplazados por conectores de acero. Empezaron como placas dobladas y más adelante conectores de anillo, más resistente y de apariencia ligera. Registrándose más de 60 patentes en EEUU entre 1920 y 1930. Durante la segunda guerra mundial se potencia el uso del clavo. Permite uniones de barras con secciones reducidas en cerchas y vigas de celosía.

Paul Metzger (Alemania) y Komrad Sattler (Austria), empezaron a trabajar con los conectores tipo clavija. Se sustituye la sección completa por más secciones de menor tamaño o se inserta una o más placas de acero que generen superficies de corte. Sistemas desarrollados por Walter Greim, Willi Menig, Julius Natterer, Ernst Gehri y Herman Blumer.

Ejemplos: voladizo de 20 m. en el Centro de Interpretación de la Naturaleza de Salburua en Vitoria y la estructura de madera del Edificio Residencial E3 con 7 alturas de Berlín.



Fig. 34. Centro de Interpretación de la Naturaleza de Salburua (Vitoria).



Fig. 35. y Fig. 36. Edificio Residencial E3. (Calle Esmarch, Berlín)

Es en los años cincuenta se realizan pórticos y vigas de sección en doble T.
Ejemplo: pórticos principales del almacén de carbón (Altdorf, Canton Uri).

En la segunda guerra mundial se produce un desarrollo de la madera por las restricciones en el suministro de acero que junto con la evolución de los adhesivos sintéticos permitió utilizar la madera laminada en cualquier situación. Sobre todo las vigas de cubiertas de grandes luces y los edificios de uso público.

Friedrich Otto Hetzer patenta en 1901 las vigas rectas de madera laminada y en 1906 registra una patente de un sistema con vigas curvas. Piezas de pequeña escuadría que forman piezas de tamaño casi ilimitado. Esta nueva forma de construcción tuvo un gran desarrollo en Europa a partir de la exposición mundial de Bruselas en 1910, existiendo en 1920 más de doscientos edificios fabricados con esta patente. En 1923 Max Hanisch, socio de Hetzer, da a conocer en EEUU este sistema.

Ejemplos: Gimnasio en Peshigo (Wisconsin) con pórticos de 19,50 m. de luz y el Forest Products Laboratory.

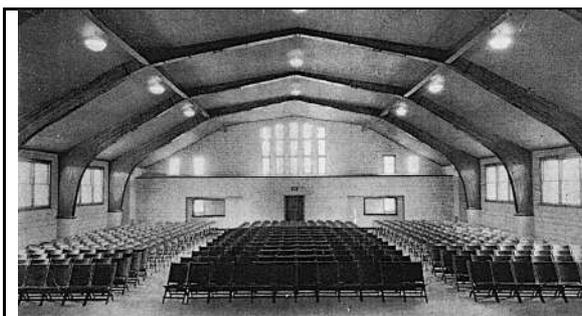


Fig. 37. Gimnasio en Peshigo (Wisconsin).



Fig. 38. Forest Products Laboratory.

En la actualidad el uso de uniones de madera se hace posible por la aplicación del Método de los Elementos finitos, es una herramienta que permite evaluar con fiabilidad el comportamiento de las uniones. Entre otros hay que destacar el programa Inventor de Autodesk con el que se ha investigado para este trabajo.

En España existen líneas de investigación para esta clase de uniones, como por ejemplo las dirigidas por: Manuel Guaita Fernández de la Universidad de Santiago de Compostela y Pablo Vidal López de la Universidad de Extremadura. En las simulaciones numéricas realizadas de las uniones embarbilladas se aprecia que la fricción entre superficies en contacto adquiere una alta importancia, poniendo de manifiesto que el cálculo en el que se basa el Código Técnico Español de la Edificación, queda sobredimensionado a cuenta de la seguridad.

3.2 PRECEDENTES

La unión es el punto más débil en las estructuras de madera por la presencia de taladros, hendiduras y sobretodo por el uso de 2 materiales distintos como se da en las uniones mecánicas (hierro/acero – madera)

3.2.1.1 DESLIZAMIENTO DE LAS UNIONES:

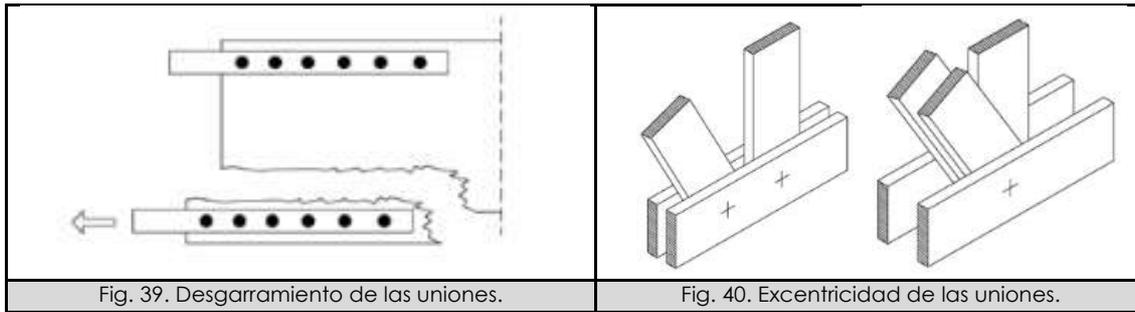
Depende del método de unión, se produce un deslizamiento entre las piezas a unir en su puesta en carga a consecuencia del aplastamiento que sufre la madera por las compresiones locales. Se calcula o al menos prevé mediante el módulo de deslizamiento (K_{ser}) definido por normativa para cada tipo de unión.

3.2.1.2 DESGARRAMIENTO DE LAS UNIONES:

En una unión de madera con sistemas mecánicos de varios elementos y con poca separación entre ellos, la capacidad de carga de la pieza no corresponde al agotamiento de cada elemento sino que se ve reducida al posible desgarramiento del trozo de la pieza. Esta comprobación también viene definido por la normativa.

3.2.1.3 EXCENRICIDAD DE LAS UNIONES:

La mejor solución de las uniones es que sean simétricas y concéntricas, en caso contrario la normativa refleja los cálculos necesarios para calcular los límites de excentricidad que pueden llegar a tener lugar.

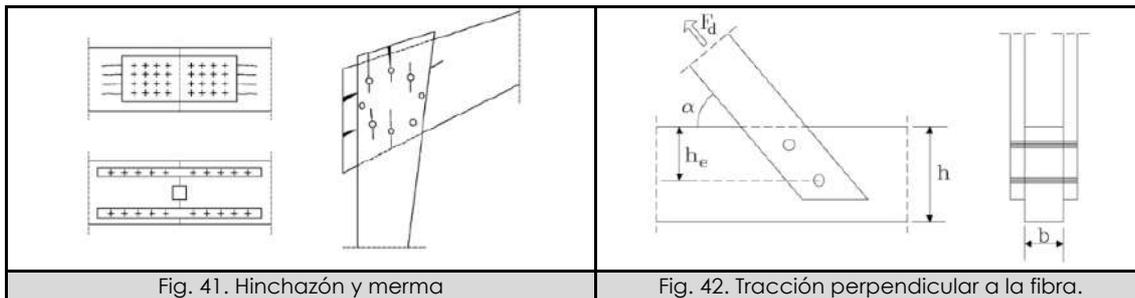


3.2.1.4 HINCHAZÓN Y MERMA:

Este aspecto tiene relación a la propiedad de higroscopicidad de la que se ha hablado anteriormente. Variaciones en las dimensiones de la pieza que no se tienen en cuenta en la dirección longitudinal pero si en la transversal. Las piezas de madera deben colocarse en obra con el contenido de humedad lo más parecido al equilibrio higroscópico en la situación de servicio de la que hablemos. Se producen cambios en las piezas al sufrir cambios en el contenido de humedad por las condiciones climáticas (piezas en el exterior o en interiores acristalados). En el caso de que se coloquen herrajes para evitar estas variaciones puede llegarse a producir fendas.

3.2.1.5 TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA EN LAS UNIONES:

Los elementos de fijación deben estar colocados en los bordes no cargados de dicha unión para evitar este tipo de tensiones que evita la capacidad resistente.



3.2.1.6 DURABILIDAD:

Capacidad intrínseca que posee toda madera conservar sus propiedades a lo largo de su vida útil. Depende de factores como:

- La especie de madera
- La zona de afección de las patologías, ya sea albura o duramen.
- Detalles de diseño, que eviten la penetración y acumulación de agua
- Correcta ventilación
- Protección que se le disponga

3.2.1.7 FUEGO:

El comportamiento de la madera frente al fuego suele ser favorable Por la sobredimensión que se realiza a las piezas para conseguir a la seguridad necesaria. Normas nacionales e internacionales establecen parámetros que han de cumplir las edificaciones. En España la norma la establece el CTE DB-SI sección 6, cuyo objetivo fundamental es reducir los daños que puedan sufrir los usuarios durante un incendio accidental a unos mínimos aceptables.

3.3 TIPOLOGÍA DE UNIONES

Las uniones se pueden clasificar de acuerdo a muchos factores, en este caso se hace por el medio de unión y en una sucesión desde aquellas que tienen un comportamiento menos rígido (entre el medio de unión y las piezas de madera a unir), las uniones mecánicas, a las más rígidas, uniones encoladas.

3.3.1 UNIONES MECÁNICAS

Tipología más empleada actualmente.

Sistemas de unión que emplean elementos metálicos, comparándolo con las uniones tradicionales mejoran sustancialmente los bajos rendimientos al colaborar otro material en la transmisión de esfuerzos. La unión estará mejor resuelta cuanto menos piezas metálicas contenga y más simple sea su ejecución.

3.3.1.1 UNIONES CON CLAVIJAS

Transmisión de esfuerzos mediante herrajes metálicos a través de tensiones de aplastamiento sobre las piezas de madera. Depende del número de secciones de madera solicitadas a cortadura y con las propiedades resistentes de la madera y del acero.

La clavija es un vástago que penetra en la madera y le transmite esfuerzos en dirección perpendicular a su eje, pieza esbelta en relación con su longitud. La influencia sobre la madera que la rodea está limitada solamente a una parte de esta longitud.

- **Cargas laterales o carga de cortante:** Todas las clavijas lo resisten. El vástago está sometido a esfuerzos de flexión, además de cortadura, y traba las piezas de madera generando tensiones localizadas de aplastamiento.
- **Cargas axiales:** No todas las clavijas resisten este esfuerzo. conexión con la madera a través de la parte roscada de los tirafondos, o cabeza / tuerca y arandela de los pernos.

Clavija es un término genérico que se emplea a clavos, tirafondos o tornillos para madera, grapas, pernos y pasadores.

CLAVOS

- Fuste de sección circular, redondeada o cuadrada. Liso o con resaltes en forma de cuña, helicoidal, acanalado, etc. Con punta afilada y cabeza de forma plana, avellanada, etc.
- Medio de unión más común en los sistemas de entramado ligero, piezas de madera o entre madera y placa metálica. Se usan para la unión de pilares y vigas en nudos de pórticos, o en las uniones de cordones y celosía del alma en las vigas trianguladas cuando se utilizan cartelas de tablero contrachapado.
- En la actualidad su colocación se realiza con clavadoras de clavo en rollo o en tira.

TIRAFONDOS O TORNILLOS PARA MADERA

- Elementos de fijación que no están contemplados en el DB SE-M, algunos están normalizados y otros son patentes.
- Constan de un fuste con una zona roscada en la punta (cuerda) 60% y un tramo liso (caña). La forma de la cabeza puede ser lenticular, redonda, avellanada y hexagonal con arandela o no.
La arandela aumenta la capacidad de carga debido al efecto soga, mayor resistencia a la incrustación de la cabeza, sin ella se hunde parcialmente al superar la apretadura.
- Se utilizan en uniones madera/madera, en acero/madera y para la unión de elementos secundarios de arriostamiento, anclajes de importancia, como refuerzo en agujeros o rebajes en piezas de madera.
- Máquina para el atornillado, es fácil superar la fuerza de apretadura provocando la rotura del fuste por tracción.

GRAPAS

- Elementos de fijación con forma de U distinguiéndose dos partes: corona y patas.
- Fabricación con diversas formas y proporciones.
- Aplicaciones:
 - Fijación entre tablero y piezas de madera.
 - Fijación de láminas cortavientos en cubiertas y fachadas
 - Fijación del tablero de cerramiento estructural a los montantes del entramado.
- Poco empleadas en uniones estructurales.
- Colocación mediante grapadoras neumáticas.

PERNOS

- Elementos de fijación constituidos por barras metálicas de sección circular con cabeza, hexagonal o cuadrada en un extremo y rosca y tuerca en el otro. Bajo la cabeza y la tuerca de los pernos se colocan arandelas.
Se introducen en agujeros cuyo diámetro tiene una holgura de hasta 1 mm mayor que el perno, esto disminuye la capacidad de transmisión de carga y genera deslizamientos.
- Se emplean como elemento de fijación de otro tipo de conector, para uniones madera/madera o acero/madera. Tanto piezas de madera aserrada como de piezas de madera laminada.

PASADORES

- Barras de acero de forma prismática constante con un fuste circular o acanalado aunque también pueden tener una sección deformada o rectangular. Bordes biselados en los extremos.
- Buen aspecto estético al no tener ni cabeza, ni tuerca ni arandelas como el resto de tipologías. El agujero donde se aloja el pasador tiene el mismo diámetro que el pasador. De esta forma queda introducido a presión que garantiza su eficacia en la transmisión de esfuerzos.
- Buen comportamiento frente a incendio al estar la parte metálica protegida por la madera.
- Se aplican en: uniones acero/madera, nudos de vigas trianguladas, nudos de esquina de pórticos a dos aguas, empalmes de piezas de madera, empotramientos de pilares, uniones viga pilar y apoyos sobre pilares, en uniones de piezas de madera laminada encolada.

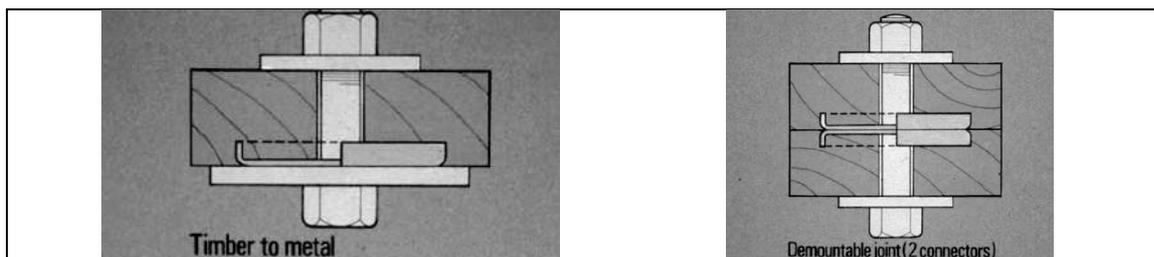


Fig. 43. Uniones con pernos.

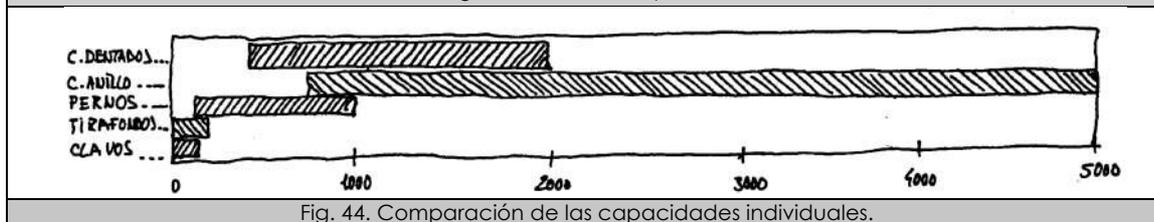


Fig. 44. Comparación de las capacidades individuales.

3.3.1.2 UNIONES CON CONECTORES

Elemento de fijación, con forma circular o rectangular, que se introduce ajustado entre dos piezas de madera y se afianza mediante un perno que atraviesa las piezas.

CONECTORES DE TIPO ANILLO

- Tienen forma de anillo y pueden ser cerrados o abiertos. Se insertan entre las dos piezas de madera, alojando la mitad de su altura en cada una de ellas.
- Se emplea en uniones madera/madera. En comparación con otras tipologías tiene un uso menor por la precisión que se necesita en el montaje.

CONECTORES DE TIPO PLACA

- Placa circular con una pestaña en uno de sus lados que se inserta en una caja realizada en la pieza de madera. El orificio central aloja al perno que completa la unión.
- Se emplean para unir madera/acero y madera/madera.

CONECTORES DE PLACA DENTADA

- Placa metálica de espesor reducido con puntas extraídas por estampación de la misma chapa y dobladas en dirección perpendicular. Transmiten la carga por aplastamiento entre la madera y el conector a través de un área mayor que en otras tipologías.
- Son adecuados en el caso de grandes esfuerzos y escuadrías

CONECTORES DE MADERA

- Conector de doble cara en forma de bloque cilíndrico con perfil biselado y con agujero central para el perno (perpendicular a la dirección de la fibra).
Se realizan utilizando programas de control numérico que permiten el cálculo, el diseño de la estructura y su fabricación de forma estandarizada que les hace bastante económicas.
- Empleo en uniones de piezas de madera con groesos reducidos disponiendo las placas en las superficies exteriores, por esto tienen un mal comportamiento frente al fuego y necesitan de una protección total.
- Su clavado se realiza con prensa hidráulica.

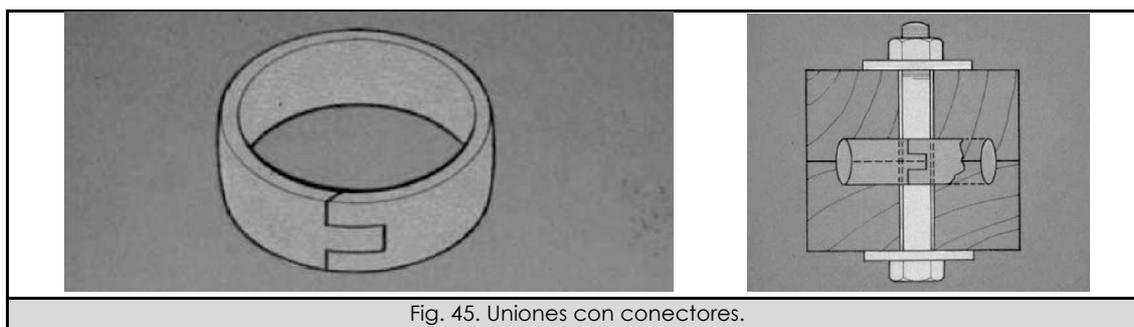


Fig. 45. Uniones con conectores.

3.3.2 UNIONES CARPINTERAS / UNIONES TRADICIONALES

Las uniones carpinteras constituyen soluciones para la unión de piezas de madera mediante el mecanizado, reduciendo el aporte de otros materiales (hierro o acero) al mínimo. Dan lugar a soluciones muy limpias visualmente (en comparación con uniones mecánicas) a la par que económicas por la escasez de elementos metálicos, de utilizarse, es como medio de afianzamiento impidiendo el desarmado de la unión.

Tienen una procedencia ancestral y empírica, cayeron en desuso por la dificultad de encontrar carpinteros especializados y por el excesivo costo de su fabricación. Actualmente se han recuperado por la fabricación mediante control numérico y el cálculo por aplicaciones del Método de los Elementos finitos como por ejemplo el programa Inventor de Autodesk. La maquinaria de fabricación permite su ejecución con una precisión y economía muy relevantes.

El comportamiento de las uniones tradicionales responde al de una articulación, dando una buena respuesta a los cambios dimensionales de la madera. Su comportamiento en caso de incendio es muy bueno.

En este tipo de unión los esfuerzos se transmiten por contacto de una pieza a otra, a través de cajas-espigas, barbillas-rebajes y llaves, equilibrando los esfuerzos axiales mediante compresiones y esfuerzos tangenciales.

Son pocas las normas de cálculo de estructuras de madera que contemplan este tipo de uniones, en alguna de ellas se incluyen criterios de diseño. Las comprobaciones de resistencia mecánica se hacen mediante comprobación de las tensiones mencionadas.

- Resistencia a compresión perpendicular a la fibra de la madera: se determina mediante ensayo de una probeta con forma de paralelepípedo según la norma UNE- EN 408, quedando sometida a una tensión uniforme en toda la superficie de contacto. Ofrece resultados menos favorables que cuando la compresión se ejerce sólo sobre una parte de la pieza, ya que ejerce un efecto de ayuda en las fibras no comprimidas próximas a la superficie de contacto.
- Comprobación de cortante de vigas con entalladuras en los apoyos: se realiza utilizando el canto eficaz o reducido de la sección, h_e

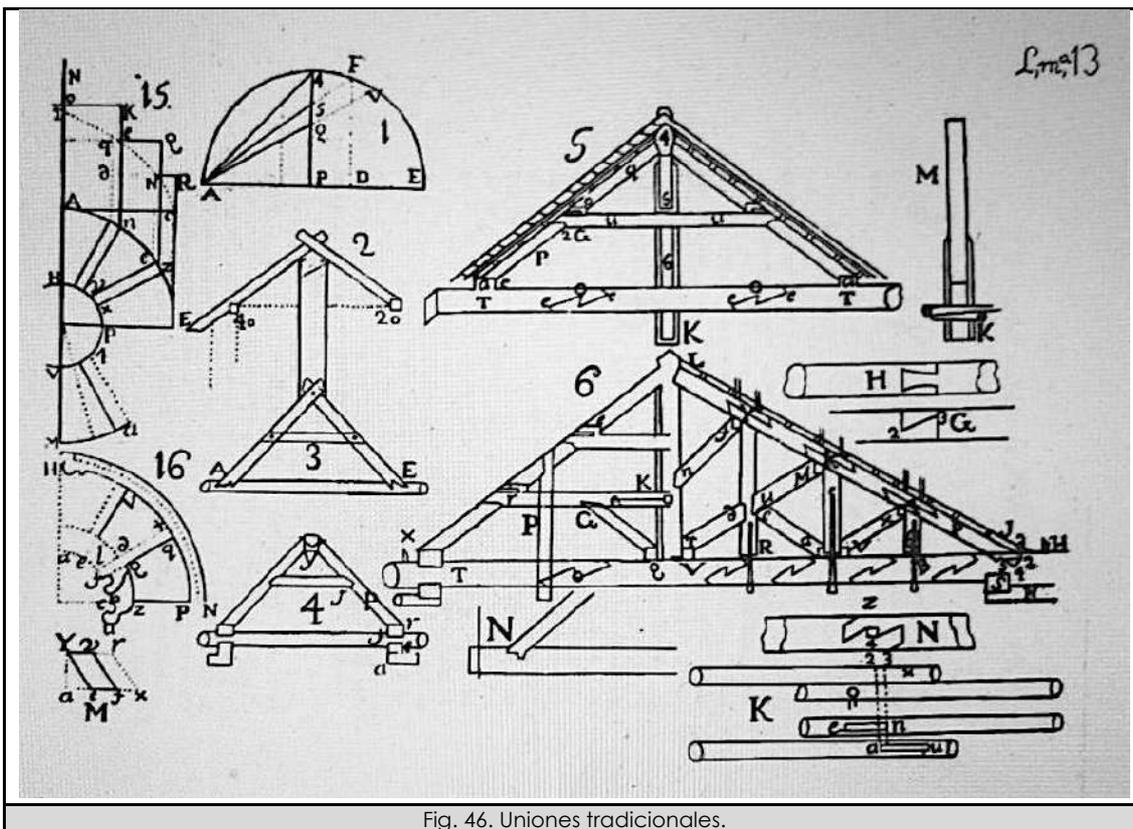


Fig. 46. Uniones tradicionales.

A las uniones tradicionales de manera general se les denomina ensambles o ensambladuras pero se realiza una clasificación según sea la tipología de encuentro entre las piezas de madera: EMPALMES, ENSAMBLES Y ACOPLAMIENTOS.

3.3.2.1 EMPALMES

Se denomina unión por empalme cuando las dos piezas de madera, solicitadas a tracción, se enlazan por sus testas. Consigue una mayor longitud.

La sección eficaz queda reducida a menos de la mitad de la sección completa.

Su localización más característica es el empalme de las piezas que forman los tirantes de las cerchas.

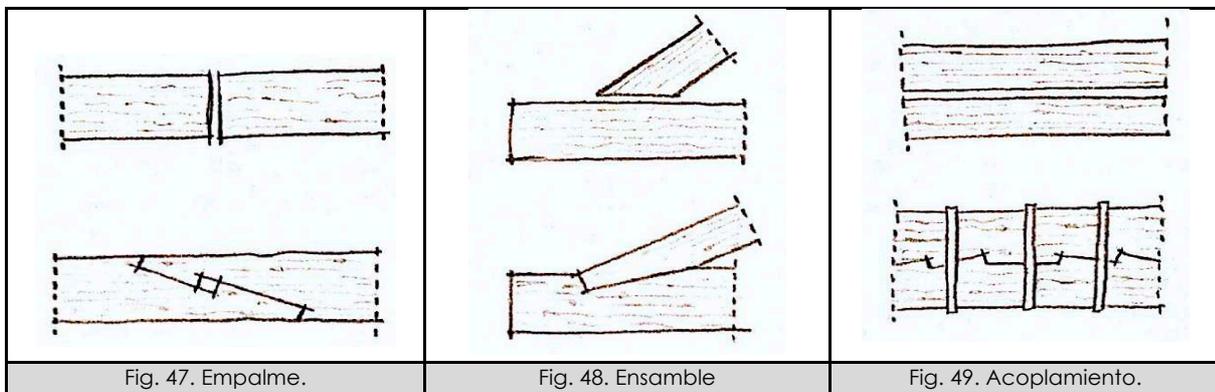
3.3.2.2 ENSAMBLES

Se denomina unión por ensamble cuando las piezas de madera se cortan formando un determinado ángulo.

3.3.2.3 ACOPLAMIENTO

Se denomina unión por acoplamiento cuando las piezas de madera, pudiendo ser dos o más de dos, se superponen por sus caras para conseguir mayor sección.

Tradicionalmente para conseguir una sección mayor se recurría al acoplamiento de dos formas: enlazándolas mediante llaves de madera o bien afianzando con bridas superficies dentadas realizadas en la zona de contacto.



3.3.2.4 UNIONES MÁS DESTACADAS:

UNIÓN DE LLAVE

Las dos piezas del empalme de llave presentan rebajes que se acoplan entre sí evitando su deslizamiento. La llave la constituye la clavija rectangular que sirve para ajustar el empalme.

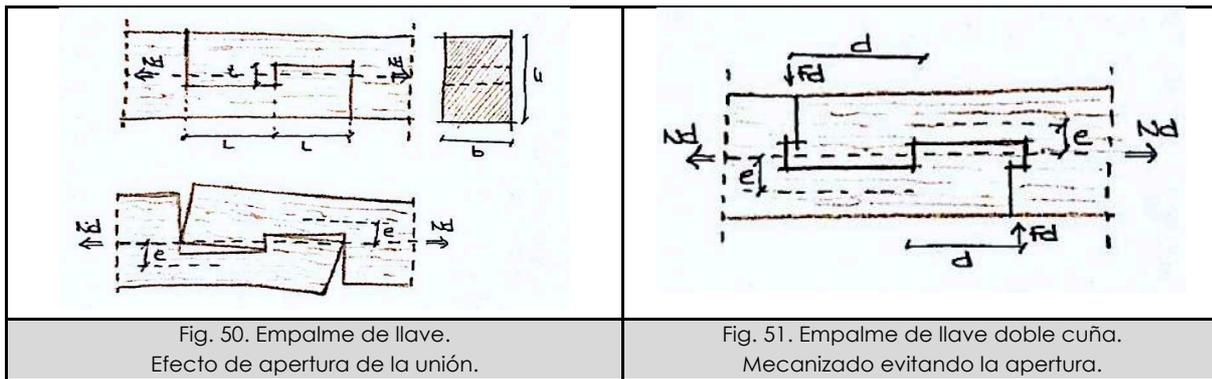
Para facilitar el montaje y su ajuste, se suelen disponer cuñas en el punto central del encuentro. Así, la tensión en la superficie de contacto será de compresión perpendicular a la fibra en la cuña. Por este motivo deberá utilizarse una madera de elevada resistencia a compresión perpendicular, generalmente una frondosa.

El esfuerzo de tracción, N_d , se transmite entre las piezas a través de una compresión paralela a la fibra aplicada sobre el frente con una superficie b_r . Así mismo, el esfuerzo pasa a la sección completa del tirante a través de un esfuerzo rasante de tensiones tangenciales en el plano de superficie b_b ,

En el estrechamiento de la sección del tirante existe una excentricidad e , del axil N_d , que produce una flexión provocando una tendencia al giro y desarmado del nudo.

Este efecto se contrarresta realizando entalladuras en los extremos que impiden el giro anterior.

Otra opción es la disposición de bridas metálicas que abracen el tirante a ambos lados; este atado transversal es conveniente para evitar la tracción perpendicular a la fibra y la posible rotura frágil.



UNIÓN RAYO DE JÚPITER

En el empalme en rayo de Júpiter el escalonado entre piezas es oblicuo.

La longitud del empalme está comprendida entre 2 y 5 veces la altura de la sección.

Generalmente se añaden pernos o bridas que sirven para afianzarlo y evitar la tendencia al giro. Estos pernos sirven también para reforzar la unión mecánicamente, debido a la escasa capacidad resistente del empalme.

Su diseño incluye unos tacos con forma de cuña (o llave) que facilita el montaje y su ajuste, aunque también puede darse sin este elemento auxiliar.

El trazado geométrico del Rayo de Júpiter:

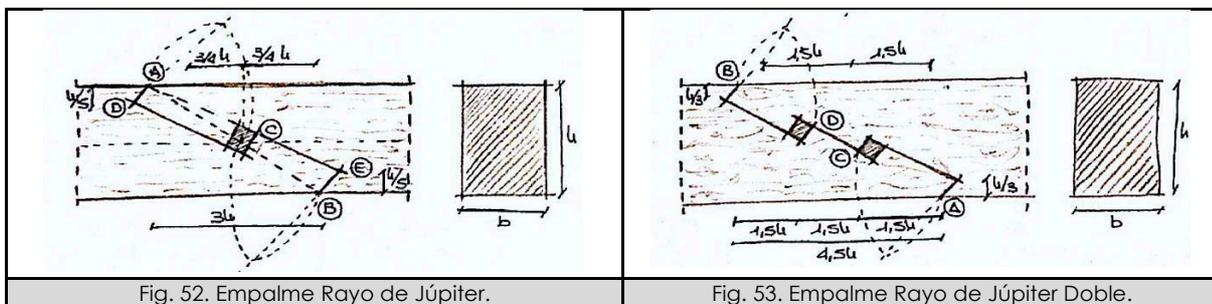
“Se marcan los extremos a una distancia de tres veces la altura de la sección del tirante, h , donde se localizan los puntos A y B. La recta que une estos puntos, línea media, cortan en el centro al eje del tirante en el punto C. Desde los puntos A y C (y B y C) se trazan arcos de circunferencia de radio igual a su distancia, con el fin de obtener un triángulo equilátero. De esta forma, la prolongación de uno de los lados del triángulo ofrece el corte A-D y B-E que terminan al encontrarse con las rectas auxiliares trazadas a $1/5$ de la altura de la pieza h . Al unirlos puntos A con E y B con D se definen las líneas de corte y el grueso del taco de apriete.”

Es aconsejable disponer pernos transversales situados a $3/4$ de h , a cada lado del eje del empalme.”
(Fuente: Montero, 1990)

Otras propuestas.

“Rayo de Júpiter doble, mejora la eficacia del empalme aunque aumenta la longitud de solape a algo más de 4,5 veces el canto del tirante y su ajuste es más difícil. El trazado es similar al anterior. La diferencia estriba en que las líneas de corte en los extremos son paralelas a la denominada línea media del rayo. Se aconseja disponer tres secciones empernadas de afianzamiento y refuerzo.”
(Fuente: Montero, 1990)

Tercera propuesta: la longitud de solape de $2 \cdot h$, frente a $3,451 \cdot h$ del primer modelo. Por tanto, la pendiente del corte es mayor y la longitud de rasante será menor.



UNIÓN COLA DE MILANO

El ensamble en Cola de Milano debe su nombre al parecido con la forma acuñada de la cola de este animal.

El extremo de una de las piezas se encaja en el vaciado de la otra pieza.

Resisten solicitaciones de tracción o compresión perpendicular y tracción oblicua o axial, además es capaz de transmitir fuerzas de tracción y compresión. Su capacidad portante es muy reducida.

“La capacidad portante de esta unión trabajando a tracción no suele quedar recogida por las normas de cálculo. Existe un Documento Técnico Unificado Francés (CB.71, 1984) y una propuesta con ayuda de la experimentación y análisis por el método de los elementos finitos” (Fuente: Werner 2002, Tannert 2008).

Precaución en el uso de madera seca durante la fabricación y así reducir las variaciones de contenido de humedad hasta la puesta en obra. El contenido de humedad de fabricación debería ser lo más parecido al de servicio.

“En el comportamiento de estas uniones es beneficioso el añadido de tirafondos de fuste roscado por completo, como elementos de refuerzo. Estos elementos se disponen preferiblemente conectando viga con correa, la parte inferior de la correa queda cosida y por tanto reforzada frente a tensiones de tracción perpendicular a la fibra.” (Fuente: Tannert 2008).

Se uso principal son las uniones entre vigas secundarias y vigas principales en cubiertas.

Inconvenientes:

- Exige una precisión muy elevada en el montaje, la distancia entre los apoyos tiene muy poca tolerancia. La velocidad de mecanizado debe ser lenta para conseguir una precisión mayor.
- La viga principal ve reducida su sección por las cajas que se realizan en una o las dos caras, por lo que su capacidad portante queda reducida.
- Presenta una baja resistencia al fuego (R20) y un posible fallo por rotura frágil.

Modos principales de fallo de esta unión:

- El primero afecta a la viga principal y es originado por un fallo a tracción perpendicular a la fibra en la parte baja de la caja.
- El segundo afecta a la vigueta y consiste en el fallo por cortante combinado con tensión de tracción perpendicular en la entalladura inferior de la cola.
- (Fuente: Soilán et al. 2008, Tannert 2008)

Variaciones de la unión:

Cola de Milano a MEDIA MADERA:

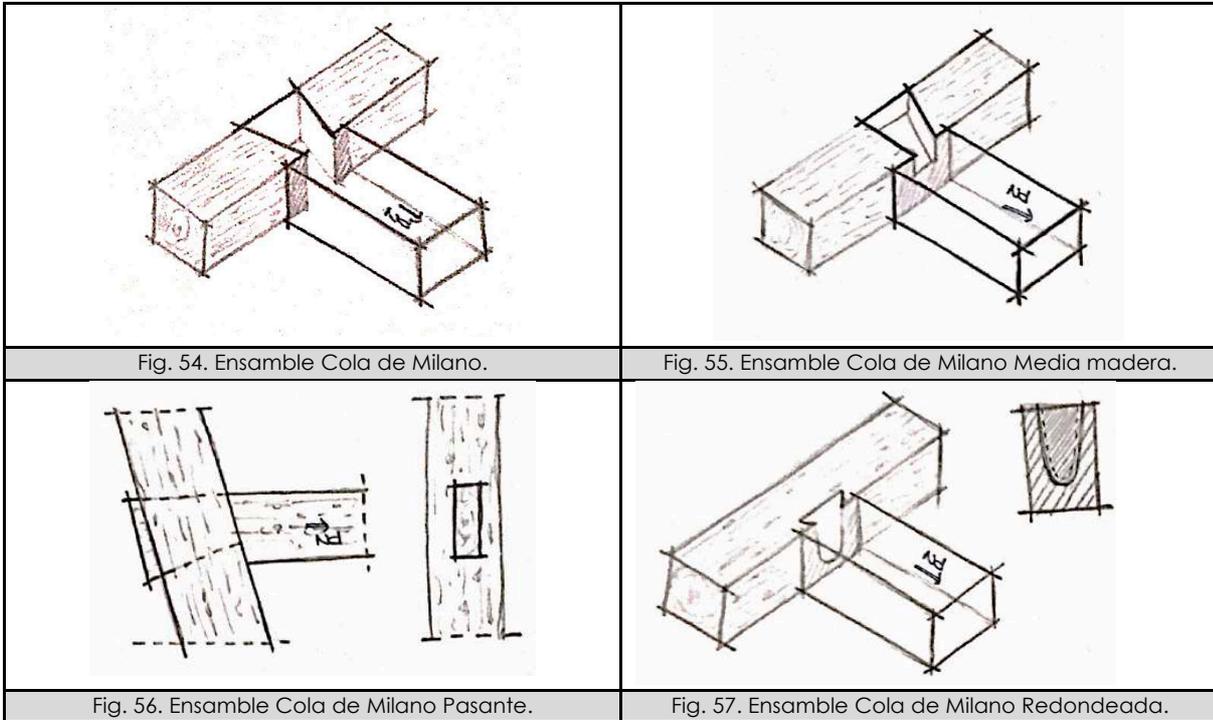
- El grueso de la cola es igual a la mitad del grueso de la pieza a cajear como consecuencia de la reducción de la sección.
- Puede ser recto u oblicuo.

Cola de Milano PASANTE.

- La cola de milano es oblicua y queda entallado por ambas caras, no es a media madera.
- La caja o mortaja es más amplia que la espiga para permitir su entrada, impidiendo su salida mediante una espiga de madera más dura.
- Utilizado en armaduras de cubierta.

Cola de Milano REDONDEADA

- Tiene una eficacia muy superior a la solución simple de una caja recta en la viga.
- Es capaz de transmitir las cargas verticales (o reacciones) en los apoyos, si es una correa, o en una viga principal, si es una vigueta. Esfuerzos axiales y de flexión.
- Solución muy limpia visualmente y económica. En principio no requiere elementos metálicos (son recomendables).
- Diseñada para su fabricación mediante control numérico.



UNIÓN EMBARBILLADO

El embarbillado es un tipo de unión de 2 piezas de madera, que forman un ángulo inferior a 90°, en modo de ensamblaje. A partir del encaje de una pieza de madera comprimida en otra que la recibe a partir de un entalle o rebaje de esta última pieza.

Se estudiará con mayor detenimiento más adelante, siendo este el tema principal del trabajo.

UNIÓN DE CAJA Y ESPIGA

En este ensamblaje una de las piezas, espiga, tiene en su extremo una parte más delgada que se aloja en una entalladura de la otra pieza denominada caja o mortaja.

La espiga tiene la función de afianzar lateralmente la unión, pero la carga se transmite a través de la superficie que le rodea. Para garantizar esto, la longitud de la espiga es ligeramente menor que la profundidad de la caja

Se utiliza en:

- Apoyo de pies derechos, descansan sobre una pieza transversal denominada durmiente el cual apoya en continuo sobre un lecho.
- Apoyo de vigas o viguetas sobre pilares o jácenas, la transmisión de la carga o reacción en el apoyo V_d producirá un esfuerzo cortante en la espiga y una compresión perpendicular a la fibra.

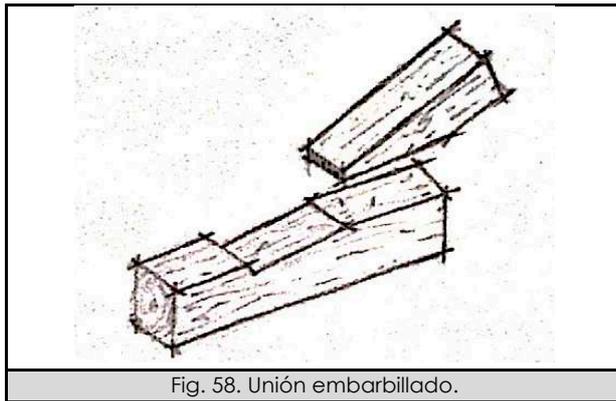


Fig. 58. Unión embarbillado.

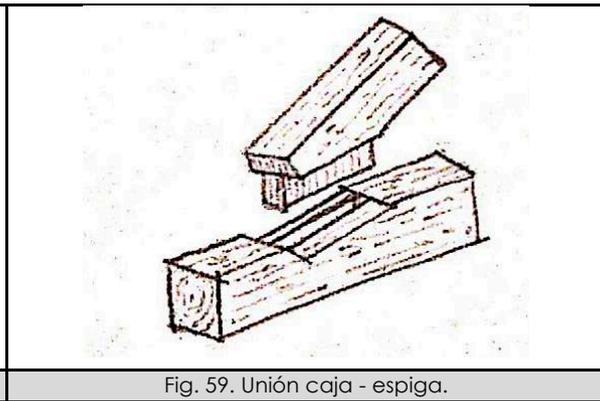


Fig. 59. Unión caja - espiga.

3.3.3 UNIONES ENCOLADAS (ADHESIVOS)

Medio de unión más nuevo y con mayores posibilidades. Uniones rígidas de efecto resistente superficial proveniente de acciones mecánicas y químicas, hace que falle antes la madera anexa a la unión.

3.3.3.1 BARRAS ENCOLADAS

- Uniones en elementos estructurales con madera de conífera formadas por: barras de acero (superficie roscada o corrugada), polímeros (en función del sistema de instalación: inyección o roscado) y madera de frondosas.
- Se usa para:
 - Obtención de enlaces rígidos: nudos rígidos, cimentación de pilares o de arcos.
 - Reparaciones puntuales de vigas en zonas de apoyo o en zonas de fallo a cortante.
 - Evitar grietas provocadas por la tracción perpendicular a la fibra en el vértice de vigas a dos aguas, vigas curvas, apoyos entallados o en huecos de vigas.
- Dos sistemas: barras paralelas y barras inclinadas. Ambas proporcionan valores de resistencia y fiabilidad comparables.

3.3.3.2 TRANSMISIÓN DIRECTA

- Conexiones rígidas mediante empalmes integrales dentados entre piezas de madera laminada hasta 1,5 metros de canto.
- Se utilizan en esquinas de los pórticos para evita recurrir a enlaces articulados.

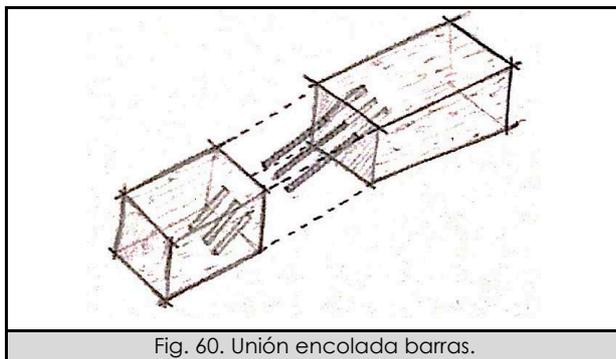


Fig. 60. Unión encolada barras.

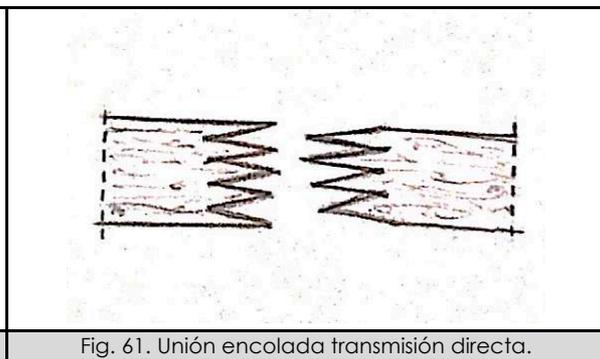


Fig. 61. Unión encolada transmisión directa.

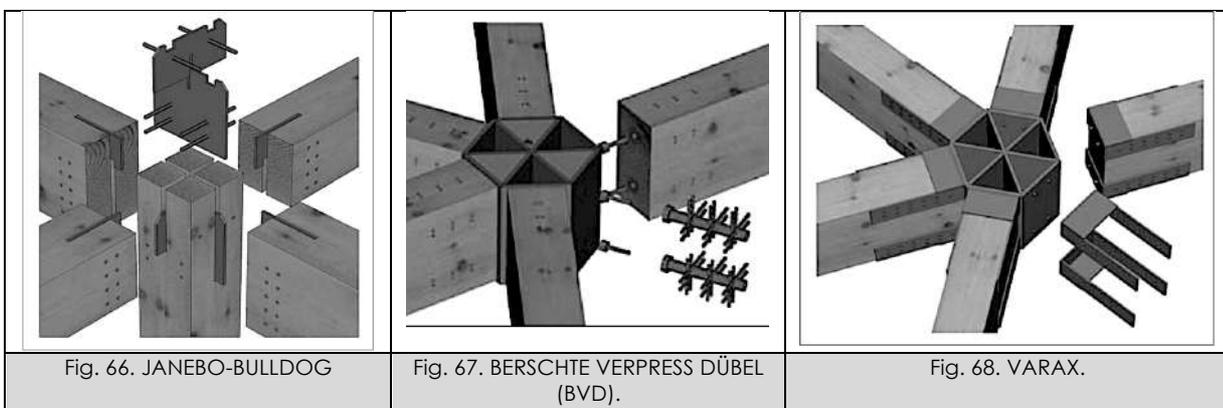
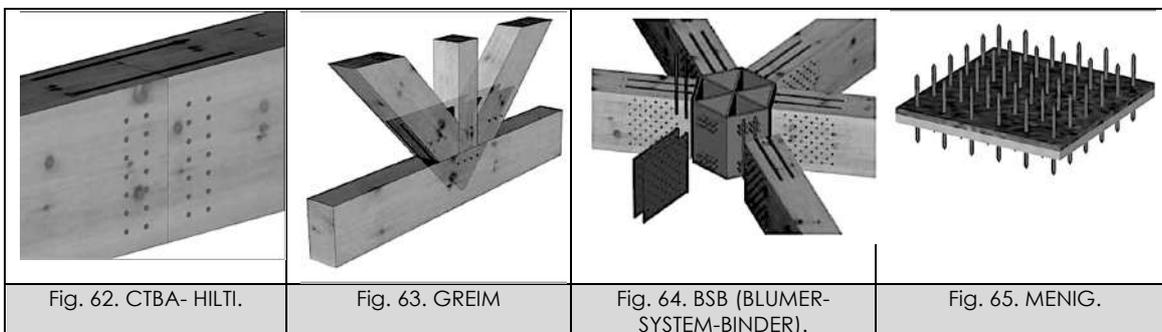
3.3.4 UNIONES HÍBRIDAS

Actualmente se ha abierto una nueva línea de investigación en la tipología de uniones de madera denominándose uniones híbridas. Para mejorar la eficiencia se sustituye la sección completa de madera por dos o más secciones de menor tamaño o se insertan varias placas de acero que generen, para esa misma sección más superficies de corte.

Estos sistemas suelen ser patentes pero que solucionan problemas específicos de las uniones que se repiten en la construcción por lo que su uso es rentable.

3.3.4.1 EJEMPLOS MÁS CONOCIDOS:

- Sistema de fijación CTBA- HILTI
- Sistema GREIM
- Sistema BSB (BLUMER-SYSTEM-BINDER)
- Placas MENIG
- Sistema JANEBO-BULLDOG
- Anclaje BERSCHTE VERPRESS DÜBEL (BVD)
- Sistema VARAX



4 EMBARBILLADO

4.1 DEFINICIONES

Definición que se le otorga al hecho de embarbillar por distintas fuentes.

4.1.1.1 REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA (RAE):

“De en-barbilla carp. ensamblar en un madero la extremidad de otro inclinado, haciendo respectivamente entre ellos los cortes de muesca y barbilla”.

4.1.1.2 DR. ENRIQUE NUERE MATAUCO:

“ensamblar un madero con otro por medio del corte barbilla” (DARS).

“Embarbillado. A. adj. Que se aplica a los pares cuando se les da en la punta cierto corte que demuestra B; y no volando, Lleva el que demuestra M; y este llamamos despatillado, y el otro embarbillado”. (Por: Fray Lorenzo S. Nicolás. Fuente: Nuere 2008)

“Embarbillado: Embarbilladura: corte que se da a los pares para que sentando en la correa, vuelen para formar el alero como A”. (Fuente: Nuere 2008)

4.1.1.3 DOCUMENTO DE APLICACIÓN DEL CTE “DISEÑO Y CÁLCULO DE UNIONES EN ESTRUCTURAS DE MADERA”:

“un ensamblaje que consiste en el encaje de una pieza comprimida en otra pieza que la recibe mediante un entalle. Este encuentro es utilizado con frecuencia para resolver las uniones en las armaduras de cubierta y puede ser de varios tipos”. (Fuente: Argüelles; Arriaga; Íñiguez; Esteban; Fernández. MADERIA 2011)

4.2 ESTADO DEL ARTE

La unión embarbillada tiene su uso principal en los elementos de cubierta constituyendo el cerramiento superior de la mayoría de las construcciones.

Las primeras construcciones colocaban maderos de dos en dos unidos por sus extremos superiores, y dispuestos en forma de “v” invertida. Servían como soporte a ramajes, con los que se conseguía aislamiento térmico y protección contra la lluvia. Al principio estos maderos iban directamente apoyados en el terreno (pallozas) pero más tarde surgieron en la coronación de muros de un gran salón o de una iglesia. Aparece el problema del empuje horizontal, característico de este tipo de estructuras, que los carpinteros de armar estudiaron y ofrecieron diversas posibilidades, según la entidad de los empujes a contrarrestar y el tipo de madera. (Fuente: Nuere 2008)

“En el centro y norte de Europa, en las zonas poco o nada romanizadas se construía siguiendo sus métodos tradicionales, e ignorando los sistemas más racionales de las cerchas trianguladas desarrollados por la cultura romana. De estas soluciones quedan abundantes ejemplos tanto en Francia como en Alemania, en los que vemos como se resolvía mediante diferentes recursos la absorción de los importantes empujes que potencialmente generan en sus bases las soluciones resueltas con pares”. (Fuente: Nuere 2008)

El modelo más importante fue el de par y nudillo resuelto en la inmensa mayoría de los casos mediante embarbillado. Los pares arrancaban de un estribo, debidamente atirantado, y su función era contrarrestar los empujes de este tipo de armaduras. Este estudio de par y nudillo sirve de modelo a la carpintería histórica Española. (Fuente: Nuere 2014)

“Otra forma de contrarrestar los empujes, sin afectar sensiblemente a los muros sobre los que había de apoyarse, consistía en rigidizar cada pareja de pares, triangulando sólidamente su unión superior, lo que además reduce su flexión, al tiempo que además se rigidizaban sus arranques, triangulando también su apoyo en cada muro. Estas triangulaciones pueden quedar totalmente ocultas por la tablazón que forra interiormente la armadura, o puede traslucirse formando planos de armadura”.
(Fuente: Nuere 2008)

4.3 EMBARBILLADO (ENSAMBLE POR BARBILLA Y REBAJE)

El embarbillado, como se ha mencionado anteriormente, es un tipo de unión de 2 piezas de madera, que forman un ángulo inferior a 90°, en modo de ensamble. A partir del encaje de una pieza de madera comprimida en otra que la recibe a partir de un entalle o rebaje de esta última pieza.

Corresponde a una de las pocas formas de unión, de naturaleza ebanística, que pueden ser desarrolladas matemáticamente. Requiere una especial exactitud en el diseño y la ejecución, tanto de la geometría de la barbilla como de la perforación en el rebaje, ya que pueden generarse sobrecargas y roturas

Su funcionamiento estructural se asemeja a rótulas imperfectas ejecutadas en forma de cuña. Pueden transmitir únicamente fuerzas de compresión.

No resulta necesario el uso de pernos o bridas metálicas para afianzar ya que esta unión se realizaba para que las piezas mantuvieran la posición correcta.

Se utiliza en las uniones de armaduras de cubierta en los distintos casos como son: tirante-par, pendolón-tornapunta, pendolón-par.

Desventajas frente a otro tipo de uniones: inestabilidad frente a las tracciones, los movimientos laterales y los giros. Además de la inexactitud en su geometría.

Ventaja respecto a otro tipo de uniones: respecto a la unión caja - espiga, al no adelgazar la pieza en la zona espiga el debilitamiento que se originaba en el extremo desaparece.

4.4 TIPOLOGÍA DE EMBARBILLADO

Estudio de acuerdo a lo establecido por el Documento de Aplicación del CTE, "Diseño y Cálculo de Uniones en Estructuras de Madera". (Fuente: Argüelles; Arriaga; Iñiguez; Esteban; Fernández. MADERIA 2011).

4.4.1 EMBARBILLADO SIMPLE

Este tipo de ensamble se realiza en la unión de 2 piezas de madera, a partir de una única incisión o barbilla y un único rebaje.

Este tipo de unión hace que se optimice el trabajo a compresión entre la incisión (barbilla o talón) formado por el par o la tornapunta, y el elemento de apoyo (con rebaje) ya sea el tirante o el pendolón.

4.4.1.1 EMBARBILLADO FRONTAL

Tipología de ensamble más utilizada en la unión par - tirante de una cercha.

El par, o la pieza que contiene la barbilla se encaja en el rebaje del tirante siendo este la pieza que lo recibe.

GEOMETRÍA.

- La barbilla se encuentra en la zona delantera del par, y es esta la que se inserta en el tirante.
- El ángulo de corte de la barbilla al incidir es bisectriz del ángulo obtuso, 2ε , formado por el par y el tirante.
- La reducción de esta barbilla se realiza por un ángulo igual a la bisectriz del ángulo agudo β entre par y tirante, que es la mínima posible.

ESFUERZOS

- El embarbillado, como ya se ha dicho anteriormente, lo forman 2 piezas que trabajan a compresión. Por lo que la compresión que ejerce el par con la barbilla es compensada por la tensión tangencial que ejercen las fibras del tirante en ese rebaje.
- Con esta tipología de unión se produce excentricidad en el axil del par, al ser el área frontal de la barbilla la que transmite las fuerzas al tirante.
- La fuerza a transmitir se descompone en una componente normal y otra según la superficie, que es neutralizada por el roce.
- A partir de la barbilla hacia el cogote se reduce la resistencia a compresión oblicua en el frente del embarbillado, correspondiendo a la reducción de la barbilla como bisectriz del ángulo β que se observa en la geometría.

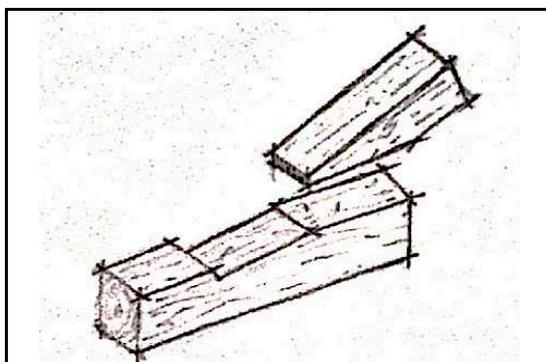


Fig. 69. Unión embarbillado simple frontal.

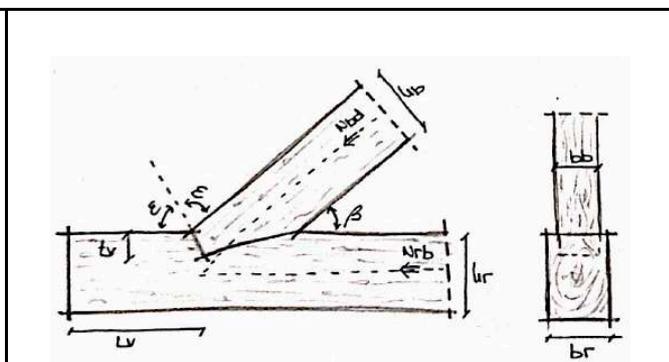


Fig. 70. Unión emb. simple frontal esquema.

4.4.1.2 EMBARBILLADO FRONTAL POR AMBAS CARAS.

Tipología de ensamble que se da en el encuentro entre el pendolón de una cercha con las tornapuntas, si se conectan en el nudo inferior, o entre el pendolón y los pares, si la conexión es en el nudo superior.

Las tres piezas deben asegurarse mediante elementos metálicos como pernos, tirafondos o herrajes, que garanticen su posición durante el transporte y montaje. Además, esto ayuda a que en situación de servicio mantengan las piezas en su plano.

GEOMETRÍA

- Esta tipología se da en caso de que se realice embarbillado por ambas caras de una pieza central.
- Los embarbillados se realizan respecto al eje del pendolón con las mismas características que el embarbillado frontal.
- Las barbillas se encuentran en la zona delantera de los pares o las tornapuntas, y son estas las que se insertan en el pendolón.
- El ángulo de corte de la barquilla al incidir es bisectriz del ángulo obtuso, 2ε , formado por el par o la tornapunta con el pendolón.
- Cada rebaje de la barquilla en el pendolón no deberá superar una profundidad $t_v = h/6$, independientemente del ángulo, β , de la unión.
- La reducción de esta barquilla se realiza por un ángulo igual a la bisectriz del ángulo agudo β entre el pendolón y la tornapunta o el par, que es la mínima posible.

ESFUERZOS

- El embarillado lo forman 3 piezas que trabajan a compresión. 2 pares (o tornapuntas dependiendo de su posición) que comprimen al pendolón y que este les recibe en su rebaje comprimiendo las barbillas.
- Con esta tipología de unión se produce excentricidad en el axil de los pares o las tornapuntas, al ser el área frontal de la barquilla la que transmite las fuerzas al pendolón.
- La fuerza a transmitir se descompone en una componente normal y otra según la superficie, que es neutralizada por el roce.
- A partir de la barquilla hacia la zona del cogote, igual que en el embarbillado frontal del que este se hace eco, se reduce la resistencia a compresión oblicua en el frente del embarbillado correspondiendo a la reducción de la barquilla en forma de bisectriz del ángulo β que se observa en la geometría.

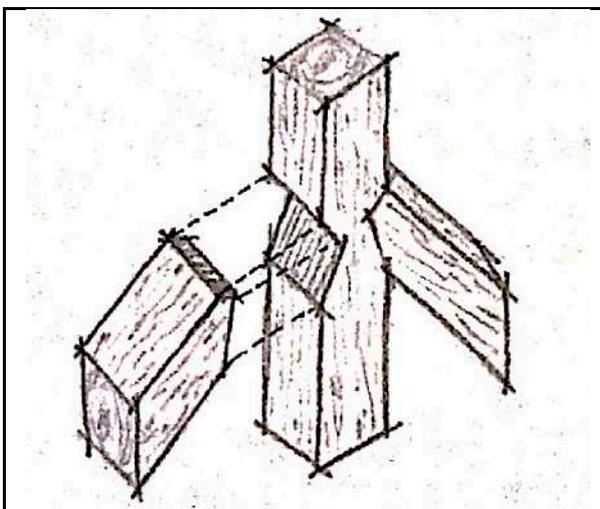


Fig. 71. Unión emb. Frontal por ambas caras.

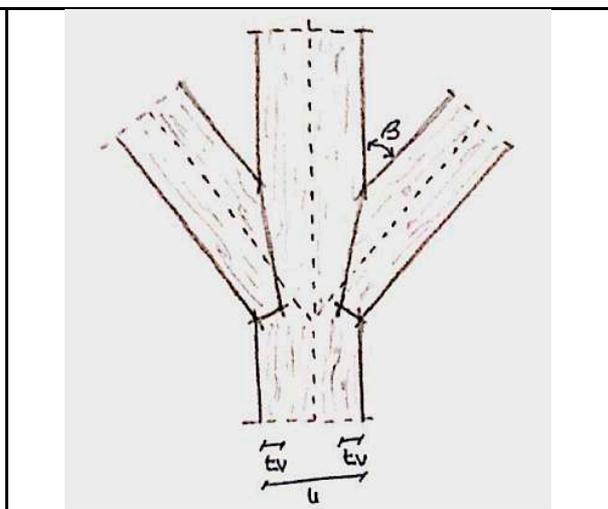


Fig. 72. Unión emb. frontal ambas caras. Esquema.

4.4.1.3 EMBARBILLADO EN ÁNGULO RECTO

El embarbillado en ángulo recto tiene características muy similares al embarbillado frontal.

Este tipo de ensamble se da en los mismos casos que el embarbillado frontal.

Anteriormente esta opción se podía tener en consideración por una mayor facilidad de fabricación de piezas en ángulo recto. En la actualidad, con la ayuda del control numérico, la fabricación es igual de sencilla en este caso que para un embarbillado frontal, por lo que no tiene beneficios.

GEOMETRÍA

- La barbilla se encuentra en la zona delantera del par, y es esta la que se inserta en el tirante.
- El ángulo de corte de la barbilla al incidir es de 90° , en relación del par con el tirante.
- La reducción de esta barbilla se realiza por un ángulo igual a la bisectriz del ángulo agudo β entre par y tirante, que es la mínima posible.

ESFUERZOS

- La compresión que ejerce el par con la barbilla en este tipo de embarbillado también es compensada por la compresión que ejerce el tirante en ese rebaje.
- Con esta tipología de unión se produce excentricidad en el axil del par, al ser el área frontal de la barbilla la que transmite las fuerzas al tirante.
- Como en los embarbillados ya mencionados anteriormente, la fuerza a transmitir se descompone en una componente normal y otra según la superficie, que es neutralizada por el roce.
- Su capacidad portante es menor que la tipología de embarbillado frontal debido a que el ángulo de corte, incidente de la barbilla en ángulo recto, conlleva una disminución de la resistencia a compresión oblicua.

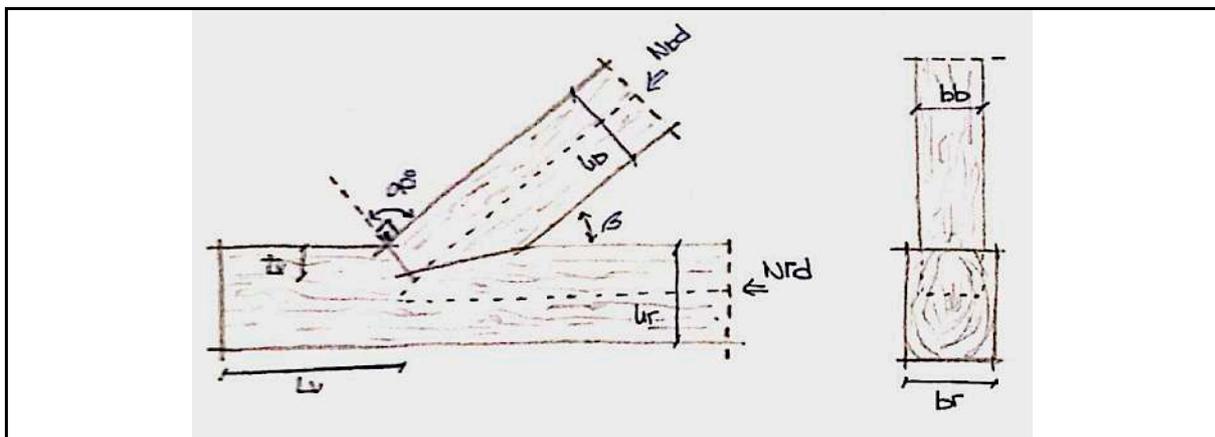


Fig. 73. Unión embarbillado simple en ángulo recto.

4.4.1.4 EMBARBILLADO DE PECHO

El embarbillado de pecho tiene similitudes con el embarbillado frontal.

La solución es menos frecuente en la construcción tradicional en España.

Este tipo de ensamble se da en los mismos casos que el embarbillado frontal.

GEOMETRÍA

- La barbilla se encuentra en la zona delantera del par, y es esta la que se inserta en el tirante.
- Como diferencia con el resto de embarbillados analizados, el par presenta una superficie frontal mayor que no penetra totalmente en el tirante.
- El ángulo de corte de la barbilla al incidir es bisectriz del ángulo obtuso, 2ε , formado por el par y el tirante.
- La reducción de esta barbilla tiene una dimensión mayor que la distancia hasta que deja de tener contacto con el tirante.

ESFUERZOS

- Los embarbillados, como ya se ha dicho anteriormente, lo forman 2 piezas que trabajan a compresión. Por lo que la compresión que ejerce el par con la barbilla es compensada por la compresión que ejerce el tirante en ese rebaje.
- El embarbillado de pecho presenta una ligera ventaja respecto al resto de embarbillados, a diferencia del resto, el axil en el par apenas sufre excentricidad.
- Al igual que en el resto de los casos ya estudiados, la fuerza a transmitir se descompone en una componente normal y otra según la superficie, que es neutralizada por el roce.
- A partir de la barbilla hacia la zona del cogote se reduce la resistencia a compresión oblicua en el frente del embarbillado, igual que en el embarbillado frontal, correspondiendo a la reducción de la barbilla en forma de bisectriz del ángulo b que se observa en la geometría.

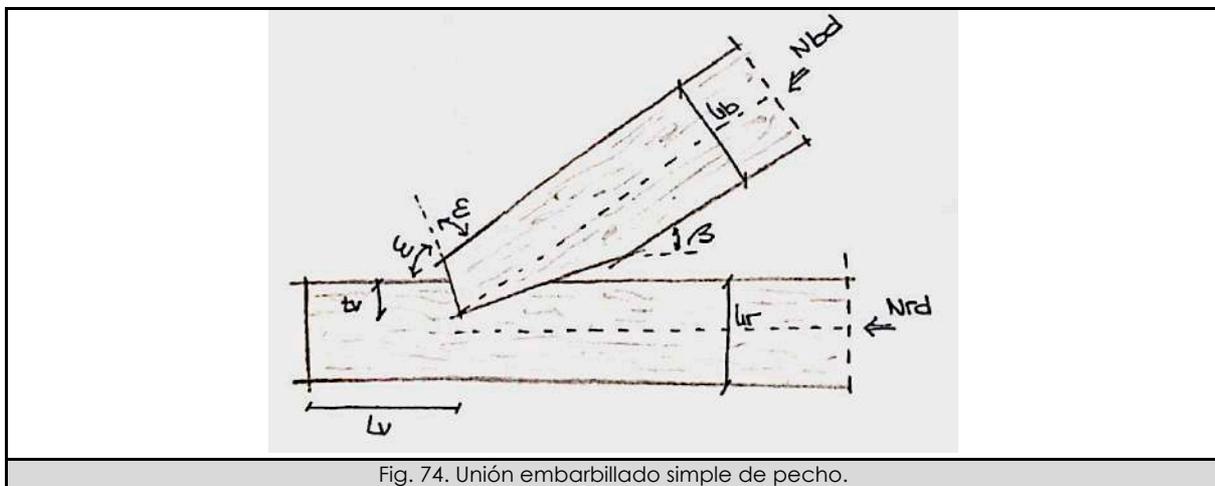


Fig. 74. Unión embarbillado simple de pecho.

4.4.1.5 EMBARBILLADO DE TALÓN

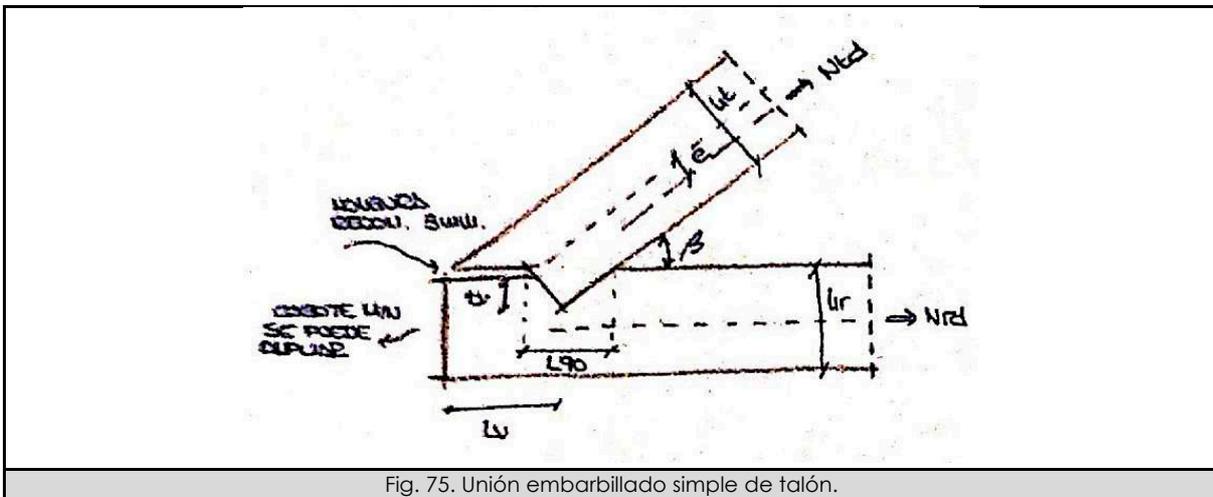
Se recurre a este tipo de embarbillados cuando la zona de apoyo de la estructura entre el tirante y el par no pueda disponerse de una materialidad de la longitud saliente exigida en un embarbillado frontal.

GEOMETRIA

- La barbilla se encuentra en la zona trasera del par, denominándose talón, y es esta la que se inserta en el tirante.
- Al igual que en el resto de tipologías, la fuerza a transmitir se descompone en una componente normal y otra según la superficie, que es neutralizada por el roce.
- Con la ejecución del talón en la parte trasera del par hace que se libere mayor superficie del tirante en el extremo (en el cogote) sin disminuir la sección lo que hace que se aumente la longitud l_v .
- Al aumentar la longitud l_v , hace que no sea necesario aumentar la longitud del tirante o longitud de cogote lo que permite la posibilidad de enrasar el tirante al extremo del par.
- El ángulo de corte del talón al incidir en el tirante es en ángulo recto, esto hace que se facilite la ejecución.
- La reducción de este talón no existe ya que al formar un ángulo recto tiene la sección completa de este par.

ESFUERZOS

- Los embarbillados, como en el resto de casos, lo forman 2 piezas que trabajan a compresión. Por lo que la compresión que ejerce el par en este caso con el talón es compensada por la compresión que ejerce el tirante en ese rebaje.
- Con esta tipología de unión se produce excentricidad en el axil del par, al ser el área frontal del talón el que transmite las fuerzas.
- La fuerza a transmitir se descompone en una componente normal y otra según la superficie, que es neutralizada por roce. Siendo una superficie del tirante menor aquella que ejerce la fuerza que resiste la compresión perpendicular a la fibra.
- Esta tipología hace que se aumente la longitud de cogote l_v , para resistir el esfuerzo rasante, sin que sea necesario aumentar la longitud del tirante.
- A partir del talón hacia la zona delantera se reduce la resistencia a compresión oblicua en el frente del embarbillado, en este caso la zona delantera del par no es eficaz para transmitir tensiones ya que es muy frecuente que pierda el contacto con el tirante.



4.4.1.6 EMBARBILLADO CON CAJA-ESPIGA

Este tipo de ensamble viene dado por la unión del tipo embarbillado frontal y el ensamble por caja - espiga.

GEOMETRÍA

- Existe una barbilla en el rebaje de la pieza que hace el ensamble en forma de caja - espiga.

ESFUERZOS

- En esta solución, al insertarse una barbilla que no ocupa todo el espesor del tirante permite resolver el problema del movimiento lateral.
- Este tipo de ensamble sigue teniendo el problema de la inestabilidad a tracción y a giro. Además al adelgazar la pieza en la zona de la espiga se origina un debilitamiento en el extremo.

Esta tipología de embarbillado tiene varios subtipos

Embarbillado con caja - espiga frontal

- 1.1.1.1. Tirante y par
- 1.1.1.2. Pendolón y par
- 1.1.1.3. Pendolón y tirante

Embarbillado con espiga triangular

Embarbillado en tenedor

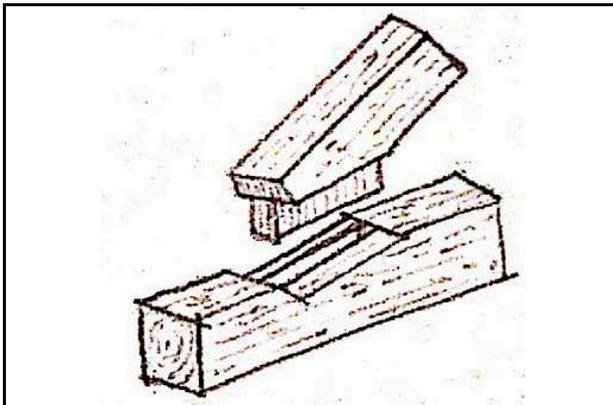


Fig. 76. Unión embarbillado simple caja-espiga.

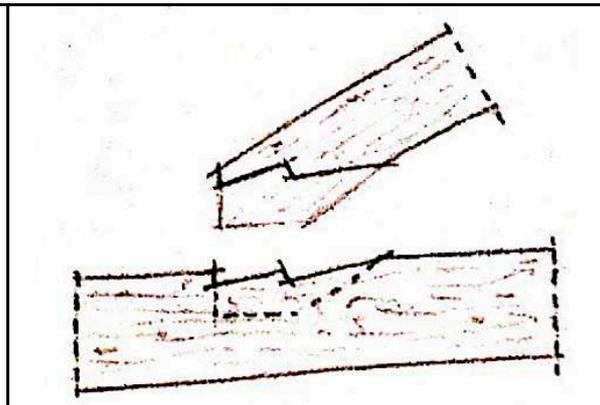


Fig. 77. Unión emb. simple caja-espiga frontal.

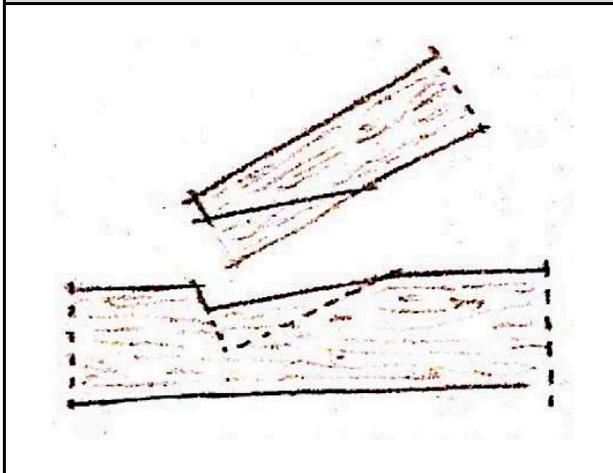


Fig. 78. Unión emb. simple caja-espiga triangular.

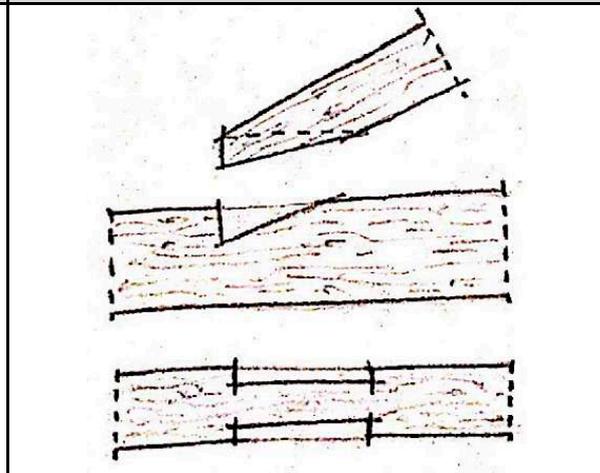


Fig. 79. Unión embarbillado simple en tenedor.

4.4.2 EMBARBILLADO DOBLE

Se usa cuando la profundidad de talón requerida resulta mayor que la admisible. Permite transmitir esfuerzos más elevados que una unión simple.

4.4.2.1 DOBLE EMBARBILLADO FRONTAL - TALÓN.

Es una combinación de un embarbillado frontal con un embarbillado de talón.

GEOMETRÍA

- Se generan dos superficies de cizalle independientes.
- La profundidad de corte del talón deberá ser 1 a 2 cm. mayor que la de la barbilla, generando 2 ensambles con distinta incisión en el tirante.
- La parte delantera o ensamble anterior se realiza en forma de embarbillado frontal. El ángulo de corte de la barbilla al incidir es bisectriz del ángulo obtuso, 2ε , formado por el par y el tirante. La reducción de esta barbilla se realiza por un ángulo igual a la bisectriz del ángulo agudo β entre par y tirante.
- La parte trasera o ensamble posterior se hace en forma de embarbillado de talón. El ángulo de corte del talón al incidir en el tirante es en ángulo recto. La reducción de este talón no existe ya que al formar un ángulo recto tiene la sección completa de este par.

ESFUERZOS

- Los embarbillados, como ya se ha dicho anteriormente, lo forman 2 piezas que trabajan a compresión. Por lo que la compresión que ejerce el par con la barbilla y el talón, en este caso, es compensada por la compresión que ejerce el tirante en los rebajes.
- El axil N_{bd} del par lo forma la resultante del axil que trabaja con el embarbillado frontal y el que trabaja con el embarbillado de talón. Se reparte de forma aproximada, al 50% sobre cada frente de las barbillas, y por tanto la excentricidad e , es prácticamente nula.
- La fuerza a transmitir se descompone en una componente normal y otra según la superficie, que es neutralizada por el roce.
- A partir de la barbilla hacia la zona del cogote se reduce la resistencia a compresión oblicua en el frente del embarbillado, correspondiendo a la reducción de la primera barbilla en forma de bisectriz del ángulo β , que se observa en la geometría.

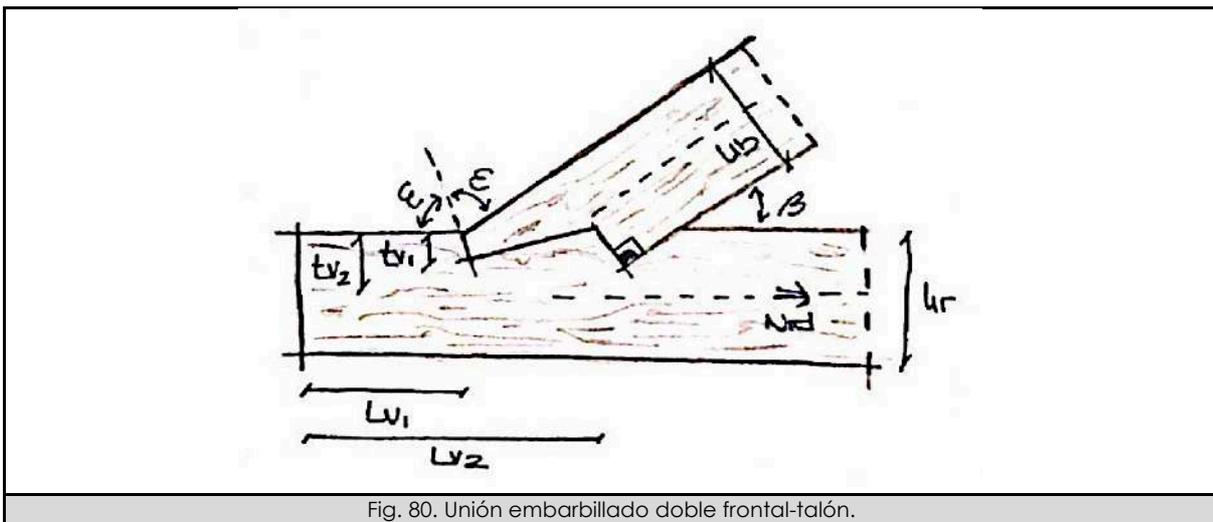


Fig. 80. Unión embarbillado doble frontal-talón.

4.4.2.2 DOBLE EMBARBILLADO ÁNGULO RECTO - TALÓN.

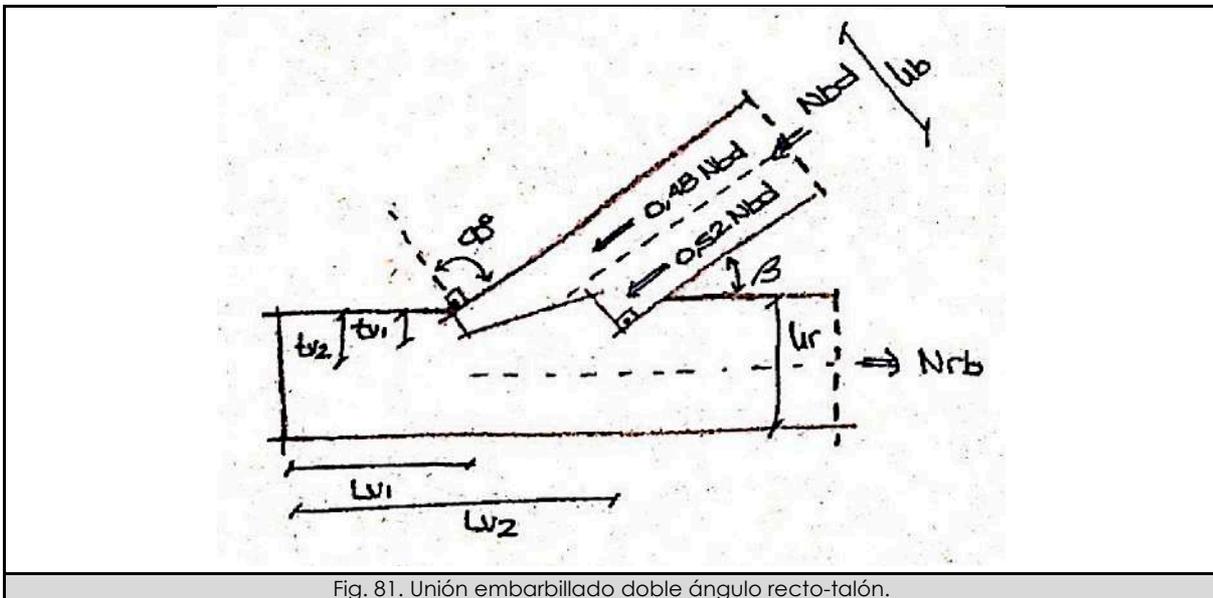
Es una combinación de un embarbillado en ángulo recto con un embarbillado de talón.

GEOMETRÍA.

- Se generan dos superficies de cizalle independientes.
- La profundidad de corte del talón deberá ser 1 a 2 cm mayor que la de la barbilla, generando 2 ensambles con distinta incisión en el tirante.
- La parte delantera o ensamble anterior se realiza en forma de embarbillado en ángulo recto. El ángulo de corte de la barbilla al incidir es de 90° . La reducción de esta barbilla se realiza por un ángulo igual a la bisectriz del ángulo agudo β entre par y tirante.
- La parte trasera o ensamble posterior se hace en forma de embarbillado de talón. El ángulo de corte del talón al incidir en el tirante es en ángulo recto, en este caso igual que la barbilla. La reducción de este talón no existe ya que al formar un ángulo recto tiene la sección completa de este par.

ESFUERZOS.

- Los embarbillados, lo forman 2 piezas que trabajan a compresión. Por lo que la compresión que ejerce el par con la barbilla y el talón, en este caso, es compensada por la compresión que ejerce el tirante en los rebajes.
- El axil N_{bd} del par lo forma la resultante del axil que trabaja con el embarbillado en ángulo recto y el que trabaja con el embarbillado de talón. El reparto del axil N_{bd} es ligeramente desigual quedando más cargado el talón. No obstante, la excentricidad es prácticamente despreciable.
- La fuerza a transmitir se descompone en una componente normal y otra según la superficie, que es neutralizada por el roce.
- A partir de la barbilla hacia la zona del cogote se reduce la resistencia a compresión oblicua en el frente del embarbillado, correspondiendo a la reducción de la primera barbilla en forma de bisectriz del ángulo β que se observa en la geometría.



4.4.2.3 DOBLE EMBARBILLADO CAJA - ESPIGA.

Este tipo de ensamble viene dado por la unión del tipo doble embarbillado frontal y el ensamble por caja - espiga.

GEOMETRÍA

- Se generan dos superficies de cizalle independientes.
- La profundidad de corte del talón deberá ser 1 a 2 cm mayor que la de la barbilla, generando 2 ensambles con distinta incisión en el tirante.
- Está formado por dos barbillas en el rebaje de la pieza que hace el ensamble en forma de caja - espiga.
- Ambos embarbillados siguen las condiciones de embarbillado frontal: El ángulo de corte de la barbilla al incidir es bisectriz del ángulo obtuso, 2ε , formado por el par y el tirante. La reducción de esta barbilla se realiza por un ángulo igual a la bisectriz del ángulo agudo β entre par y tirante.

ESFUERZOS

- En esta solución, al insertarse las barbillas y no ocupar todo el espesor del tirante permite resolver el problema del movimiento lateral.
- Este tipo de ensamble sigue teniendo el problema de la inestabilidad a tracción y a giro. Además al adelgazar la pieza en la zona de la espiga se origina un debilitamiento en los extremos.

4.5 DIMENSIONADO

No existen casi normas de cálculo que incluyan reglas de dimensionado para las uniones carpinteras. Esto se debe a su falta de uso en las últimas décadas, cuando las uniones mecánicas casi habían sustituido a las carpinteras.

El cálculo de las uniones carpinteras se basa, en general, en la comprobación de la capacidad portante que se realiza de forma simplificada por el procedimiento de comprobación de las tensiones normales de compresión localizadas y las tensiones tangenciales en los cogotes de las piezas, generadas en la transmisión de los esfuerzos.

Este método no siempre tiene en cuenta la concentración de tensiones, efecto de hienda y tracción perpendicular a la fibra, que pueden resultar críticos en el diseño de la unión.

Donde la comprobación de la unión mediante cálculo no es posible o fiable, debe realizarse ensayo de los modelos y actualmente se recurre al Método de Elementos finitos .

En la tipología de uniones carpinteras los esfuerzos se transmiten a compresión entre sus piezas, no están diseñadas para resistirlos de manera inversa. Una de las comprobaciones que se realiza consiste estudiar la inversión de esfuerzos, sobretodo por la acción del viento en cubiertas ligeras. En el caso de que esta comprobación no cumplan deberán disponerse herrajes (elementos mecánicos) que respondan ante esos esfuerzos.

En las comprobaciones de las piezas hay que tener en cuenta las reducciones de sección que sufren en los ensambles debidas a los rebajes y las cajas.

4.5.1 NORMATIVA:

- Eurocódigo 5: no se calcula las uniones carpinteras.
- Anexo nacional del Eurocódigo de algunos países Europeos (Alemania y Austria): reglas para la comprobación de las uniones carpinteras de embarbillado y la caja y espiga. (Normas DIN EN 1995-1-1/NA:2013 y ÖNORM EN 1995-1-1/NA:2014).
- DIN 1052:2008: muy similar en su planteamiento a las reglas DIN EN 1995-1-1/NA:2013 y ÖNORM EN 1995-1-1/NA:2014
- Timber Engineering STEP 1: cálculo de algunos parámetros en uniones carpinteras como son el embarbillado y la caja y espiga
- DB-SE de Estructuras de Madera del CTE: se incluye únicamente unas reglas para el cálculo de uniones embarbilladas.

4.5.2 METODOLOGÍA

La metodología de cálculo sigue lo establecido por el Documento de Aplicación del CTE, "Diseño y Cálculo de Uniones en Estructuras de Madera". (Fuente: Argüelles; Arriaga; Íñiguez; Esteban; Fernández. MADERIA 2011).

4.5.2.1 COMPROBACIONES:

- Comprobación de tensiones de compresión localizadas.
- Comprobación de tensiones rasantes.
- Comprobación de las reducciones de secciones originadas en las piezas.

En zonas de unión solicitadas a cizalladura, compresión o tracción perpendicular, la calidad de la madera ha de ser al menos C22.

4.5.2.2 SIMPLIFICACIONES ADOPTADAS EN EL CÁLCULO:

- Las fuerzas en las caras del ensamble actúan perpendicularmente a las secciones sobre las que actúan.
- Se desprecia el rozamiento por contacto entre las piezas.
- La distribución de esfuerzos de sección sobre las caras en contacto atiende a supuestos de reparto.
- Actúa una compresión oblicua suponiendo que la orientación de la fibra es paralela a los ejes de las piezas.

4.5.3.1 EMBARBILLADO FRONTAL

NORMATIVA:

Actualmente se utiliza un procedimiento de cálculo para el predimensionado y la comprobación de la unión siguiendo la normativa del CTE. DB-SE-M. Es una recopilación y posterior estudio de distintas normativas como son la Norma DIN 1052:2008 y Timber Engineering STEP 1.

Norma DIN 1052:2008. Estandariza la profundidad de la barbilla dependiendo de la pendiente entre la pieza de la barbilla y la pieza del rebaje.

Embarbillado simple frontal:

"En los embarbillados no se podrá contar con el efecto del roce, y la profundidad de corte t_v podrá ascender como máximo a 1/4 de la altura del madero recortado para ángulos de unión no superiores a 50° y a 1/6 de la misma para ángulos de unión mayores que 60°. Ángulos entre 50 y 60° se interpolará linealmente."

Embarbillado simple frontal por ambas caras:

"Al existir cortes de embarbillado desde ambos lados cada corte podrá ascender como máximo a 1/6 de la altura del madero recortado, cualesquiera que sea el ángulo de unión."

Timber Engineering STEP 1: Comprueba la unión por el cálculo de la compresión oblicua en el frente de la barbilla

La zona de unión en las piezas de madera tiene que cumplir con la capacidad de carga.

Cuando el ángulo β está entre los 30 y 60° solo se tiene en cuenta las dimensiones de la barbilla, se calcularán con el espesor de la barbilla y el de la pieza rebajada sin contar el rebaje.

Comprobación: esfuerzo de compresión

$$\sigma_{c, \alpha, d} \leq \frac{f_{c, 0, d}}{f_{c, 90, d} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

Al simplificarse con las condiciones que optimizan la unión:

- $\beta = \frac{1}{2} \alpha$
- Valor de α es el menor posible entre la pieza con barbilla y la pieza con rebaje.

Comprobación: compresión oblicua en el frente de la barbilla:

$$\sigma_{c, \alpha, d} = \frac{F_d}{bb \cdot t_v / \cos^2 \alpha}$$

- Cualquier excentricidad en la unión puede causar tensiones de flexión adicionales en la pieza de barbilla.
- Debe tenerse en cuenta la reducción de la sección por el rebaje en la pieza rebajada al calcular las tensiones.

NOTA: se diferencia de la actual normativa del CTE en el cuadrado del coseno del ángulo.

Documento de Aplicación del CTE, "Diseño y Cálculo de Uniones en Estructuras de Madera"

ANÁLISIS DE ESFUERZOS:

- Casi toda la carga se transmite a través del frente de la barbilla, sobre todo si se produce una contracción de la madera por secado, por lo que se admite considerar que sobre la superficie de la barbilla la tensión es perpendicular a la misma despreciando las fuerzas de rozamiento entre las superficies de las piezas.
- Al representar las fuerzas que llegan por el par, la fuerza principal es el axil N_{bd} , que está acompañado por el esfuerzo cortante, V_{bd}
- El esfuerzo cortante causa un efecto favorable en las comprobaciones a compresión oblicua y tensión tangencial en el cogote. Tiene un valor normalmente mucho más reducido que el del axil, lo que lleva a que la normativa DIN 1052 no lo considere.
- La resultante de ambos esfuerzos, R , se descompone en dos fuerzas perpendiculares entre sí: F_1 que resulta perpendicular a la superficie de la barbilla y F_2 en dirección perpendicular a la anterior.
- Para lograr el equilibrio en el nudo se constituye la reacción en el apoyo. aparece la fuerza horizontal F_3 , que coincide con el axil de tracción en el tirante, y la fuerza F_4 , que somete a compresión perpendicular al tirante sumada al esfuerzo cortante del tirante.

Expresiones de las componentes:

$$F_1 = N_{bd} \cdot \cos \alpha + V_{bd} \cdot \operatorname{sen} \alpha$$

$$F_2 = N_{bd} \cdot \operatorname{sen} \alpha + V_{bd} \cdot \cos \alpha$$

$$F_3 = N_{bd} \cdot \cos \beta + V_{bd} \cdot \operatorname{sen} \beta$$

$$F_4 = F_1 \cdot \operatorname{sen} \alpha + F_2 \cdot \cos \alpha$$

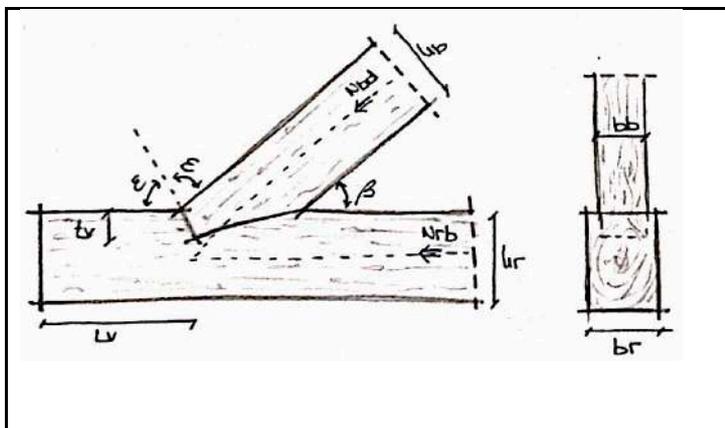


Fig. 83. Unión embarbillado simple frontal.

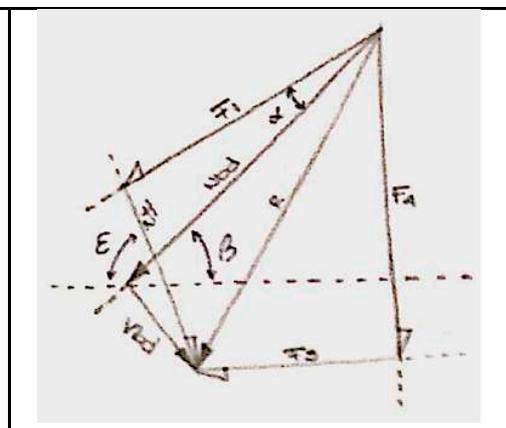


Fig. 84. Fuerzas que actúan en el par.

PARÁMETROS

Para un predimensionado se estipulan los siguientes parámetros:

Profundidad de la barbilla, t_v

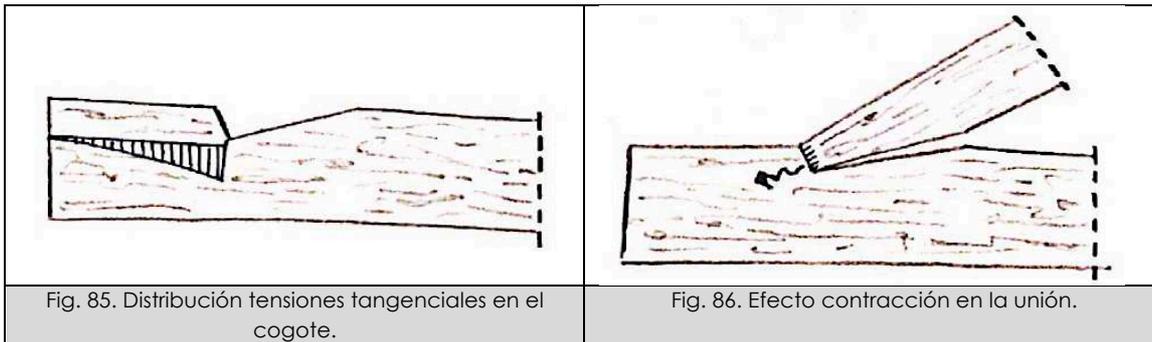
- La profundidad de la barbilla debe cumplir:
 - $t \leq h/4$ para $\beta \leq 50^\circ$
 - $t < h/120 (80 - \beta)$ para $50 < \beta \leq 60^\circ$
 - $t \leq h/6$ para $\beta \leq 60^\circ$
- En el caso de que sea un embarbillado frontal por ambas caras hay que tener en cuenta que en el encuentro entre el pendolón de una cercha y las tornapuntas o los pares, cada rebaje no deberá superar una profundidad $t_v = h/6$, independientemente del ángulo, β , de la unión.

Longitud del cogote, l_v

La tensión tangencial llega a su máximo valor en el vértice inferior de la caja y disminuye a lo largo del cogote.

A efectos de cálculo, se toman los siguientes valores que permiten un reparto uniforme de la tensión tangencial en el cogote:

- Valor mínimo longitud de cogote:
 $l_v \text{ MIN} = 200 \text{ mm (DIN 1052)}$
 $l_v \text{ MIN} = 150 \text{ mm (DB-SE-M)}$
- Valor máximo longitud de cogote para poder admitir una distribución uniforme de la fuerza F_3 en la superficie a rasante.
 $l_v \text{ MAX} = 8 \cdot t_v$



Comprobación: Compresión oblicua en el frente de la barbilla.

$$\frac{\sigma_{c, \alpha, d}}{f_{c, \alpha, d}} \leq 1$$

- $\sigma_{c, \alpha, d}$ la tensión de compresión oblicua en el frente de la barbilla

$$\sigma_{c, \alpha, d} = \frac{F_1}{bb \cdot tv / \cos \alpha}$$

- F_1 , fuerza de compresión perpendicular a la superficie del frente de la barbilla
- $f_{c, \alpha, d}$ resistencia a compresión oblicua.

$$f_{c, \alpha, d} = \frac{f_{c, 0, d}}{\sqrt{\left(\left(\frac{f_{c, 0, d}}{2 \cdot f_{c, 90, d}} \cdot \text{sen}^2 \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{c, 0, d}}{2 \cdot f_{v, d}} \cdot \text{sen} \alpha \cdot \cos \alpha \right)^2 + \cos^4 \alpha \right)}}$$

Definida en la norma DIN 1052. Especifica para la comprobación de la compresión oblicua en ensambles de barbilla.

- $f_{c, 0, d}$ resistencia de cálculo a compresión paralela a la fibra
- $f_{c, 90, d}$ resistencia de cálculo a compresión perpendicular a la fibra
- $f_{v, d}$ resistencia de cálculo a cortante
- α ángulo entre la dirección de la tensión de compresión y la dirección de la fibra. En este caso, $\alpha = \beta/2$

Comprobación: tensión tangencial rasante en el cogote

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

- τ_d tensión tangencial en la superficie del cogote ($b_r \cdot l_v$) producida por la fuerza F_3

$$\tau_d = \frac{F_3}{b_r \cdot l_v}$$

Comprobación: compresión perpendicular sobre el tirante.

La tensión perpendicular a la fibra es muy reducida y no es relevante salvo en casos con fuertes pendientes de los pares. La norma DIN 1052 no la tiene en cuenta.

Para este apartado se supone que la componente vertical F_4 se reparte sobre la superficie completa ($b \cdot l_{90}$).

Sin embargo, la fuerza F_2 , que es responsable de la mayor parte de la fuerza F_4 , puede transmitirse con facilidad por rozamiento en la superficie del frente de la barbilla. Normalmente, el valor de F_1 es mucho mayor que el valor de F_2 , y el efecto del rozamiento permite la transmisión de F_2 a través de la superficie de contacto, dando lugar a una compresión perpendicular a la fibra más concentrada que este estudio.

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

- $\sigma_{c,90,d}$ tensión de compresión perpendicular a la fibra sobre la superficie ($b_b \cdot l_{90}$) provocada por la fuerza F_4
- $l_{90} = h_b / \sin \beta$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_4}{b_b \cdot l_{90}} = \frac{F_4 \cdot \sin \beta}{b_b \cdot h_b}$$

Excentricidad en el par

Como ya hemos dicho, casi la totalidad de la fuerza axil N_{bd} se transmite al tirante a través del frente de la barbilla. Esto conduce a una desviación del esfuerzo axil, con una excentricidad, e , que la norma DIN 1052 también contempla.

$$e = \frac{hb - tv}{2}$$

- Origina un momento flector en el par, tracciona el borde inferior. $\Delta M_d = N_{bd} \cdot e$.
- Este momento, se sumaría al momento del vano, si existe.

Excentricidad en el tirante

Al tener en cuenta los apoyos del tirante. No en este trabajo.

En el tirante se origina un momento flector, principalmente cuando los ejes de ambas barras tienen su intersección fuera de la línea de acción de la reacción, V_d

- $\Delta M_d \approx V_{d \text{ apoyo tirante}} \cdot a - N_{rd} \cdot h_r / 2$

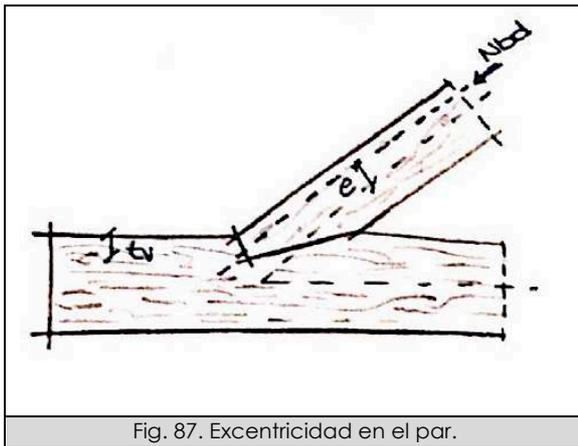


Fig. 87. Excentricidad en el par.

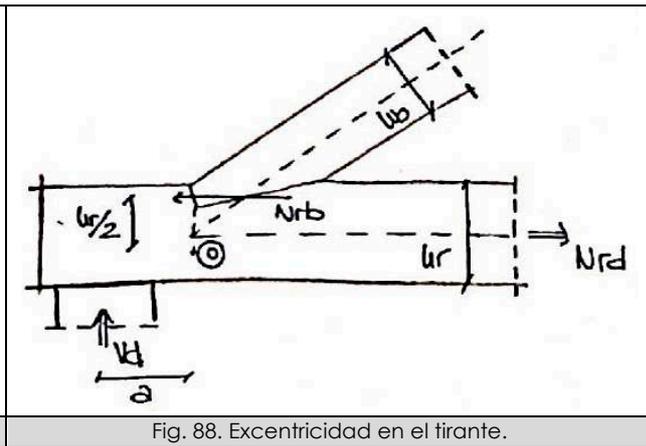


Fig. 88. Excentricidad en el tirante.

SIMPLIFICACIONES:

En el estudio de la aplicación del CTE, "Diseño y Cálculo de Uniones en Estructuras de Madera" se realizan cálculos para comprobaciones y predimensionados tomando ciertas licencias de que lo optimizan y simplifican.

COMPROBACIÓN: se realiza en el tirante al ser la pieza más desfavorable

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

- $\sigma_{t,0,d}$ tensión de tracción producida por el axil, $N_{r,d}$ calculada con el área neta de la sección del tirante (descontando el rebaje)
- $\sigma_{m,d}$ tensión de flexión originada por el momento flector ΔM_d , una vez calculada con el área neta
- $f_{t,0,d}$ y $f_{m,d}$ resistencias de cálculo a tracción paralela a la fibra y a flexión, respectivamente.
- La distancia a, siempre que sea posible deberá elegirse para minimizar el momento ΔM_d .
- Se calcula igualando el momento a cero.

$$a = \frac{Nrd \cdot hr}{2 \cdot Vd}$$

En la mayoría de los casos se desprecia el valor del cortante en el par, así se obtiene que el valor óptimo de a es función únicamente del ángulo de la pendiente de cubierta β .

Ángulo β	Relación a / h_r
20	0,41
25	0,38
30	0,35
35	0,33
40	0,29

Tabla: Distancia a para evitar momento flector

PREDIMENSIONADO

Tiene en cuenta parámetros como:

- Capacidad de tensión tangencial en el cogote, sin considerar el esfuerzo cortante ($V_{b,d} = 0$), hecho que va a favor de la seguridad.

$$\frac{Nbd \cdot \cos\beta}{br \cdot lv \cdot f_{v,d}} \leq 1$$

- Valor máximo que permite suponer una distribución uniforme de las tensiones rasantes, $l_v = 8 \cdot t_v$, de tal forma que se hace $t_v = h_r/4$ o $t_v = h_r/5$

$$it, o \leq 2 \cdot \frac{f_{v,d}}{f_{t,0,d}} \quad tv = h_r/4; \beta \leq 50^\circ; l_v = 8 \cdot t_v$$

$$it, o \leq \frac{8}{5} \cdot \frac{f_{v,d}}{f_{t,0,d}} \quad tv = h_r/5; \beta \leq 50^\circ; l_v = 8 \cdot t_v$$

- $i_{t,0}$ el índice de agotamiento por tracción de la sección bruta del tirante

$$(N_{rd} / (b_r \cdot h_r \cdot f_{t,0,d}))$$

Índice de agotamiento $i_{t,0}$		
	$t_v = h_r/5$	$t_v = h_r/4$
C14 - C16	0,60 - 0,51	0,75 - 0,64
C18 - C20	0,49 - 0,48	0,62 - 0,60
C22 - C24	0,43 - 0,46	0,54 - 0,57
C27 - C30	0,40 - 0,36	0,50 - 0,44

Tabla: Índices de agotamiento del tirante en tracción bruta
($i_{t,0} = N_{rd} / (b_r \cdot h_r \cdot f_{t,0,d})$) máximos para la validez de la longitud del cogote $l_v = 8 \cdot t_v$.

CONDICIÓN DE COMPRESIÓN OBLICUA

Como condición de compresión oblicua, sin considerar el esfuerzo cortante ($V_{b,d} = 0$), hecho que va a favor de la seguridad.

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,d}} = \frac{Nbd \cdot \cos^2\alpha}{bb \cdot tv \cdot f_{c,\alpha,d}} = \frac{Nbd \cdot \cos^2\alpha}{bb \cdot (hr/n) \cdot f_{c,\alpha,d}} \leq 1$$

Simplificando suponemos que la altura del tirante es igual a la altura del par ($h_r = h_b$)

$$\frac{Nbd}{bb \cdot hb} \cdot \frac{n \cdot \cos^2\alpha}{f_{c,\alpha,d}} = \sigma_{c,0,d} \frac{n \cdot \cos^2\alpha}{f_{c,\alpha,d}} \leq 1$$

- n , valor mayor o igual a 4, según la profundidad de la barbilla

$$n = 4 \text{ para } t_v = h_r/4$$

$$n = 5 \text{ para } t_v = h_r/5$$

- $f_{c,\alpha,d}$ resistencia a compresión oblicua.

$$ic,0 \leq \frac{K4}{n \cdot \cos^2\alpha}$$

- k_4 varía muy poco para las clases resistentes C14 a C30 por esto se toma como constante para cada ángulo β

$$K4 = \frac{1}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \sin^2\alpha + \cos^2\alpha}$$

Índice de agotamiento $i_{c,0}$		
β°	$t_v = h/5$	$t_v = h/4$
15	0,18	0,23
20	0,17	0,21
25	0,16	0,19
30	0,14	0,18
35	0,13	0,16
40	0,12	0,15

Tabla: Índice máximo de agotamiento del par por comp. bruta (sin efecto de pandeo) admisible para la validez de la tensión de compresión oblicua en el embarbillado simple. Tomando $h_b = h_r$.

4.5.3.2 EMBARBILLADO ÁNGULO RECTO

NORMATIVA:

Actualmente se utiliza un procedimiento de cálculo para el predimensionado y la comprobación de la unión siguiendo la normativa del CTE. DB-SE-M. Es una recopilación y evolución de distintas normativas como son la Norma DIN 1052:2008 y Timber Engineering STEP 1.

Norma DIN 1052:2008. Misma normativa que en el embarbillado simple frontal. Estandariza la profundidad de la barbilla dependiendo de la pendiente entre la pieza de la barbilla y la pieza del rebaje.

“En los embarbillados no se podrá contar con el efecto del roce, y la profundidad de corte t_v podrá ascender como máximo a 1/4 de la altura del madero recortado para ángulos de unión no superiores a 50° y a 1/6 de la misma para ángulos de unión mayores que 60°. Ángulos entre 50 y 60° se interpolará linealmente.”

Timber Engineering STEP 1: Comprueba la unión por el cálculo de la compresión oblicua en el frente de la barbilla

La zona de unión en las piezas de madera tiene que cumplir con la capacidad de carga.

Cuando el ángulo β está entre los 30 y 60° solo se tiene en cuenta las dimensiones de la barbilla, se calcularán con el espesor de la barbilla y el de la pieza rebajada sin contar el rebaje.

Comprobación: esfuerzo de compresión:

$$\sigma_{c, \alpha, d} \leq \frac{f_{c, 0, d}}{f_{c, 90, d} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

Al simplificarse con las condiciones de esta tipología:

- $\beta = \alpha$
- Valor de α es el menor posible entre la pieza con barbilla y la pieza con rebaje.

Comprobación: compresión oblicua en el frente de la barbilla:

$$\sigma_{c, \alpha, d} = \frac{F_d}{bb \cdot t_v / \cos \alpha}$$

- Cualquier excentricidad en la unión puede causar tensiones de flexión adicionales en la pieza de barbilla.
- Debe tenerse en cuenta la reducción de la sección por el rebaje en la pieza rebajada al calcular las tensiones.

NOTA: no diferencia con la actual normativa del CTE DB-SE-M.

Documento de Aplicación del CTE, “Diseño y Cálculo de Uniones en Estructuras de Madera”

ANÁLISIS DE ESFUERZOS

- Al igual que ocurre en el embarbillado frontal, casi toda la carga se transmite a través del frente de la barbilla, sobre todo si se produce una contracción de la madera por secado, por lo que se admite considerarse que sobre la superficie de la barbilla la tensión es perpendicular a la misma despreciando las fuerzas de rozamiento entre las superficies de las piezas.
- Al representar las fuerzas que llegan por el par, la fuerza principal es el axil N_{bd} , que está acompañado por el esfuerzo cortante, V_{bd}

- En este caso el esfuerzo cortante tiene una capacidad portante algo menor que en el embarbillado frontal debido a que este ángulo de corte conlleva una disminución de la resistencia a compresión oblicua.
- Este hecho causa un efecto favorable en las comprobaciones a compresión oblicua y tensión tangencial en el cogote.
- El valor del esfuerzo cortante es mucho más reducido que el del axil, lo que lleva a que la normativa DIN 1052 no lo considere.

La resultante de ambos esfuerzos, R , se descompone en dos fuerzas perpendiculares entre sí:

La fuerza F_1 , perpendicular a la superficie de corte de la barbilla, coincide con el axil N_{bd} del par. Y la fuerza F_2 , con el cortante, V_{bd} .

La fuerza F_1 de compresión actúa en dirección paralela a la fibra en el par y de forma oblicua, con un ángulo β , sobre el tirante.

Para lograr el equilibrio en el nudo se constituye la reacción en el apoyo. aparece la fuerza horizontal F_3 , que coincide con el axil de tracción en el tirante, y la fuerza F_4 , perpendicular a F_3 que somete a compresión perpendicular al tirante sumada al esfuerzo cortante del tirante.

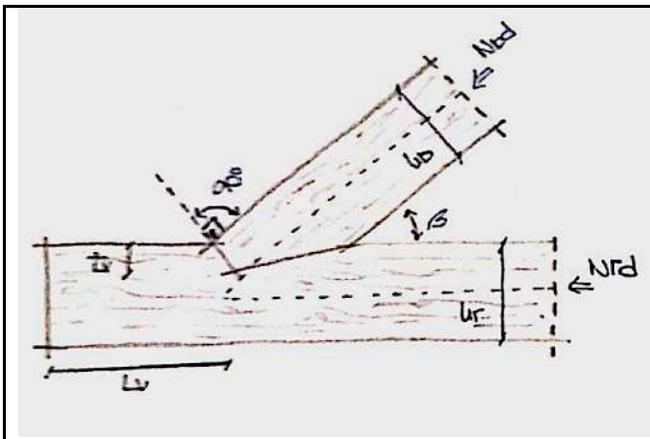


Fig. 89. Unión embarbillado simple en ángulo recto.

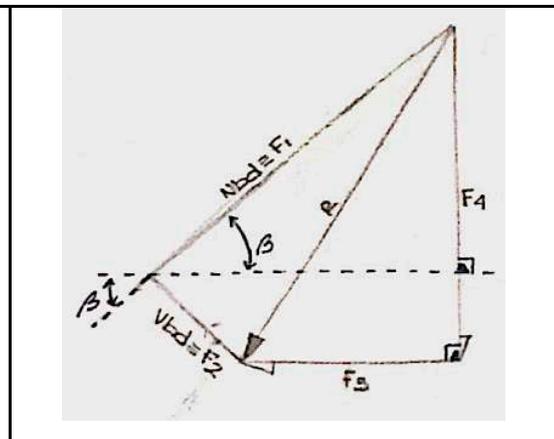


Fig. 90. Fuerzas que actúan en el par.

PARÁMETROS

Profundidad de la barbilla, t_v (Igual a Embarbillado Frontal)

Longitud del cogote, l_v (Igual a Embarbillado Frontal)

Comprobación: compresión oblicua en el frente de la barbilla.

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,d}} \leq 1$$

- $\sigma_{c,\alpha,d}$ la tensión de compresión oblicua en el frente de la barbilla

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_1}{bb \cdot tv / \cos\alpha}$$

- F_1 , fuerza de compresión perpendicular a la superficie del frente de la barbilla

- $f_{c,\alpha,d}$ resistencia a compresión oblicua.

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\left(\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{c,90,d}} \cdot \operatorname{sen}^2 \alpha\right)^2\right) + \left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{v,d}} \cdot \operatorname{sen} \alpha \cdot \operatorname{cos} \alpha\right)^2 + \operatorname{cos}^4 \alpha}}$$

Definida en la norma DIN 1052. Específica para la comprobación de la compresión oblicua en ensambles de barbilla.

- $f_{c,0,d}$ resistencia de cálculo a compresión paralela a la fibra
- $f_{c,90,d}$ resistencia de cálculo a compresión perpendicular a la fibra
- $f_{v,d}$ resistencia de cálculo a cortante
- α ángulo entre la dirección de la tensión de compresión y la dirección de la fibra, pendiente del par. En este caso el ángulo α coincide con el β , $\alpha = \beta$

Comprobación: tensión tangencial rasante en el cogote (Igual a Embarbillado Frontal)

Comprobación: compresión perpendicular sobre el tirante (Igual a Embarbillado Frontal)

Excentricidad en el par (Igual a Embarbillado Frontal)

Excentricidad en el tirante (Igual a Embarbillado Frontal)

4.5.3.3 EMBARBILLADO DE PECHO

NORMATIVA:

Actualmente se utiliza un procedimiento de cálculo para el predimensionado y la comprobación de la unión siguiendo la normativa del CTE. DB-SE-M. Es una recopilación y evolución de distintas normativas como son la Norma DIN 1052:2008 y Timber Engineering STEP 1.

Norma DIN 1052:2008. Estandariza la profundidad de la barbilla dependiendo de la pendiente entre la pieza de la barbilla y la pieza del rebaje.

“En los embarbillados no se podrá contar con el efecto del roce, y la profundidad de corte t_v podrá ascender como máximo a $1/4$ de la altura del madero recortado para ángulos de unión no superiores a 50° y a $1/6$ de la misma para ángulos de unión mayores que 60° . Ángulos entre 50 y 60° se interpolará linealmente.”

Timber Engineering STEP 1: no hace referencia a esta tipología.

Documento de Aplicación del CTE, “Diseño y Cálculo de Uniones en Estructuras de Madera”

ANÁLISIS DE ESFUERZOS

El par presenta una superficie frontal mayor que no penetra totalmente en el tirante.

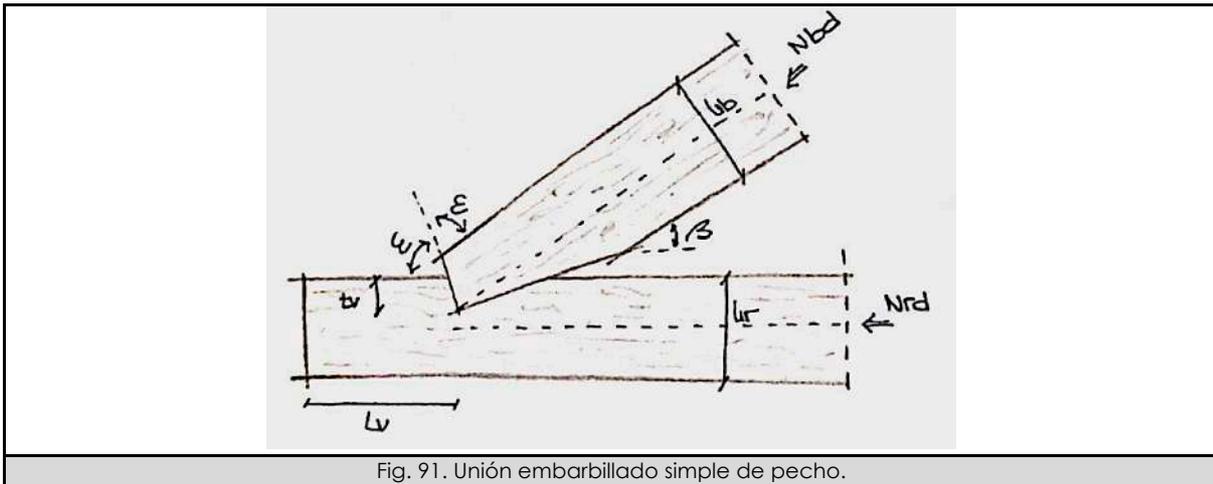


Fig. 91. Unión embarbillado simple de pecho.

PARÁMETROS

Profundidad de la barbilla, t_v (Igual a Embarbillado Frontal)

Longitud del cogote, l_v (Igual a Embarbillado Frontal)

Comprobación: compresión oblicua en el frente de la barbilla. (Igual a Embarbillado Frontal)

Comprobación: tensión tangencial rasante en el cogote. (Igual a Embarbillado Frontal)

Comprobación: compresión perpendicular sobre el tirante. (Igual a Embarbillado Frontal)

Excentricidad en el par

Al tener el par una superficie mayor que no penetra totalmente en el tirante, la excentricidad en el axil de este N_{pd} es prácticamente despreciable.

En la bibliografía especializada se toma normalmente $e \approx 0$, y en algunos casos $e \approx t_v / 4$.

Excentricidad en el tirante. *(Igual a Embarbillado Frontal)*

4.5.3.4 EMBARBILLADO DE TALÓN

NORMATIVA:

Actualmente se utiliza un procedimiento de cálculo para el predimensionado y la comprobación de la unión siguiendo la normativa del CTE. DB-SE-M. Es una recopilación y evolución de distintas normativas como son la Norma DIN 1052:2008 y Timber Engineering STEP 1.

Norma DIN 1052:2008. Estandariza la profundidad del talón dependiendo de la pendiente entre la pieza del talón y la pieza del rebaje.

"En los embarbillados no se podrá contar con el efecto del roce, y la profundidad de corte t_v podrá ascender como máximo a 1/4 de la altura del madero recortado para ángulos de unión no superiores a 50° y a 1/6 de la misma para ángulos de unión mayores que 60°. Ángulos entre 50 y 60° se interpolará linealmente."

Timber Engineering STEP 1: Comprueba la unión por el cálculo de la compresión oblicua en el frente del talón.

La zona de unión en las piezas de madera tiene que cumplir con la capacidad de carga.

Cuando el ángulo β está entre los 30 y 60° solo se tiene en cuenta las dimensiones del talón, se calcularán con el espesor del talón y el de la pieza rebajada sin contar el rebaje.

Comprobación: esfuerzo de compresión:

$$\sigma_{c, \alpha, d} \leq \frac{f_{c, 0, d}}{\frac{f_{c, 0, d}}{f_{c, 90, d}} \cdot \text{sen}^2 \alpha + \text{cos}^2 \alpha}$$

Al simplificarse con las condiciones de esta tipología:

- $\beta = \alpha$
- Valor de α es el menor posible entre la pieza con talón y la pieza con rebaje.

Comprobación: compresión oblicua en el frente del talón:

$$\sigma_{c, \alpha, d} = \frac{F_d}{bb \cdot t_v / \text{cos} \alpha}$$

- Cualquier excentricidad en la unión puede causar tensiones de flexión adicionales en la pieza del talón.
- Debe tenerse en cuenta la reducción de la sección por el rebaje en la pieza rebajada al calcular las tensiones.

NOTA: no diferencia con la actual normativa del CTE DB-SE-M.

ANÁLISIS DE ESFUERZOS

La barbilla se ejecuta en la parte trasera del par.

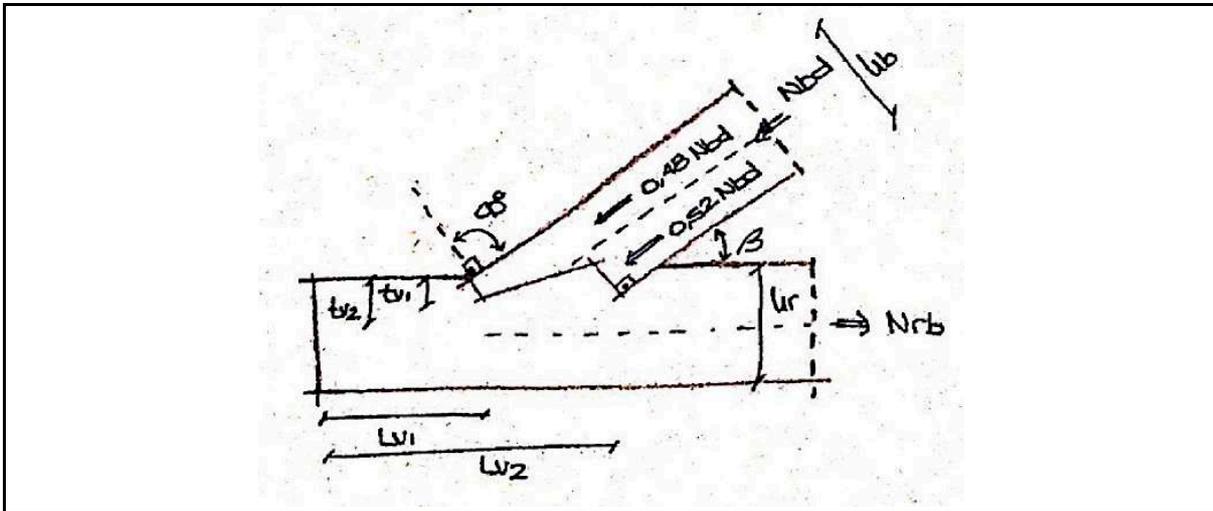


Fig. 92. Unión embarbillado simple de talón.

PARÁMETROS

Al no necesitar aumentar la longitud del tirante, la superficie que resiste la compresión perpendicular a la fibra sobre el tirante es menor.

La parte delantera del par no es eficaz para transmitir tensiones debido a que puede perder el contacto con el tirante.

Profundidad de la barbilla, tv (Igual a Embarbillado Frontal)

Longitud del cogote, lv

La barbilla se ejecuta en la parte trasera del par, lo que aumenta la longitud lv

Esto ayuda a resistir el esfuerzo rasante, sin que sea necesario aumentar la longitud del tirante.

Comprobación: compresión oblicua en el frente de la barbilla (Igual a Embarbillado Frontal)

El ángulo α entre tensión y dirección de la fibra, con un valor $\alpha = \beta$ correspondiente a la pieza más desfavorable que es el tirante.

Comprobación: tensión tangencial rasante en el cogote (Igual a Embarbillado Frontal).

La merma del tirante hace que el contacto entre las 2 piezas se pierda en la superficie longitudinal.

Comprobación: compresión perpendicular sobre el tirante (Igual a Embarbillado Frontal)

Con una longitud l_{90} más reducida

$$l_{90} = tv \cdot \left(\frac{tg^2 \beta + 1}{tg \beta} \right)$$

Excentricidad en el par

Al no ser necesario aumentar la longitud del tirante conduce a una excentricidad del esfuerzo axial, e.

$$e = \frac{hb - tv / \cos \beta}{2} ; \Delta M_d = Nbd \cdot e$$

Excentricidad en el tirante (Igual a Embarbillado Frontal)

NORMATIVA:

Actualmente se utiliza un procedimiento de cálculo para el predimensionado y la comprobación de la unión siguiendo la normativa del CTE. DB-SE-M. Es una recopilación y evolución de distintas normativas como son la Norma DIN 1052:2008 y Timber Engineering STEP 1 y Colling 2004, Informationsdienst Holz, 1990

Norma DIN 1052:2008. No habla expresamente del embarbillado doble pero al ser este la suma de 2 embarbillados simples se puede hacer eco de la estandarización que se realiza en la profundidad de la barbilla dependiendo de la pendiente entre la pieza de la barbilla, en cada uno de los cados, y la pieza del rebaje.

"En los embarbillados no se podrá contar con el efecto del roce, y la profundidad de corte t_v podrá ascender como máximo a $1/4$ de la altura del madero recortado para ángulos de unión no superiores a 50° y a $1/6$ de la misma para ángulos de unión mayores que 60° . Ángulos entre 50 y 60° se interpolará linealmente."

Timber Engineering STEP 1: Comprueba la unión por el cálculo de la tensión tangencial rasante del cogote

La zona de unión en las piezas de madera tiene que cumplir con la capacidad de carga.

Cuando el ángulo β está entre los 30 y 60° solo se tiene en cuenta las dimensiones de las barbillas, se calcularán con el espesor de las barbillas y el de la pieza rebajada sin contar el rebaje.

En el embarbillado doble es posible transmitir el esfuerzo total como la suma de los embarbillados (frontal y talón).

Asumiendo una uniformidad en la distribución del esfuerzo de compresión del par, el esfuerzo se transmite a la pieza rebajada por medio del cortante

Comprobación: tensión tangencial rasante del cogote

$$\tau_d = \frac{F \cdot \cos \beta}{b r \cdot l v}$$

La profundidad y ángulo de la barbilla y el talón no deben coincidir. Se recomienda la siguiente condición:

$$t_v \text{ barbilla} \leq t_v \text{ talón} - 10 \text{ mm.} \\ \leq 0,8 t_v \text{ talón}$$

- Cuando la longitud de cogote con el talón está estipulada, se debe tener en cuenta la componente horizontal resultante de la fuerza de compresión en la pieza de barbilla.
- Cualquier excentricidad en la unión puede causar tensiones de flexión adicionales en la pieza de barbilla.
- Debe tenerse en cuenta la reducción de la sección por el rebaje en la pieza rebajada al calcular las tensiones.

NOTA: no se diferencia de la actual normativa del CTE DB-SE-M.

ANÁLISIS DE ESFUERZOS

- Esta solución presenta la barbilla frontal, generalmente realizada con un ángulo e , bisectriz del ángulo obtuso entre el par y el tirante, y una barbilla en el talón cortada con un ángulo recto.
- Casi toda la carga se transmite a través del frente de las barbillas, sobre todo si se produce una contracción de la madera por secado, por lo que se admite considerarse que sobre la superficie de la barbilla la tensión es perpendicular a la misma despreciando las fuerzas de rozamiento entre las superficies de las piezas.
- El axil N_{bd} del par se reparte de forma aproximada, al 50% sobre cada frente de las barbillas, y por tanto la excentricidad e , es prácticamente nula.
- Existe la posibilidad de que el corte de la barbilla frontal se realice en ángulo recto, como el talón. En este caso, el reparto del axil N_{bd} , es ligeramente desigual quedando más cargado el talón. No obstante, la excentricidad es prácticamente despreciable.
- Al representar las fuerzas que llegan por el par, la fuerza principal es el axil N_{bd} , que está acompañado por el esfuerzo cortante, V_{bd}
- El esfuerzo cortante causa un efecto favorable en las comprobaciones a compresión oblicua y tensión tangencial en el cogote. Tiene un valor normalmente mucho más reducido que el del axil, lo que lleva a que la normativa no lo considere.

La resultante de ambos esfuerzos, R , se descompone en dos fuerzas perpendiculares entre sí: F_1 que resulta perpendicular a la superficie de la barbilla y F_2 en dirección perpendicular a la anterior. Para lograr el equilibrio en el nudo se constituye la reacción en el apoyo. aparece la fuerza horizontal F_3 , que coincide con el axil de tracción en el tirante, y la fuerza F_4 , que somete a compresión perpendicular al tirante sumada al esfuerzo cortante del tirante. Lo anterior es exactamente lo mismo que en el caso del Embarbillado Frontal, con la salvedad de que las componentes de las fuerzas (F_1 , F_2 , F_3 y F_4) corresponden para cada frente de barbilla a la mitad del valor total (ó a 0,48 y 0,52 veces en el caso de frente y talón en ángulo recto). Si la ejecución de la doble barbilla no es muy precisa el reparto de las fuerzas podría llegar a ser muy desigual en las dos barbillas.

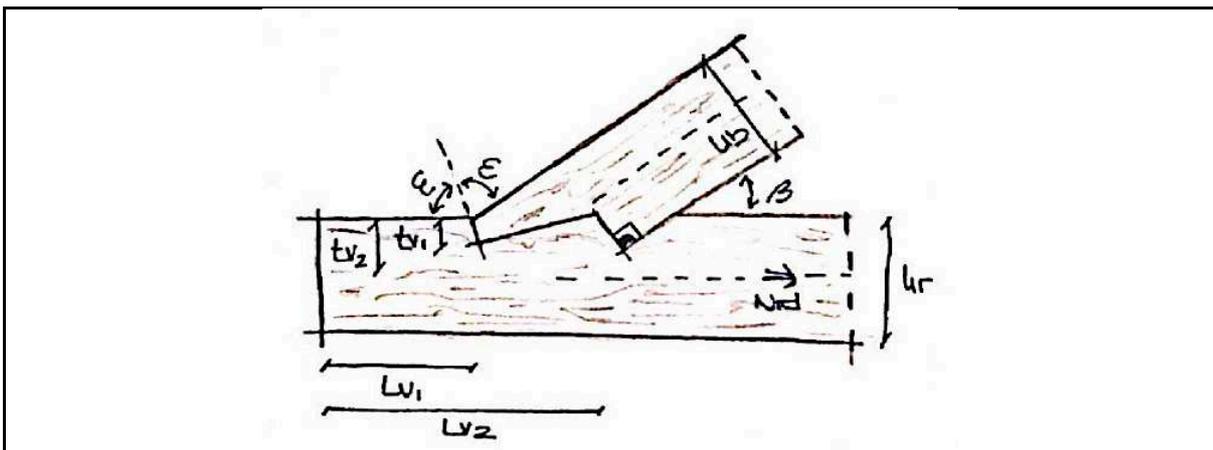


Fig. 93. Unión embarbillado doble.

PARÁMETROS

Profundidad de la barbilla, t_v

Condiciones:

$$t_{v1} \leq h_r / 6$$

$$t_{v1} \leq 0,8 \cdot t_{v2}$$

$$t_{v1} \leq t_{v2} - 10\text{mm}$$

$$t_{v2} \leq h_r / 6$$

Longitud del cogote, l_v

Condiciones:

- Valor máximo longitud de cogote:

$$l_{v1} \leq 8 \cdot t_{v1} \quad l_{v2} \leq 8 \cdot t_{v2}$$

- Valor mínimo longitud de cogote

$$l_{v2} \text{ MIN} = 200 \text{ mm (DIN 1052)}$$

$$l_{v2} \text{ MIN} = 150 \text{ mm (DB-SE-M)}$$

Comprobación: compresión oblicua en el frente de la barbilla.

Se debe cumplir en ambas barbillas.

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,d}} \leq 1$$

- $\sigma_{c,\alpha,d}$ la tensión de compresión oblicua en el frente de la barbilla para cada caso

- **Barbilla frontal**

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{K_f \cdot F_1}{bb \cdot tv1 / \cos\alpha}$$

- α ángulo entre la dirección de la tensión de compresión y la dirección de la fibra.

Para el Embarbillado frontal en bisectriz + talón: $\alpha = \beta / 2$

Para el Embarbillado frontal en ángulo recto + talón: $\alpha = \beta$

- k_f coeficiente de reparto

Para el Embarbillado frontal en bisectriz + talón: k_f valor 0,50

Para el Embarbillado frontal en ángulo recto + talón: k_f valor 0,48

- F_1 fuerza de compresión perpendicular a la superficie del frente de la barbilla.

Si la ejecución de la doble barbilla no es muy precisa el reparto de las fuerzas podría llegar a ser muy desigual en las dos barbilla

- **Talón**

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{K_f \cdot F_1}{bb \cdot tv2 / \cos\beta}$$

- k_f es un coeficiente de reparto

Para el Embarbillado frontal en bisectriz + talón: k_f valor 0,50

Para el Embarbillado frontal en ángulo recto + talón: k_f valor 0,52

Comprobación: tensión tangencial rasante en el cogote

$$\frac{\tau_{1d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$$\frac{\tau_{2d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

- τ_{1d} tensión tangencial sobre el plano de longitud l_{v1} debida a la parte de la fuerza F_3 que se concentra en el frontal.

Condición: $l_{v1} \leq 8 \cdot t_{v1}$

$$\tau_{1d} = \frac{K_f \cdot F_3}{b_r \cdot l_{v1}}$$

- τ_{2d} tensión tangencial sobre el plano de longitud l_{v2} debida al total de la fuerza F_3

Condición: $l_{v2} \leq 8 \cdot t_{v2}$

$l_{v2} \geq 200 \text{ mm}$

$$\tau_{2d} = \frac{F_3}{b_r \cdot l_{v2}}$$

4.6.1 EMBARBILLADO SIMPLE FRONTAL Y EMBARBILLADO SIMPLE FRONTAL A DOBLE CARA.

IGLESIA SAN CRISTÓBAL EN PRÁDANOS DE OJEDA. PALENCIA.

La cubierta ha sido rehabilitada recientemente, en ella se ha eliminado parte de la estructura que poco o nada tiene que ver con uniones tradicionales. Se han empleado herrajes metálicos y no sigue un sistema de pórticos.

La zona que conserva la estructura es la que se encuentra encima de los ábsides. Estructura a base de cerchas tradicionales, utiliza embarbillado simple frontal en la unión del par con el tirante y embarbillado simple frontal a doble cara en la unión de los pares con el pendolón.

Se puede observar que la cercha cumple con las reglas carpinteras estudiadas anteriormente. Tanto la longitud de cogote como el tamaño de la barbilla.

- Siendo un ángulo menor a 50° (20°) la barbilla tiene una profundidad de la altura del tirante entre 4. 30 cm de altura de tirante / 4 = 7,5 cm
- Y la longitud del cogote son 40 cm encontrándose entre los 15 cm. de mínimo que aparece en el CTE y los 60 cm de máximo que implicaría la ecuación: $8 \cdot tv$.

Se acompaña de planos y detalles de la cercha principal, fotografías de los encuentros más importantes y por último un estudio realizado con la hoja de cálculo Excel que se acompaña con el trabajo en el que se comprueba el cumplimiento de los parámetros utilizados en la estructura. Se toma la calidad de madera C14 siendo la que peores cualidades tiene. Se estiman las cargas de la cubierta y se tiene en cuenta su ubicación (Palencia).

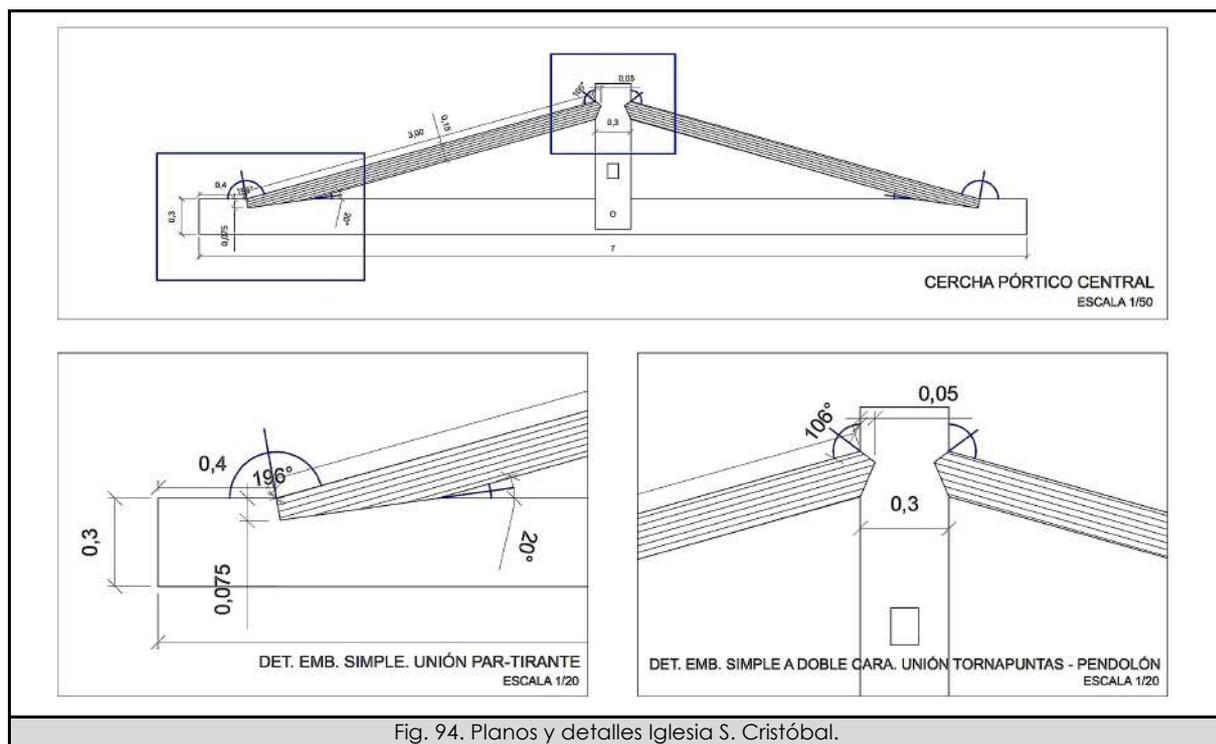


Fig. 94. Planos y detalles Iglesia S. Cristóbal.



Fig. 95. Fotografías Iglesia S. Cristóbal.

Aplicación del CTE (DB SE-M), realizado según lo descrito por: "Diseño y Cálculo de Uniones en Estructuras de Madera" (MADERIA 2011)

ELEMENTOS	UNIDADES
PIEZA CON BARBILLA	
CALIDAD MADERA	C14
BASE (bb)	150
ALTURA (hb)	150
LONGITUD (lb)	3000
PIEZA CON REBAJE	
CALIDAD MADERA	C14
BASE (br)	300
ALTURA (hr)	300
LONGITUD (lr)	7000

ACC. EN LA EDIFICACIÓN BARBILLA	bb (mm)	hb (mm)	DENSIDAD (kN/m ³)
C. PERM	150	150	2.9
P. PROPIO (kN/m)			0.06525
CUBIERTA (kN/m ²)	2		
USO (kN/m ²)	0.4		
NIEVE (kN/m ²)	0.4		
INTEREJE (m)	0.7		
RESULTADO (N/mm)	2.82		

ESFUERZOS	UNIDADES	CÁLCULOS
Nbd	N	ACCIÓN PERM BARBILLA/ senβ
Vbd	N	ACCIÓN PERM BARBILLA/ cosβ
Nrd	N	
Vapoy.rd	N	

COMPONENTES	UNIDADES	CÁLCULOS
F1	N	Nbd·cos α + Vbd·sen α
F2	N	Nbd·sen α + Vbd·cos α
F3	N	Nbd·cos β + Vbd·sen β
F4	N	F1·sen α + F2·cos α

CALIDAD MADERA	COMP PARALELA	COMP PERP	CORTANTE	ACCIÓN PARALE	UNIDADES: N/mm ²	FLEXIÓN
	fc.0,d	fc.90,d	fv,d	ft.0,d		fm,d
CONIFERAS						
C14	16	2	3	8		14
C16	17	2.2	3.2	10		16
C18	18	2.2	3.4	11		18
C20	19	2.3	3.6	12		20
C22	20	2.4	3.8	13		22
C24	22	2.5	4	14		24
C27	22	2.6	4	16		27
C30	23	2.7	4	18		30
FRONDOSAS						
D18	18	7.5	3.4	11		18
D24	21	7.8	4	14		24
D30	23	8	4	18		30
D35	25	8.1	4	21		35
D40	26	8.3	4	24		40
D50	29	9.3	4	30		50
D60	32	10.5	4.5	36		60
D70	34	13.5	5	42		70
LAM. ENCOLADA HOMOGÉNEA						
GL24h	24	2.7	2.7	16.5		24
GL28h	26.5	3	3.2	19.5		28
GL32h	29	3.3	3.8	22.5		32
GL36h	31	3.6	4.3	26		36
LAM. ENCOLADA COMBINADA						
GL24c	21	2.4	2.2	14		24
GL28c	24	2.7	2.7	16.5		28
GL32c	26.5	3	3.2	19.5		32
GL36c	29	3.3	3.8	22.5		36

PARÁMETROS		ESTUDIO		NORMA	UNIDADES	CÁLCULOS
ÁNGULOS	β	20,00		20,00	°C	
	α	10,00		10,00	°C	$\beta/2$
PROFUNDIDAD DE LA BARBILLA, iv	RESULTADO	75,00		75,00	mm	$iv=hr/4$
	$\beta \leq 50^\circ$			75	mm	$iv=hr/5$
	$\beta > 60^\circ$			-	mm	
	$50^\circ < \beta \leq 60^\circ$			-	mm	$iv=(hr/120) \cdot (80-\beta)$
LONGITUD DEL COGOTE, iv	RESULTADO	375,00		375,00	mm	
	iv MIN			150	mm	
	iv MAX			600,00	mm	$8 \cdot iv$
COMPRESIÓN OBLICUA EN EL FRENTE DE LA BARBILLA	CONDICIÓN	2,78E-06	CUMPLE	2,78E-06	CUMPLE	$\sigma_c, \alpha, d / f_c, \alpha, d \leq 1$
	σ_c, α, d	0,00		0,00	N/mm ²	$F1/(bb \cdot iv \cdot \cos \alpha)$
	f_c, α, d	241,61		241,61	N/mm ²	
	$f_c, 0, d$	16,00		16,00	N/mm ²	
	$f_c, 90, d$	2,00		2,00	N/mm ²	
TENSIÓN TANGENCIAL RASANTE EN EL COGOTE	CONDICIÓN	2,24E-05	CUMPLE	2,24E-05	CUMPLE	$\tau_d / f_v, d \leq 1$
	τ_d	0,00		0,00	N/mm ²	$F3/(br \cdot iv)$
COMPRESIÓN PERPENDICULAR SOBRE EL TIRANTE	CONDICIÓN	1,97E-04	CUMPLE	1,97E-04	CUMPLE	$\sigma_c, 90, d / f_c, 90, d \leq 1$
	$\sigma_c, 90, d$	0,00		0,00	N/mm ²	$F4/(bb \cdot i90)$
	$i90$	164,30		164,30	mm	$hb / \sin \beta$
EXCENTRICIDAD EN EL PAR	$f_c, 90, d$	2,00		2,00	N/mm ²	
	e	37,50		37,50	mm	$(hb - iv)/2$
EXCENTRICIDAD EN EL TIRANTE	ΔMd	115,76		115,76	N mm	$Nbd \cdot e$
	α	0		0	N mm	$Vap \cdot i tirante \cdot \alpha - Nrd \cdot hr/2$
		337,5		337,5	mm	$(Nrd \cdot hr)/(2 \cdot Vap \cdot i tirante)$

4.6.2 EMBARBILLADO DOBLE.

CARTUJA DE MIRAFLORES. BURGOS.

(AUTORÍA DOCUMENTACIÓN GRÁFICA Y FOTOGRÁFICA: LÓPEZ RODRÍGUEZ, GAMALIEL.)

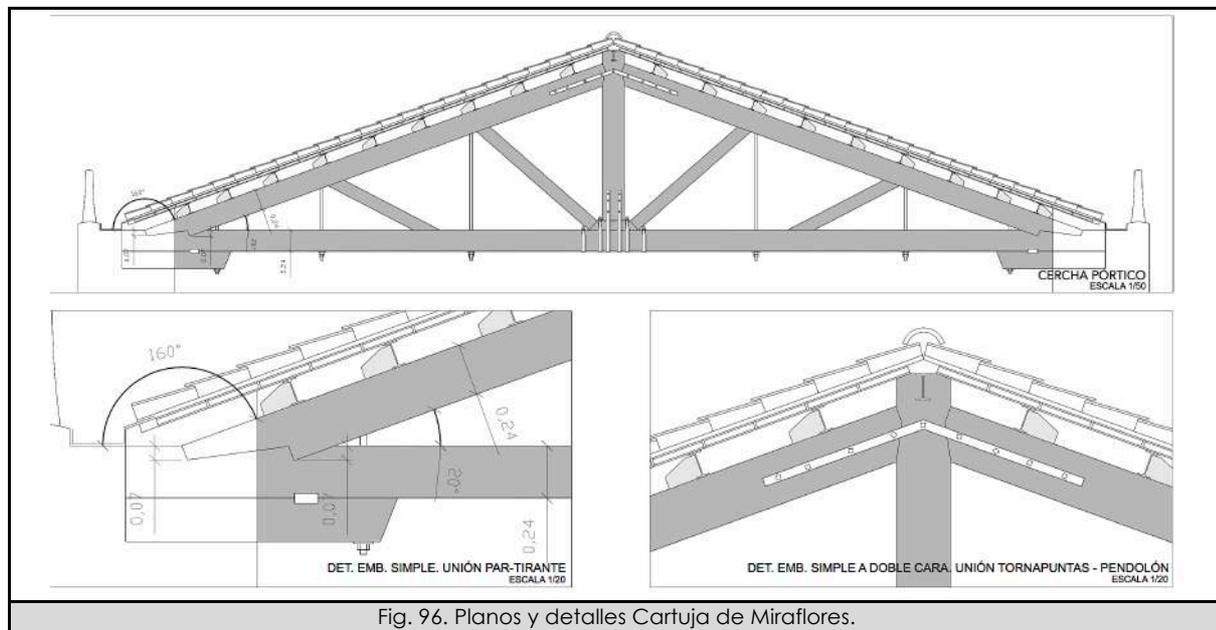
En la documentación tanto gráfica como topográfica a raíz de la rehabilitación de la estructura se observa que se ha mantenido las cerchas primitivas reforzándolas con elementos metálicos.

La estructura es a base de cerchas tradicionales, utiliza embarbillado doble en la unión del par con el tirante y embarbillado simple frontal a doble cara en la unión de los pares con el pendolón.

Se puede observar que la cercha cumple con las reglas carpinteras estudiadas anteriormente. Tanto la longitud de cogote como el tamaño de la barbilla.

- Siendo un ángulo menor a 50° (20°) la barbilla tiene una profundidad de la altura del tirante entre 4. En este caso si que se cumple, lo que no está conforme con lo que aparece en el CTE SE-M es que la barbilla trasera (o talón) tendrá una profundidad mayor que la primera, en este caso ambas barbillas tienen la misma longitud.
- Y la longitud del cogote son 26 cm siendo mayor que los 15 cm. de mínimo que aparece en el CTE.

Se acompaña de planos y detalles de la cercha tipo y fotografías de los encuentros más.



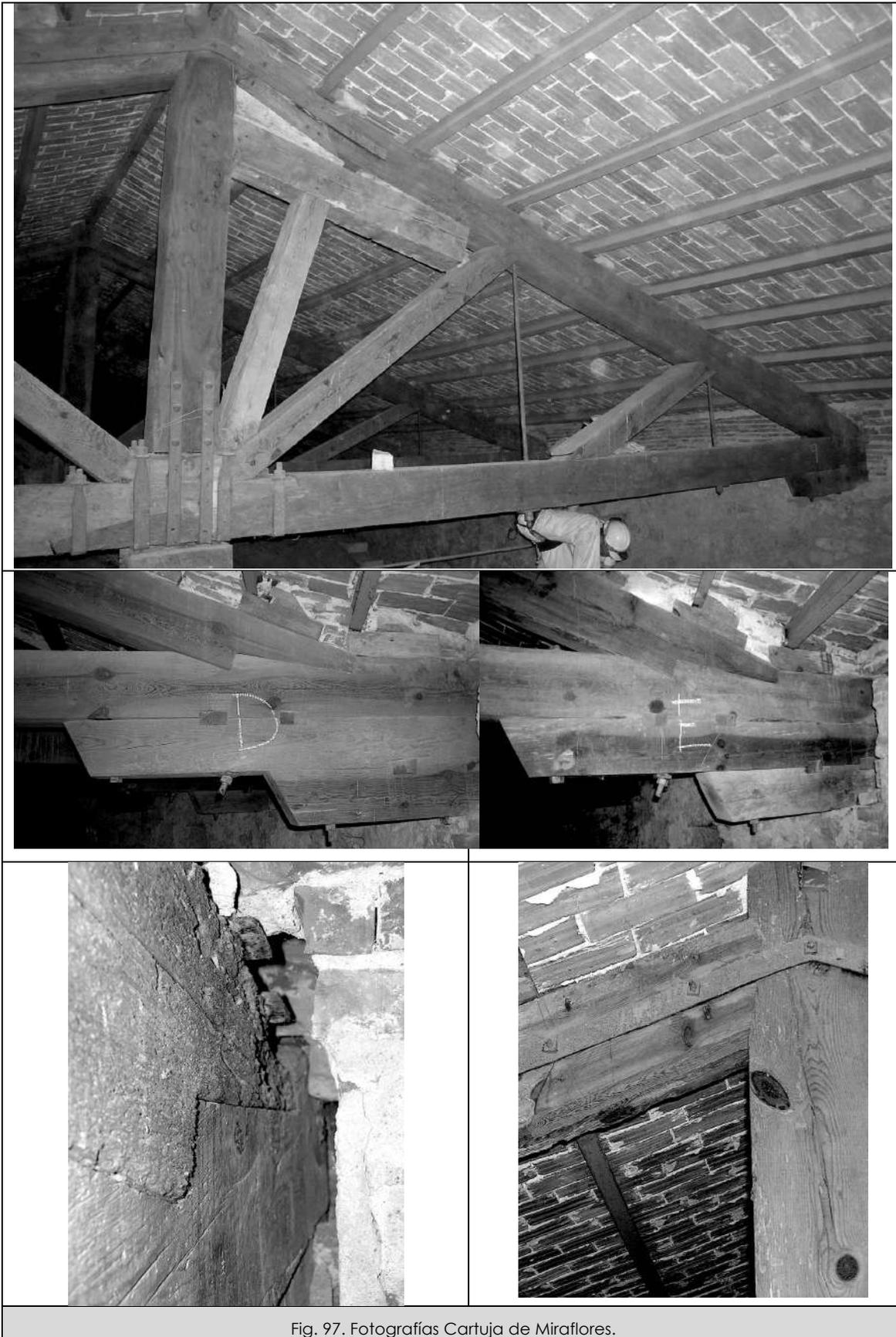


Fig. 97. Fotografías Cartuja de Miraflores.

4.7 ESTUDIO DE EMBARBILLADO SIMPLE FRONTAL

Para realizar el estudio se fijan ciertos parámetros como son las dimensiones y naturaleza de las piezas de madera y las cargas que ejercen sobre ellas. Estandarizando estos valores se realizan modificaciones que varían sus características.

EMBARBILLADO SIMPLE FRONTAL					
Aplicación del CTE (DB SE-M), realizado según lo descrito por: "Diseño y Cálculo de Uniones en Estructuras de Madera" (MADERIA 2011)					
ELEMENTOS		UNIDADES			
PIEZA CON BARBILLA					
CALIDAD MADERA		C24	-		
DIMENSIÓN	BASE (bb)	120	mm		
	ALTURA (hb)	200	mm		
	LONGITUD (lb)	DATO	mm		
PIEZA CON REBAJE					
CALIDAD MADERA		C24	-		
DIMENSIÓN	BASE (br)	120	mm		
	ALTURA (hr)	200	mm		
	LONGITUD (lr)	DATO	mm		
ACC. EN LA EDIFICACIÓN BARBILLA					
		bb (mm)	hb (mm)	DENSIDAD (kN/m ³)	
C. PERM	P. PROPIO (kN/m)	120	200	0.42	0.01
	CUBIERTA (kN/m ²)	2.00			
C. VARIABLES	USO (kN/m ²)	0.40			
	NIEVE (kN/m ²)	0.4			
	INTEREJE (m)	0.70			
	RESULTADO (N/mm)	2.74			
ESFUERZOS		UNIDADES		CÁLCULOS	
	Nbd	4.31	N	ACCIÓN PERM BARBILLA/ senβ	
	Vbd	3.56	N	ACCIÓN PERM BARBILLA/ cosβ	
	Nrd	DATO	N		
	Vapoy.rd	DATO	N		
COMPONENTES		UNIDADES		CÁLCULOS	
	F1	2.85	N	Nbd·cos α + Vbd·sen α	
	F2	3.71	N	Nbd·sen α + Vbd·cos α	
	F3	2.85	N	Nrd·cos β + Vbd·sen β	
	F4	2.24	N	F1·sen α + F2·cos α	
CALIDAD MADERA					
UNIDADES: N/mm ²					
	COMP PARALELA	COMP PERP	CORTANTE	ACCIÓN PARALE	FLEXIÓN
	fc,0,d	fc,90,d	fv,d	ft,0,d	fm,d
CONÍFERAS					
C14	16	2	3	8	14
C16	17	2.2	3.2	10	16
C18	18	2.2	3.4	11	18
C20	19	2.3	3.6	12	20
C22	20	2.4	3.8	13	22
C24	22	2.5	4	14	24
C27	22	2.6	4	16	27
C30	23	2.7	4	18	30
FRONDOSAS					
D18	18	7.5	3.4	11	18
D24	21	7.8	4	14	24
D30	23	8	4	18	30
D35	25	8.1	4	21	35
D40	26	8.3	4	24	40
D50	29	9.3	4	30	50
D60	32	10.5	4.5	36	60
D70	34	13.5	5	42	70
LAM. ENCOLADA HOMOGÉNEA					
GL24h	24	2.7	2.7	16.5	24
GL28h	26.5	3	3.2	19.5	28
GL32h	29	3.3	3.8	22.5	32
GL34h	31	3.6	4.3	26	36
LAM. ENCOLADA COMBINADA					
GL24c	21	2.4	2.2	14	24
GL28c	24	2.7	2.7	16.5	28
GL32c	26.5	3	3.2	19.5	32
GL36c	29	3.3	3.8	22.5	36

El análisis se realiza en el parámetro β y entre los ángulos 30° y 60° ya que el CTE dispone que son las soluciones más óptimas para esta unión:

Análisis con variación cada 5° del parámetro β

Primero se realizó un análisis comparativo en la situación standard, obtenida por la norma CTE SE-M y modificando el parámetro β con una diferencia de 5° en cada estudio.

El estudio cada 5° es insuficiente para sacar conclusiones:

- detectamos en él una zona central con valores más equitativos y un gran salto correspondiente al grado 55
- También se observa que en las combinaciones de cantidad de estructura (suma de los distintos valores) las gráficas tienden a hacerse más uniformes.
-

Análisis con variación cada grado del parámetro β

Se analiza, con estas mismas características, cada grado del ángulo β entre los valores 30 y 60° de la misma forma que en el caso anterior.

Así por medio de un estudio más exhaustivo tratamos de conseguir mayor claridad en las conclusiones.

- En este caso, se corrobora en comparación con el estudio anterior un salto en todas las gráficas realizadas (tanto los factores individualmente como en la suma entre ellos del ángulo 55° y además existe uno menor que no habíamos localizado en el estudio anterior que tiene lugar en el ángulo 33.
- Al igual que en las gráficas de cada 5 grados se percibe que al añadirse suma de distintas tensiones la trayectoria tiene saltos de menor tamaño.
- El resto de la gráfica en todos los casos estudiados tiene una trayectoria sinusoidal con lo que los valores no proporcionan un claro beneficio en ninguno de los ángulos.
- Hay que destacar la zona entre 45 y 50°, en ella los valores son los más uniformes de toda la tabla y también los que tienen tensiones más bajas.

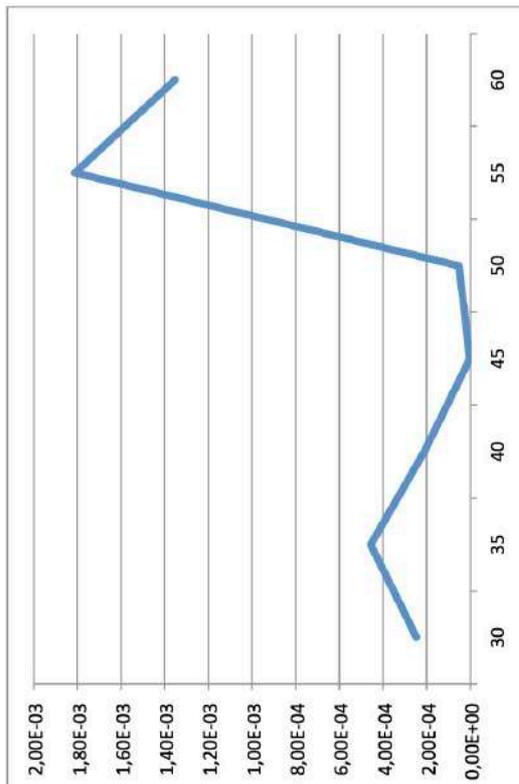
CONCLUSIONES:

- Evitar el diseño de embarbillado simple frontal cuyo parámetro β sea igual a 33° o 55°.
- La suma de tensiones (cantidad de estructura) aporta al embarbillado una uniformidad y un desajuste menor en el cambio del parámetro β
- La zona entre los valores 45° y 50° es la más uniforme y con las tensiones más bajas en todas las gráficas, por lo que estos ángulos son los más óptimos para su utilización en el embarbillado frontal.

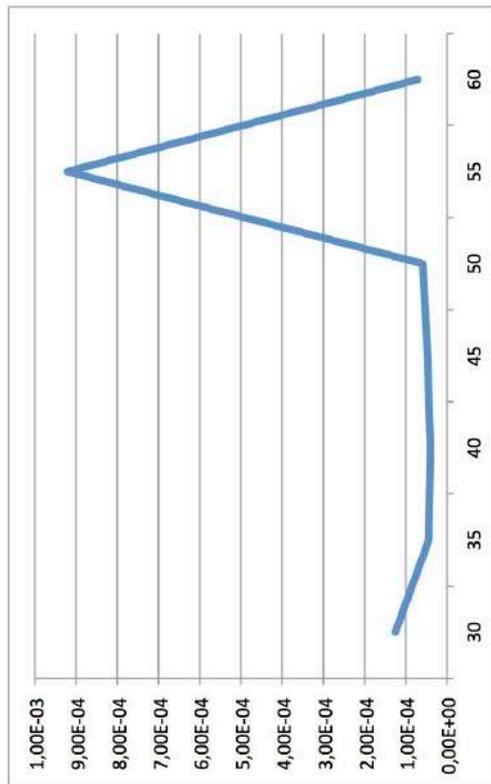
EMBARBILLADO SIMPLE FRONTAL

STANDARD - ESTADO 0 - STANDARD - ESTADO 0. (ANÁLISIS COMPARATIVO PARÁMETROS DE 5 GRADOS EN 5 GRADOS DEL ÁNGULO β)

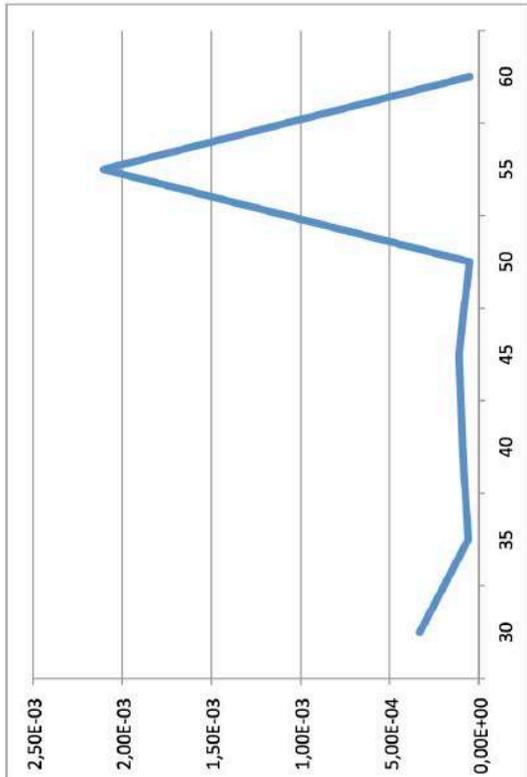
β	PARÁMETROS				COMPRESIÓN OBLICUA EN EL FRENTE DE LA BARBILLA $\sigma_{c,\alpha,d} / f_{c,\alpha,d} \leq 1$	TENSIÓN TANGENCIAL RASANTE EN EL COGOTE $\tau_d / f_{v,d} \leq 1$	COMPRESIÓN PERPENDICULAR SOBRE EL TIRANTE $\sigma_{c,90,d} / f_{c,90,d} \leq 1$	EXCENTRICIDAD EN EL PAR $(h_b - h_v)/2$	CUMPLE / NO CUMPLE
	α	h_v	$h_v \text{ min}$	$h_v \text{ max}$					
30	15	50	150	400	2,49E-04	1,26E-04	3,32E-04	75	CUMPLE
35	17,5	50	150	400	4,57E-04	4,51E-05	6,06E-05	75	CUMPLE
40	20	50	150	400	2,13E-04	4,12E-05	9,00E-05	75	CUMPLE
45	22,5	50	150	400	2,68E-06	4,65E-05	1,13E-04	75	CUMPLE
50	25	50	150	400	5,18E-05	5,99E-05	5,13E-05	75	CUMPLE
55	27,5	41,67	150	333,33	1,81E-03	9,22E-04	2,10E-03	79,167	CUMPLE
60	30	33,33	150	266,67	1,35E-03	7,18E-05	5,35E-05	83,333	CUMPLE



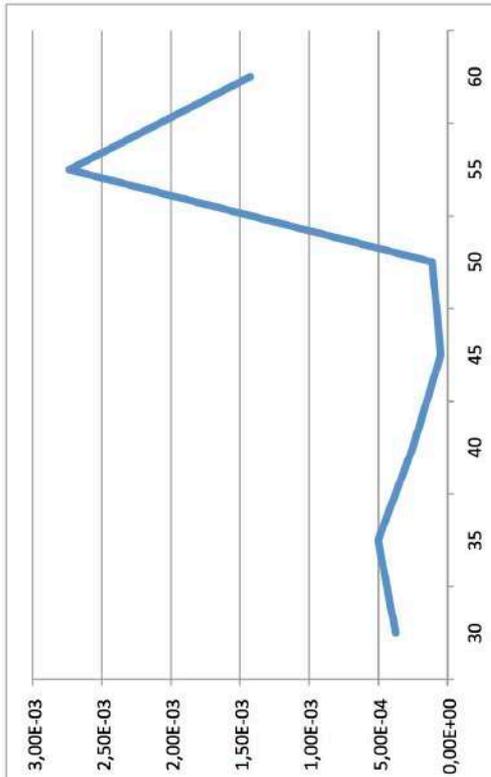
β	COMPRESIÓN OBLICUA EN EL FRENTE DE LA BARBILLA	
	$\sigma_{0,d} / f_{c,0,d} \leq 1$	
30	2,49E-04	
35	4,57E-04	
40	2,13E-04	
45	2,68E-06	
50	5,18E-05	
55	1,81E-03	
60	1,35E-03	



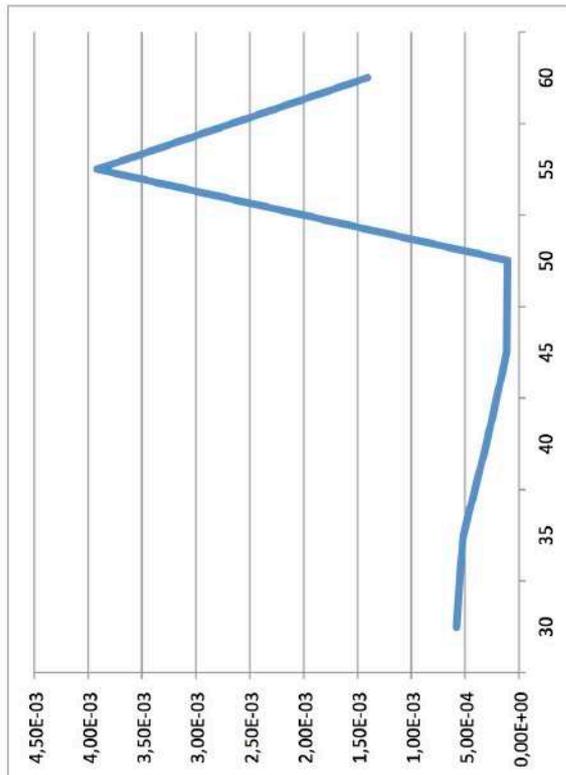
β	TENSIÓN TANGENCIAL RASANTE EN EL COGOTE	
	$\tau_d / f_{v,d} \leq 1$	
30	1,26E-04	
35	4,51E-05	
40	4,12E-05	
45	4,65E-05	
50	5,99E-05	
55	9,22E-04	
60	7,18E-05	



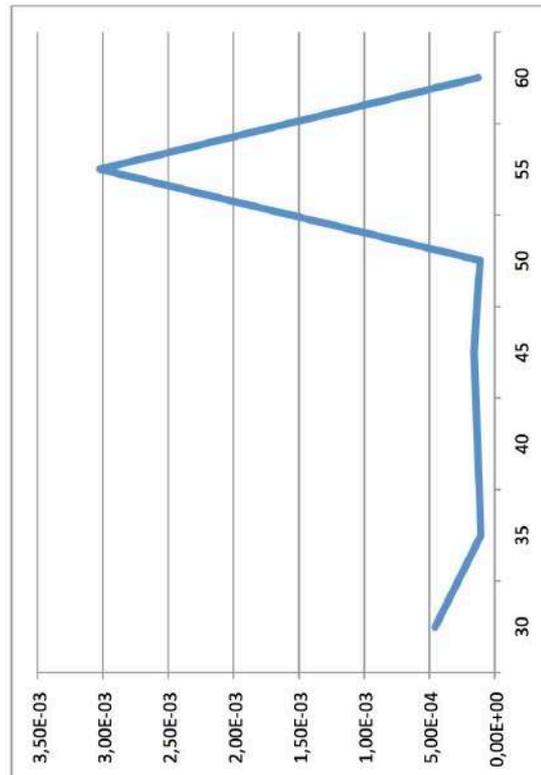
β	COMPRESIÓN PERPENDICULAR SOBRE EL TIRANTE	
	σc,90,d / fc,90,d ≤ 1	
30	3,32E-04	
35	6,06E-05	
40	9,00E-05	
45	1,13E-04	
50	5,13E-05	
55	2,10E-03	
60	5,35E-05	



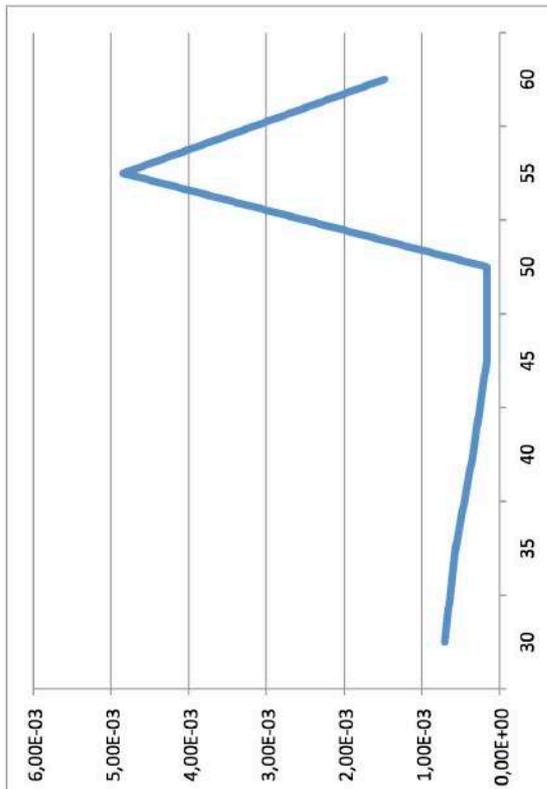
β	COMPRESIÓN OBLICUA EN EL FRENTE DE LA BARBILLA + TENSIÓN TANGENCIAL RASANTE EN EL COGOTE	
	σc,oblicua	
30	3,75E-04	
35	5,02E-04	
40	2,54E-04	
45	4,92E-05	
50	1,12E-04	
55	2,73E-03	
60	1,43E-03	



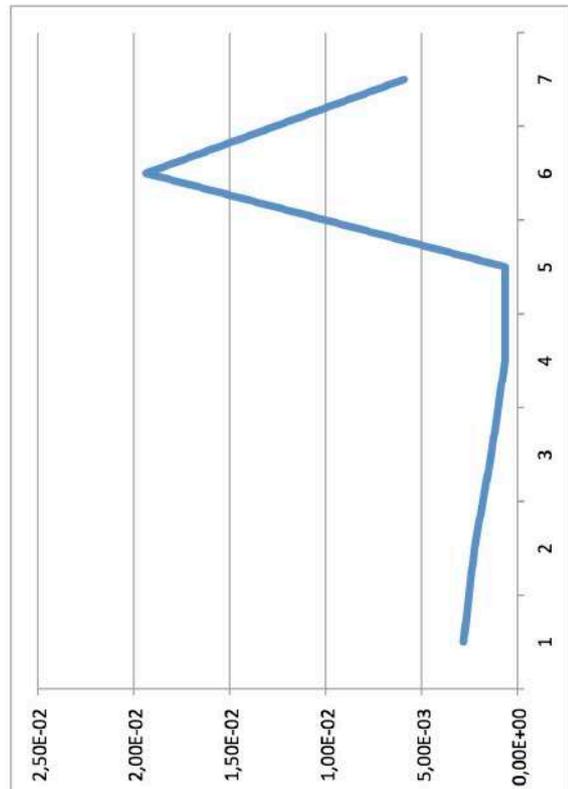
β	COMPRESIÓN OBLICUA EN EL FRENTE DE LA BARBILLA + COMPRESIÓN PERPENDICULAR SOBRE EL TIRANTE
30	5,81E-04
35	5,17E-04
40	3,03E-04
45	1,16E-04
50	1,03E-04
55	3,92E-03
60	1,41E-03



β	TENSIÓN TANGENCIAL RASANTE EN EL COGOTE + COMPRESIÓN PERPENDICULAR SOBRE EL TIRANTE
30	4,58E-04
35	1,06E-04
40	1,31E-04
45	1,59E-04
50	1,11E-04
55	3,03E-03
60	1,25E-04



β	COMPRESIÓN OBLICUA EN EL FRENTE DE LA BARBILLA + TENSION TANGENCIAL RASANTE EN EL COGOTE + COMPRESION PERPENDICULAR SOBRE EL TIRANTE
30	7,07E-04
35	5,62E-04
40	3,44E-04
45	1,62E-04
50	1,63E-04
55	4,84E-03
60	1,48E-03

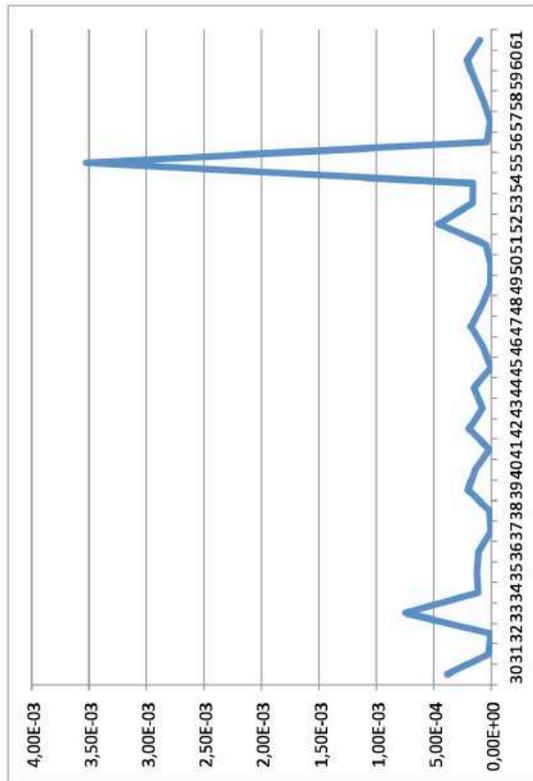


β	RESULTADO TOTAL
30	2,83E-03
35	2,25E-03
40	1,38E-03
45	6,49E-04
50	6,52E-04
55	1,94E-02
60	5,92E-03

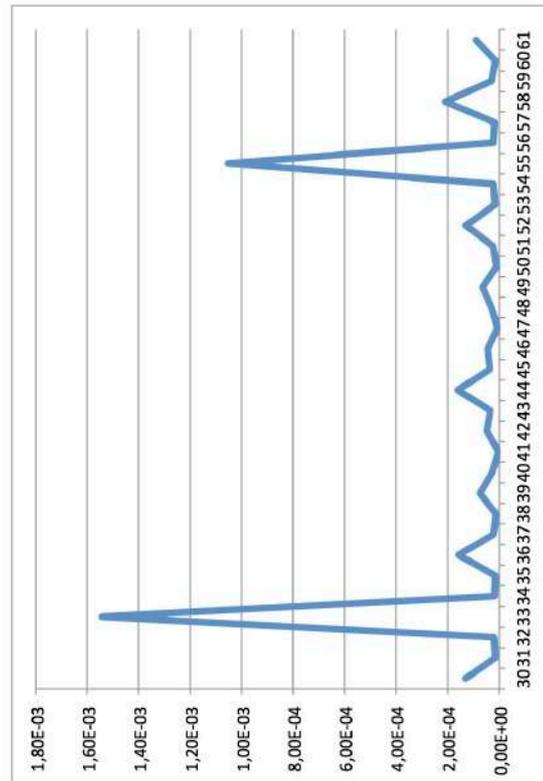
EMBARBILLADO SIMPLE FRONTAL

STANDARD - ESTADO 0. (ANÁLISIS COMPARATIVO PARÁMETROS DE GRADO EN GRADO DEL ÁNGULO β)

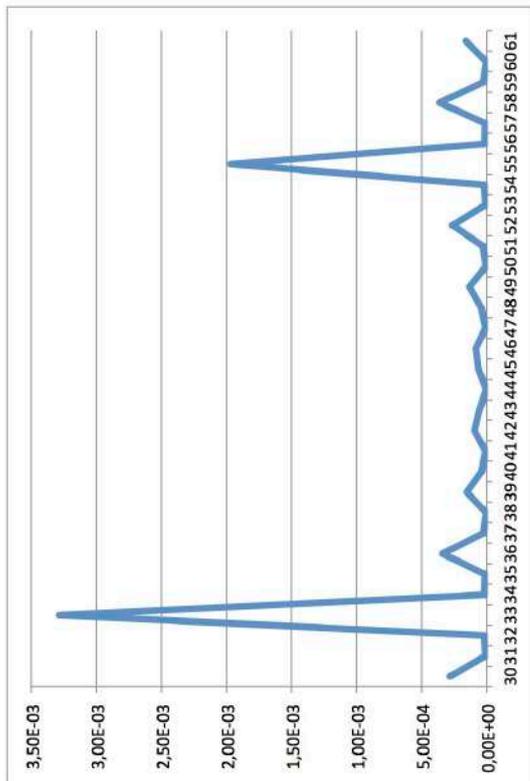
β	PARÁMETROS				COMPRESIÓN OBLICUA EN EL FRENTE DE LA BARBILLA $\sigma_{c,a,d} / f_{c,a,d} \leq 1$	TENSIÓN TANGENCIAL RASANTE EN EL COGOTE $\tau_d / f_{v,d} \leq 1$	COMPRESIÓN PERPENDICULAR SOBRE EL TIRANTE $\sigma_{c,90,d} / f_{c,90,d} \leq 1$	EXCENTRICIDAD EN EL PAR $(hb - v)/2$	CUMPLE / NO CUMPLE
	α	lv	lv min	lv max					
30	15,00	50,00	150	400,00	3,85E-04	1,30E-04	2,79E-04	75,00	CUMPLE
31	15,50	50,00	150	400,00	2,30E-05	1,45E-05	6,26E-06	75,00	CUMPLE
32	16,00	50,00	150	400,00	5,67E-06	1,88E-05	1,63E-05	75,00	CUMPLE
33	16,50	50,00	150	400,00	7,48E-04	1,54E-03	3,28E-03	75,00	CUMPLE
34	17,00	50,00	150	400,00	1,15E-04	1,81E-05	1,46E-05	75,00	CUMPLE
35	17,50	50,00	150	400,00	1,30E-04	1,52E-05	7,73E-06	75,00	CUMPLE
36	18,00	50,00	150	400,00	1,13E-04	1,57E-04	3,38E-04	75,00	CUMPLE
37	18,50	50,00	150	400,00	4,51E-06	2,18E-05	2,45E-05	75,00	CUMPLE
38	19,00	50,00	150	400,00	1,52E-05	1,07E-05	2,51E-07	75,00	CUMPLE
39	19,50	50,00	150	400,00	2,06E-04	7,37E-05	1,51E-04	75,00	CUMPLE
40	20,00	50,00	150	400,00	1,42E-04	2,65E-05	3,71E-05	75,00	CUMPLE
41	20,50	50,00	150	400,00	1,55E-05	5,87E-07	6,59E-06	75,00	CUMPLE
42	21,00	50,00	150	400,00	1,96E-04	4,78E-05	9,08E-05	75,00	CUMPLE
43	21,50	50,00	150	400,00	7,82E-05	3,31E-05	5,46E-05	75,00	CUMPLE
44	22,00	50,00	150	400,00	1,57E-04	1,61E-04	7,71E-07	75,00	CUMPLE
45	22,50	50,00	150	400,00	2,34E-06	3,53E-05	6,01E-05	75,00	CUMPLE
46	23,00	50,00	150	400,00	7,61E-05	4,40E-05	8,15E-05	75,00	CUMPLE
47	23,50	50,00	150	400,00	1,76E-04	5,25E-06	5,42E-06	75,00	CUMPLE
48	24,00	50,00	150	400,00	8,58E-05	2,79E-05	4,09E-05	75,00	CUMPLE
49	24,50	50,00	150	400,00	7,97E-06	6,50E-05	1,31E-04	75,00	CUMPLE
50	25,00	50,00	150	400,00	5,89E-06	9,06E-06	1,50E-06	75,00	CUMPLE
51	25,50	48,33	150	386,67	4,79E-05	2,35E-05	2,74E-05	75,83	CUMPLE
52	26,00	46,67	150	373,33	4,62E-04	1,29E-04	2,63E-04	76,67	CUMPLE
53	26,50	45,00	150	360,00	1,67E-04	1,54E-05	5,78E-06	77,50	CUMPLE
54	27,00	43,33	150	346,67	1,62E-04	2,11E-05	1,69E-05	78,33	CUMPLE
55	27,50	41,67	150	333,33	3,52E-03	1,05E-03	1,97E-03	79,17	CUMPLE
56	28,00	40,00	150	320,00	3,96E-05	2,10E-05	1,40E-05	80,00	CUMPLE
57	28,50	38,33	150	306,67	8,76E-06	1,86E-05	8,23E-06	80,83	CUMPLE
58	29,00	36,67	150	293,33	6,65E-05	2,10E-04	3,63E-04	81,67	CUMPLE
59	29,50	35,00	150	280,00	1,44E-04	2,76E-05	2,38E-05	82,50	CUMPLE
60	30,00	33,33	150	266,67	2,13E-04	1,46E-05	6,96E-07	83,33	CUMPLE
61	30,50	40,00	150	320,00	1,01E-04	8,92E-05	1,57E-04	80,00	CUMPLE



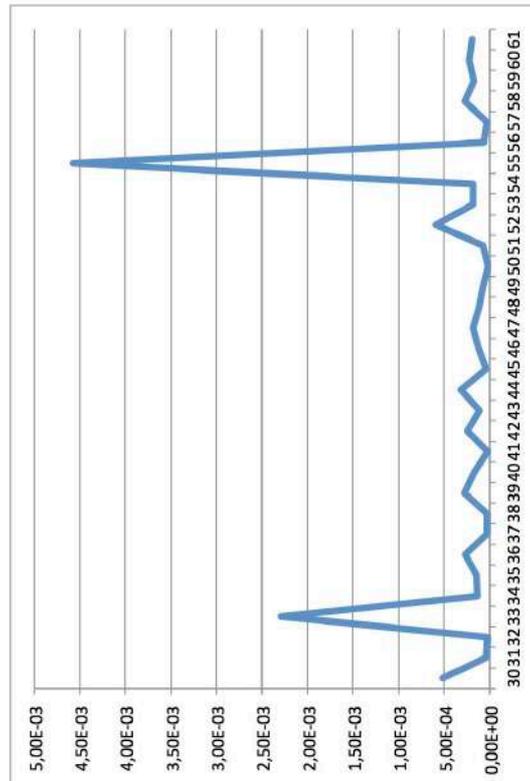
β	$\sigma_{c.o.d} / f_{c,a,d} \leq 1$
30	7,61E-05
31	1,76E-04
32	8,58E-05
33	7,97E-06
34	5,89E-06
35	4,79E-05
36	4,62E-04
37	1,67E-04
38	1,62E-04
39	3,52E-03
40	3,96E-05
41	8,76E-06
42	6,65E-05
42	1,44E-04
44	2,13E-04
45	1,01E-04



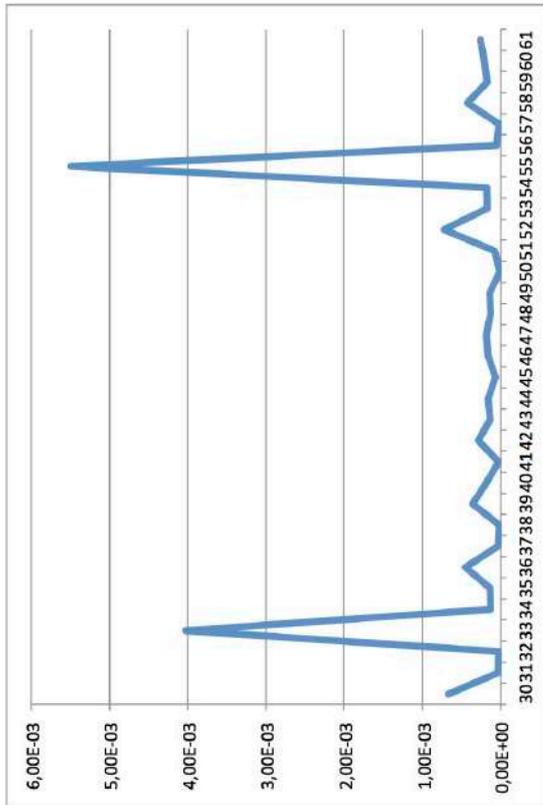
β	$t_d / f_{v,d} \leq 1$
30	4,40E-05
31	5,25E-06
32	2,79E-05
33	6,50E-05
34	9,06E-06
35	2,35E-05
36	1,29E-04
37	1,54E-05
38	2,11E-05
39	1,05E-03
40	2,10E-05
41	1,86E-05
42	2,10E-04
42	2,76E-05
44	1,46E-05
45	8,92E-05



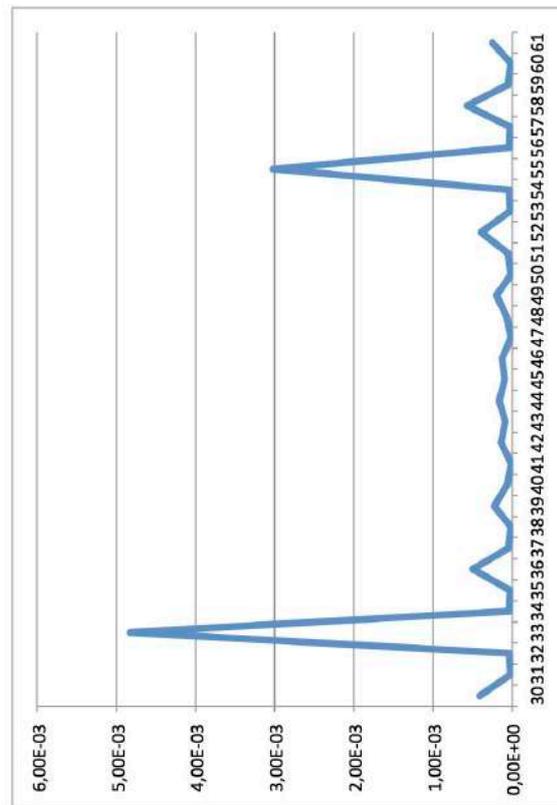
β	COMPRESIÓN PERPENDICULAR SOBRE EL TIRANTE		
	σc,90,d / fc,90,d ≤ 1		
30	2,79E-04	46	8,15E-05
31	6,26E-06	47	5,42E-06
32	1,63E-05	48	4,09E-05
33	3,28E-03	49	1,31E-04
34	1,46E-05	50	1,50E-06
35	7,79E-06	51	2,74E-05
36	3,38E-04	52	2,63E-04
37	2,45E-05	53	5,78E-06
38	2,51E-07	54	1,69E-05
39	1,51E-04	55	1,97E-03
40	3,71E-05	56	1,40E-05
41	6,59E-06	57	8,23E-06
42	9,08E-05	58	3,63E-04
42	5,46E-05	59	2,38E-05
44	7,71E-07	60	6,96E-07
45	6,01E-05	61	1,57E-04



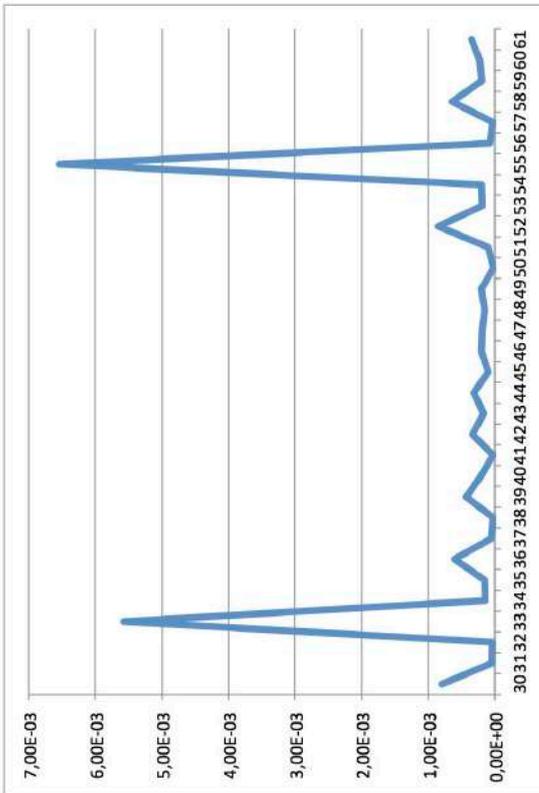
β	COMPRESIÓN OBLICUA EN EL FRENTE DE LA BARBILLA + TENSION TANGENCIAL RASANTE EN EL COGOTE		
	30	5,15E-04	46
31	3,75E-05	47	1,82E-04
32	2,45E-05	48	1,14E-04
33	2,29E-03	49	7,29E-05
34	1,33E-04	50	1,50E-05
35	1,45E-04	51	7,14E-05
36	2,70E-04	52	5,91E-04
37	2,64E-05	53	1,82E-04
38	2,59E-05	54	1,83E-04
39	2,80E-04	55	4,58E-03
40	1,69E-04	56	6,06E-05
41	1,61E-05	57	2,74E-05
42	2,44E-04	58	2,76E-04
42	1,11E-04	59	1,71E-04
44	3,17E-04	60	2,28E-04
45	3,77E-05	61	1,91E-04



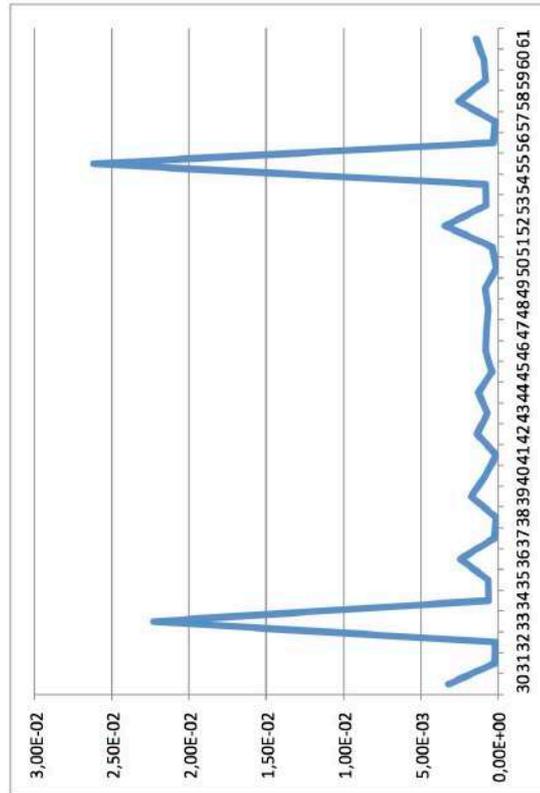
β	COMPRESIÓN OBLICUA EN EL FRENTE DE LA BARBILLA + COMPRESIÓN PERPENDICULAR SOBRE EL TIRANTE		
30	6,64E-04	46	1,58E-04
31	2,92E-05	47	1,82E-04
32	2,20E-05	48	1,27E-04
33	4,03E-03	49	1,39E-04
34	1,30E-04	50	7,40E-06
35	1,38E-04	51	7,53E-05
36	4,50E-04	52	7,25E-04
37	2,90E-05	53	1,72E-04
38	1,54E-05	54	1,78E-04
39	3,57E-04	55	5,49E-03
40	1,80E-04	56	5,36E-05
41	2,21E-05	57	1,70E-05
42	2,87E-04	58	4,29E-04
42	1,33E-04	59	1,67E-04
44	1,57E-04	60	2,14E-04
45	6,25E-05	61	2,59E-04



β	TENSION TANGENCIAL RASANTE EN EL COGOTE + COMPRESIÓN PERPENDICULAR SOBRE EL TIRANTE		
30	4,09E-04	46	1,25E-04
31	2,08E-05	47	1,07E-05
32	3,51E-05	48	6,88E-05
33	4,82E-03	49	1,96E-04
34	3,27E-05	50	1,06E-05
35	2,30E-05	51	5,08E-05
36	4,95E-04	52	3,92E-04
37	4,64E-05	53	2,12E-05
38	1,09E-05	54	3,79E-05
39	2,25E-04	55	3,02E-03
40	6,36E-05	56	3,50E-05
41	7,18E-06	57	2,69E-05
42	1,39E-04	58	5,73E-04
42	8,77E-05	59	5,14E-05
44	1,61E-04	60	1,53E-05
45	9,55E-05	61	2,46E-04



β	COMPRESIÓN OBLICUA EN EL FRENTE DE LA BARBILLA + TENSION TANGENCIAL RASANTE EN EL COGOTE + COMPRESIÓN PERPENDICULAR SOBRE EL TIRANTE
30	7,94E-04
31	4,38E-05
32	4,08E-05
33	5,57E-03
34	1,48E-04
35	1,53E-04
36	6,07E-04
37	5,09E-05
38	2,61E-05
39	4,31E-04
40	2,06E-04
41	2,27E-05
42	3,35E-04
44	1,66E-04
45	3,18E-04
46	7,94E-04
47	4,38E-05
48	4,08E-05
49	5,57E-03
50	1,48E-04
51	1,53E-04
52	6,07E-04
53	5,09E-05
54	2,61E-05
55	4,31E-04
56	2,06E-04
57	2,27E-05
58	3,35E-04
59	1,95E-04
60	2,28E-04
61	3,48E-04



β	RESULTANTE TOTAL
30	3,18E-03
31	1,75E-04
32	1,63E-04
33	2,23E-02
34	5,91E-04
35	6,11E-04
36	2,43E-03
37	2,03E-04
38	1,04E-04
39	1,72E-03
40	8,24E-04
41	9,08E-05
42	1,34E-03
44	6,64E-04
45	1,27E-03
46	3,18E-03
47	1,75E-04
48	1,63E-04
49	2,23E-02
50	5,91E-04
51	6,11E-04
52	2,43E-03
53	2,03E-04
54	1,04E-04
55	1,72E-03
56	8,24E-04
57	1,42E-04
58	2,56E-03
59	7,80E-04
60	9,13E-04
61	1,39E-03

5 BASE EXCEL

La metodología de análisis del embarbillado seguida ha desembocado en la necesidad de creación de bases de datos Excel. Con ellas se pueden comprobar los parámetros del embarbillado a estudiando como sus distintas variaciones.

Tiene 2 formas de uso:

- La primera es de tipo estudio. En ella se pueden variar los 4 valores que afectan al nudo (ángulos, profundidad de la barbilla y longitud del cogote indistintamente). Es una herramienta para llevar a cabo análisis para investigaciones en la materia.
- La segunda es de tipo normativo. Sigue las especificaciones del CTE SE-M determinando unos factores a consecuencia de otros. Esta herramienta se recomienda para el ámbito de las comprobaciones de estructuras ya construidas o para el diseño de estas.

Estas bases de datos se aportan para 2 tipologías de embarbillado: el embarbillado simple frontal y el embarbillado simple de talón.

5.1 BASE EXCEL EMBARBILLADO SIMPLE FRONTAL

EMBARBILLADO SIMPLE FRONTAL

Aplicación del CTE (DB SE-M), realizado según lo descrito por: "Diseño y Cálculo de Uniones en Estructuras de Madera" (MADERIA 2011)

ELEMENTOS		UNIDADES	
PIEZA CON BARBILLA			
CALIDAD MADERA			
DIMENSIÓN	BASE (bb)	CONIFERAS	-
	ALTURA (hb)	DATO	mm
	LONGITUD (lb)	DATO	mm
PIEZA CON REBAJE			
CALIDAD MADERA			
DIMENSIÓN	BASE (br)	C14	-
	ALTURA (hr)	DATO	mm
	LONGITUD (lr)	DATO	mm

ACC. EN LA EDIFICACIÓN BARBILLA		bb (mm)	hb (mm)	DENSIDAD (kN/m ³)
C. PERM	P. PROPIO (kN/m)	DATO	DATO	DATO
	CUBIERTA (kN/m ²)	DATO		#¡VALOR!
C. VARIABLES	USO (kN/m ²)	DATO		
	NIEVE (kN/m ²)	DATO		
INTEREJE (m)		DATO		
RESULTADO (N/mm)		#¡VALOR!		

ESFUERZOS		UNIDADES		CÁLCULOS	
	Nbd	#¡VALOR!	N	ACCIÓN PERM BARBILLA/ senβ	
	Vbd	#¡VALOR!	N	ACCIÓN PERM BARBILLA/ cosβ	
	Nrd	DATO	N		
	Vapoy.rd	DATO	N		

COMPONENTES		UNIDADES		CÁLCULOS	
	F1	#¡VALOR!	N	Nbd·cos α + Vbd·sen α	
	F2	#¡VALOR!	N	Nbd·sen α + Vbd·cos α	
	F3	#¡VALOR!	N	Nbd·cos β + Vbd·sen β	
	F4	#¡VALOR!	N	F1·sen α + F2·cos α	

CALIDAD MADERA		UNIDADES: N/mm ²				
		COMP PARALELA	COMP PERP	CORTANTE	ACCIÓN PARALE	FLEXIÓN
		fc,0,d	fc,90,d	fv,d	ft,0,d	fm,d
CONIFERAS						
C14		16	2	3	8	14
C16		17	2,2	3,2	10	16
C18		18	2,2	3,4	11	18
C20		19	2,3	3,6	12	20
C22		20	2,4	3,8	13	22
C24		22	2,5	4	14	24
C27		22	2,6	4	16	27
C30		23	2,7	4	18	30
FRONDOSAS						
D18		18	7,5	3,4	11	18
D24		21	7,8	4	14	24
D30		23	8	4	18	30
D35		25	8,1	4	21	35
D40		26	8,3	4	24	40
D50		29	9,3	4	30	50
D60		32	10,5	4,5	36	60
D70		34	13,5	5	42	70
LAM. ENCOLADA HOMOGÉNEA						
GL24h		24	2,7	2,7	16,5	24
GL28h		26,5	3	3,2	19,5	28
GL32h		29	3,3	3,8	22,5	32
GL36h		31	3,6	4,3	26	36
LAM. ENCOLADA COMBINADA						
GL24c		21	2,4	2,2	14	24
GL28c		24	2,7	2,7	16,5	28
GL32c		26,5	3	3,2	19,5	32
GL36c		29	3,3	3,8	22,5	36

PARÁMETROS	ESTUDIO		NORMA		UNIDADES	CÁLCULOS
ÁNGULOS	β	DATO		DATO	°C	
	α	DATO		#¡VALOR!	°C	β/2
PROFUNDIDAD DE LA BARBILLA, tv	RESULTADO	DATO		#¡VALOR!	mm	
	β ≤ 50°			-	mm	tv=hr/4
	β > 60°			#¡VALOR!	mm	tv=hr/5
	50° < β ≤ 60°			-	mm	tv=(hr/120)·(80-β)
LONGITUD DEL COGOTE, lv	RESULTADO	DATO		#¡VALOR!	mm	
	lv MIN			150	mm	
	lv MAX			#¡VALOR!	mm	8·tv
COMPRESIÓN OBLICUA EN EL FRENTE DE LA BARBILLA	CONDICIÓN	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	σc,a,d / fc,a,d ≤ 1
	σc,a,d	#¡VALOR!		#¡VALOR!		F1/(bb·lv·cosa)
	fc,a,d	#¡VALOR!		#¡VALOR!		
	fc,0,d	23,00		23,00		
	fc,90,d	2,70		2,70		
fv,d	4,00		4,00			
TENSIÓN TANGENCIAL RASANTE EN EL COGOTE	CONDICIÓN	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	τd / fv,d ≤ 1
	τd	#¡VALOR!		#¡VALOR!		F3/(br·lv)
	fv,d	3,00		3,00		
COMPRESIÓN PERPENDICULAR SOBRE EL TIRANTE	CONDICIÓN	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	σc,90,d / fc,90,d ≤ 1
	σc,90,d	#¡VALOR!		#¡VALOR!		F4/(bb·l90)
	l90	#¡VALOR!		#¡VALOR!		hb / sen β
fc,90,d	2,00		2,00			
EXCENRICIDAD EN EL PAR	e	#¡VALOR!		#¡VALOR!		(hb - tv)/2
	ΔMd	#¡VALOR!		#¡VALOR!		Nbd·e
EXCENRICIDAD EN EL TIRANTE	ΔMd	#¡VALOR!		#¡VALOR!		Vap.tirante·a - Nrd·hr/2
	α	#¡VALOR!		#¡VALOR!		(Nrd·hr)/(2·Vap.tirante)

5.2 BASE EXCEL EMBARBILLADO SIMPLE TALÓN

EMBARBILLADO SIMPLE TALÓN

Aplicación del CTE (DB SE-M), realizado según lo descrito por: "Diseño y Cálculo de Uniones en Estructuras de Madera" (MADERIA 2011)

ELEMENTOS		UNIDADES	
PIEZA CON BARBILLA			
CALIDAD MADERA			
		CONÍFERAS	-
DIMENSIÓN	BASE (db)	DATO	mm
	ALTURA (hb)	DATO	mm
	LONGITUD (lb)	DATO	mm
PIEZA CON REBAJE			
CALIDAD MADERA			
		FRONDOSAS	-
DIMENSIÓN	BASE (br)	DATO	mm
	ALTURA (hr)	DATO	mm
	LONGITUD (lr)	DATO	mm

ACC. EN LA EDIFICACIÓN BARBILLA		bb (mm)	hb (mm)	MSIDAD (kN/m3)
C. PERM	P. PROPIO (kN/m)	DATO	DATO	DATO #¡VALOR!
	CUBIERTA (kN/m2)	DATO		
C. VARIABLES	USO (kN/m2)	DATO		
	NIEVE (kN/m2)	DATO		
INTEREJE (m)		DATO		
RESULTADO (N/mm)		#¡VALOR!		

ESFUERZOS		UNIDADES		CÁLCULOS	
	Nbd	#¡VALOR!	N	ACCIÓN PERM BARBILLA/ senβ	
	Vbd	#¡VALOR!	N	ACCIÓN PERM BARBILLA/ cosβ	
	Nrd	DATO	N		
	Vapoy.rd	DATO	N		

COMPONENTES		UNIDADES		CÁLCULOS	
	F1	#¡VALOR!	N	Nbd·cos α + Vbd·sen α	
	F2	#¡VALOR!	N	Nbd·sen α + Vbd·cos α	
	F3	#¡VALOR!	N	Nbd·cos β + Vbd·sen β	
	F4	#¡VALOR!	N	F1·sen α + F2·cos α	

CALIDAD MADERA		UNIDADES: N/mm2			
	COMP PARALELA	COMP PERF	CORTANTE	ACCIÓN PARALE	FLEXIÓN
	fc,0,d	fc,90,d	fv,d	ft,0,d	ftm,d
CONÍFERAS					
C14	16	2	3	8	14
C16	17	2,2	3,2	10	16
C18	18	2,2	3,4	11	18
C20	19	2,3	3,6	12	20
C22	20	2,4	3,8	13	22
C24	22	2,5	4	14	24
C27	22	2,6	4	16	27
C30	23	2,7	4	18	30
FRONDOSAS					
D18	18	7,5	3,4	11	18
D24	21	7,8	4	14	24
D30	23	8	4	18	30
D35	25	8,1	4	21	35
D40	26	8,3	4	24	40
D50	29	9,3	4	30	50
D60	32	10,5	4,5	36	60
D70	34	13,5	5	42	70
LAM. ENCOLADA HOMOGÉNEA					
GL24h	24	2,7	2,7	16,5	24
GL28h	26,5	3	3,2	19,5	28
GL32h	29	3,3	3,8	22,5	32
GL36h	31	3,6	4,3	26	36
LAM. ENCOLADA COMBINADA					
GL24c	21	2,4	2,2	14	24
GL28c	24	2,7	2,7	16,5	28
GL32c	26,5	3	3,2	19,5	32
GL36c	29	3,3	3,8	22,5	36

PARÁMETROS	ESTUDIO		NORMA		UNIDADES	CÁLCULOS
ÁNGULOS	β	DATO	DATO		°C	
	α	DATO	DATO		°C	β/2
PROFUNDIDAD DE LA BARBILLA, tv	RESULTADO	DATO	#¡VALOR!		mm	
	β ≤ 50°		-		mm	tv=hr/4
	β > 60°		#¡VALOR!		mm	tv=hr/5
	50° < β ≤ 60°		-		mm	tv=(hr/120)·(80-β)
LONGITUD DEL COGOTE, lv	RESULTADO	DATO	#¡VALOR!		mm	
	lv MIN		150		mm	
	lv MAX		#¡VALOR!		mm	8·tv
COMPRESIÓN OBLICUA EN EL FRENTE DE LA BARBILLA	CONDICIÓN	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	σc,α,d / fc,α,d ≤ 1
	σc,α,d	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	F1/(bb·tv·cosα)
	fc,α,d	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	N/mm2
	fc,0,d	23,00	#¡VALOR!	23,00	#¡VALOR!	N/mm2
	fc,90,d	2,70	#¡VALOR!	2,70	#¡VALOR!	N/mm2
fv,d	4,00	#¡VALOR!	4,00	#¡VALOR!	N/mm2	
TENSIÓN TANGENCIAL RASANTE EN EL COGOTE	CONDICIÓN	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	τd / fv,d ≤ 1
	τd	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	F3/(br·lv)
fv,d	5,00	#¡VALOR!	5,00	#¡VALOR!	N/mm2	
COMPRESIÓN PERPENDICULAR SOBRE EL TIRANTE	CONDICIÓN	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	σc,90,d / fc,90,d ≤ 1
	σc,90,d	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	F4/(bb·l90)
	l90	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	tv·((tgβ^2+1)/(tgβ))
fc,90,d	13,50	#¡VALOR!	13,50	#¡VALOR!	N/mm2	
EXCENTRICIDAD EN EL PAR	e	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	((hb-tv)/cosβ)/2
	ΔMd	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	Nbd·e
EXCENTRICIDAD EN EL TIRANTE	ΔMd	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	Vap.tirante·a - Nrd·hr/2
	α	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	(Nrd·hr)/(2·Vap.tirante)

5.3 APLICACIÓN BASE EXCEL EMBARBILLADO SIMPLE FRONTAL

En base a lo expuesto en "análisis experimental y por elementos finitos del estado tensional de uniones tradicionales por embarbillado simple y doble en madera estructural". (Crespo; Guaita; Lorenzana; Villar, 2015)

Esta publicación profundiza en aspectos que no tienen cabida en este trabajo, por lo que nuestro nivel de relación con este será en el nivel de análisis que nos ocupa.

Se comprueba, con las mismas características que las que aparecen en el estudio el caso del embarbillado frontal simple y sobre el que hemos trabajado.

El estudio al que se hace referencia lleva a cabo ensayos experimentales a tamaño real (9 uniones par-tirante), se desarrollaron modelos numéricos en 2 tipos de uniones con ensamble embarbillado: embarbillado simple de talón y en el embarbillado doble.

El objeto de este estudio era mejorar el conocimiento de estos ensambles y optimizar la definición geométrica de ellos.

CARACTERÍSTICAS DE LAS PIEZAS	
MADERA	Madera laminada homogénea GL24h
	Picea (Picea abies)
	Clase de servicio 1. Estructura bajo cubierta y cerrada. Duración de la carga corta)
TIRANTE	Base: 120mm
	Altura: 240 mm
	Longitud: 1400 mm
PAR	Base: 120 mm
	Altura: 200 mm
	Longitud: 950mm
β	30°
CTE SE-M regula las limitaciones de geometría, rebaje (tv), y longitud de cogote (lv)	
Tabla: Características de las piezas según el estudio. (Crespo; Guaita; Lorenzana; Villar, 2015).	

Embarbillado simple talón:

- Resistencias teóricas:
- Rotura por compresión oblicua: 62,00 kN.
- Rotura por rasante en el cogote: 87,30 kN.
- En algunos ensayos se realizan con una holgura de 3 mm.

Embarbillado doble:

- tv1 = 40 mm
- tv2 = 86 mm
- Resistencia teórica:
- Rotura a compresión oblicua (Nbd) 122 kN
- Longitud de cogote (lv) 350 mm (mínimo 150 mm según el CTE, será 400 mm)
- Rotura por rasante en el cogote 139,67 kN. Con este aumento por el CTE, aumenta la resistencia por rasante.

	Embarbillado doble			De talón con holgura			De talón sin holgura		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Teórica*	139,7 – 122,0			87,3 – 62,0			87,3 – 62,0		
Experimental	134,2	168,5	177,3	123,5	138,4	150,3	157,8	128,5	105,0
Media Exp.	160,0			137,4			130,4		
Incremento* sobre teórica	+15%	+31%		+57%	+122%		+49%	+110%	

* El primer valor representa la resistencia por rasante en el cogote y el segundo por compresión oblicua.

Fig. 94. Tabla Cargas a las que se produce la rotura en kN aplicados en el par.

SIMPLIFICACIONES:

Al igual que en: "Diseño y Cálculo de Uniones en Estructuras de Madera". (Fuente: Argüelles; Arriaga; Íñiguez; Esteban; Fernández. *MADERIA* 2011), se produce una serie de simplificaciones:

- Las fuerzas a las caras del ensamble se definen perpendicularmente a las secciones sobre las que actúan.
- Compresión oblicua, suponiendo que la orientación de la fibra es paralela a los ejes de las piezas.
- Se desprecia el rozamiento por contacto entre las piezas, no contribuye a la transmisión de cargas.
- La distribución de las fuerzas sobre las caras de contacto atiende a supuestos de reparto de esfuerzos sobre las superficies.

CONCLUSIONES:

Las cargas que ocasionaron la rotura en los empalmes fue una vez obtenidos los 130 y 180 kN, (entre un 15 y un 120% más de lo estimado por el cálculo según el CTE-SE-M).

El fallo se produce en todos los casos al superarse la resistencia a tensión rasante en el cogote de forma paralela a las fibras (en el embarbillado doble la rotura se produjo desde el rebaje trasero o de talón. Al no existir fallo por compresión oblicua que origine plastificación, el fallo es repentino y no se ha apreciado una fase progresiva plástica).

En los ensayos se comprueba que el margen de resistencia se incrementa respecto al cálculo teórico en ambos casos, pero más en el embarbillado simple de talón. Esto se debe a la simplificación de un reparto uniforme de la tensión rasante en toda la longitud de cortante en el cogote (tomando este con su valor máximo).

En ningún caso se observa fallo por compresión oblicua a las fibras, solo una plastificación puntual en una zona pequeña que no origina el colapso de la unión. Por lo tanto el valor de la tabla corresponde a la resistencia teórica.

En el embarbillado de talón no aparece el esperado fallo al no superarse la resistencia de tracción, generación de una grieta de tracción perpendicular a las fibras en el pico del talón que apoya en la pieza con rebaje. Podría darse el caso si existiese un giro en la unión, por lo que se recomienda la holgura.

5.3.1 EMBARBILLADO FRONTAL SIMPLE

Se observa que con las mismas características, teóricamente el embarbillado frontal simple dejaría de cumplir:

- Compresión oblicua en el frente de la barbilla con una carga de 25.900 N/mm
- Tensión tangencial rasante en el cogote con una carga de 30.000 N/mm
- Compresión perpendicular sobre el tirante con una carga de 328.000 N/mm.

Como conclusión queda claro que, teóricamente, tanto el embarbillado de talón como el embarbillado doble, en comparativa mucho mejor el doble ya que con el de talón la diferencia de cargas no es tan elevada, son mejores soluciones que el embarbillado frontal simple.

Además se observa que la compresión oblicua en el frente de la barbilla y la tensión tangencial rasante en el cogote necesitan fuerzas menores y de valores similares para llegar al colapso de este parámetro, mientras que la compresión perpendicular sobre el tirante la carga del axil es muy elevada en comparación a estas.

A continuación se aportan las hojas de cálculo EXCEL que se ha seguido para llegar a este resultado.

ESTUDIO DE EMBARBILLADO SIMPLE FRONTAL

BASE A LO EXPUESTO EN "ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y POR ELEMENTOS FINITOS DEL ESTADO TENSIONAL DE UNIONES TRADICIONALES POR EMBARBILLADO SIMPLE Y DOBLE EN MADERA ESTRUCTURAL".
(CRÉSPO; GUAITA; LORENZANA; VILLAR, 2015)

Aplicación del CTE (DB SE-M), realizado según lo descrito por: "Diseño y Cálculo de Uniones de Madera" (MADERIA 2011)

ELEMENTOS	UNIDADES
PIEZA CON BARBILLA	
CALIDAD MADERA	
GL24h	-
BASE (bb)	mm
120	
ALTURA (hb)	mm
200	
LONGITUD (lb)	mm
950	
PIEZA CON REBAJE	
CALIDAD MADERA	
GL24h	-
BASE (br)	mm
120	
ALTURA (hr)	mm
240	
LONGITUD (lr)	mm
1400	

ACC. EN LA EDIF. BARBILLA	bb (mm)	hb (mm)	DENSIDAD (kN/m ³)
P. PROPIO (kN/m)	120	200	3,8
CUBIERTA (kN/m ²)	DATO		
USO (kN/m ²)	DATO		
NIEVE (kN/m ²)	DATO		
INTEREJE (m)	DATO		
RESULTADO (N/mm)	25900		

ESFUERZOS	UNIDADES	CÁLCULOS
Nbd	N	ACCIÓN PERM BARBILLA / sen β
Vbd	N	ACCIÓN PERM BARBILLA / cos β
Nrd	N	
Vpoy.r/d	N	

COMPONENTES	UNIDADES	CÁLCULOS
F1	N	Nbd · cos α + Vbd · sen α
F2	N	Nbd · sen α + Vbd · cos α
F3	N	Nbd · cos β + Vbd · sen β
F4	N	F1 · sen α + F2 · cos α

CALIDAD MADERA	COMP. PARALELA		COMP. PERP.	CORTANTE	ACCIÓN PARALELA		UNIDADES: N/mm ²
	fc,0,d	fc,90,d			fv,d	ft,0,d	
CONIFERAS							
C14	16	2	2	3	8	14	
C16	17	2,2	2,2	3,2	10	16	
C18	18	2,2	2,2	3,4	11	18	
C20	19	2,3	2,3	3,6	12	20	
C22	20	2,4	2,4	3,8	13	22	
C24	22	2,5	2,5	4	14	24	
C27	22	2,6	2,6	4	16	27	
C30	23	2,7	2,7	4	18	30	
FRONDOSAS							
D18	18	7,5	7,5	3,4	11	18	
D24	21	7,8	7,8	4	14	24	
D30	23	8	8	4	18	30	
D35	25	8,1	8,1	4	21	35	
D40	26	8,3	8,3	4	24	40	
D50	29	9,3	9,3	4	30	50	
D60	32	10,5	10,5	4,5	36	60	
D70	34	13,5	13,5	5	42	70	
LAM. ENCOLADA HOMOGÉNEA							
GL24h	24	2,7	2,7	2,7	16,5	24	
GL28h	26,5	3	3	3,2	19,5	28	
GL32h	29	3,3	3,3	3,8	22,5	32	
GL36h	31	3,6	3,6	4,3	26	36	
LAM. ENCOLADA COMBINADA							
GL24c	21	2,4	2,4	2,2	14	24	
GL28c	24	2,7	2,7	2,7	16,5	28	
GL32c	26,5	3	3	3,2	19,5	32	
GL36c	29	3,3	3,3	3,8	22,5	36	

PARÁMETROS		ESTUDIO		NORMA		UNIDADES		CÁLCULOS	
ÁNGULOS	β	30,00		30,00		°C			
	α	15,00		15,00		°C		$\beta/2$	
PROFUNDIDAD DE LA BARBILLA, t_v	RESULTADO	60,00		60,00		mm			
	$\beta \leq 50^\circ$			60		mm		$t_v = hr/4$	
	$\beta > 60^\circ$			-		mm		$t_v = hr/5$	
	$50^\circ < \beta \leq 60^\circ$			-		mm		$t_v = (hr/120) \cdot (80 - \beta)$	
LONGITUD DEL COGOTE, t_v	RESULTADO	315,00		315,00		mm			
	t_v MIN			150		mm			
	t_v MAX			480,00		mm		$8 \cdot t_v$	
COMPRESIÓN OBLICUA EN EL FRENTE DE LA BARBILLA	CONDICIÓN	1,0002	NO CUMPLE	1,0002	NO CUMPLE			$\sigma_{c,90,d} / f_{c,90,d} \leq 1$	
	$\sigma_{c,90,d}$	16,32		16,32		N/mm ²		$F1/(lbb \cdot t_v \cdot \cos \alpha)$	
	$f_{c,90,d}$	16,32		16,32		N/mm ²			
	$f_{c,0,d}$	34,00		34,00		N/mm ²			
	$f_{c,90,d}$	13,50		13,50		N/mm ²			
	$f_{v,d}$	5,00		5,00		N/mm ²			
TENSIÓN TANGENCIAL RASANTE EN EL COGOTE	CONDICIÓN	0,856	CUMPLE	0,856	CUMPLE			$t_d / t_v, d \leq 1$	
	t_d	4,28		4,28		N/mm ²		$F3/(br \cdot t_v)$	
	$f_{v,d}$	5,00		5,00		N/mm ²			
COMPRESIÓN PERPENDICULAR SOBRE EL TIRANTE	CONDICIÓN	0,079	CUMPLE	0,0790	CUMPLE			$\sigma_{c,90,d} / f_{c,90,d} \leq 1$	
	$\sigma_{c,90,d}$	1,07		1,07		N/mm ²		$F4/(bb \cdot l90)$	
	$l90$	202,42		202,42		mm		$hb / \sin \beta$	
	$f_{c,90,d}$	13,50		13,50		N/mm ²			
EXCENTRICIDAD EN EL PAR	e	70,00		70,00		mm		$(hb - t_v)/2$	
	ΔMd	1834961,51		1834961,51		N·mm		$Nbd \cdot e$	
EXCENTRICIDAD EN EL TIRANTE	ΔMd	0		0		N·mm		$V_{ap, tirante} \cdot a - N_{rd} \cdot hr/2$	
	a	600		600		mm		$(N_{rd} \cdot hr)/(2 \cdot V_{ap, tirante})$	

ESTUDIO DE EMBARBILLADO SIMPLE FRONTAL

BASE A LO EXPUESTO EN "ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y POR ELEMENTOS FINITOS DEL ESTADO TENSIONAL DE UNIONES TRADICIONALES POR EMBARBILLADO SIMPLE Y DOBLE EN MADERA ESTRUCTURAL". (CRESPO; GUAITA; LORENZANA; VILLAR, 2015)

Aplicación del CTE (DB SE-M), realizado según lo descrito por: "Diseño y Cálculo de Uniones en Estructuras de Madera" (MADERIA 2011)

ELEMENTOS	UNIDADES
PIEZA CON BARBILLA	
CALIDAD MADERA	
BASE (bb)	GL24h
DIMENSIÓN	
ALTIMA (hb)	120
LONGITUD (lb)	200
	950
PIEZA CON REBAJE	
CALIDAD MADERA	
BASE (br)	GL24h
DIMENSIÓN	
ALTIMA (hr)	120
LONGITUD (lr)	240
	1400

ACC. EN LA EDIFICACIÓN BARBILLA		hb (mm)	hb (mm)	NSIDAD (kN/m ³)
C. PERM	P. PROPIO (kN/m)	120	200	3,8
	CUBIERTA (kN/m ²)	DATO		
	USO (kN/m ²)	DATO		
	NIEVE (kN/m ²)	DATO		
INTEREJE (m)		DATO		
	RESULTADO (N/mm)	30300		

ESFUERZOS	UNIDADES	CÁLCULOS
Nbd	N	ACCIÓN PERM. BARBILLA / sen β
Vbd	N	ACCIÓN PERM. BARBILLA / cos β
Nrd	N	
Vapoy.rd	N	

COMPONENTES	UNIDADES	CÁLCULOS
F1	N	Nbd·cos α + Vbd·sen α
F2	N	Nbd·sen α + Vbd·cos α
F3	N	Nbd·cos β + Vbd·sen β
F4	N	F1·sen α + F2·cos α

CALIDAD MADERA		UNIDADES: N/mm ²			
	COMP. PARALELA	COMP. PERP.	CORTANTE	ACCIÓN PARALE	FLEXIÓN
CONIFERAS	fc,0,d	fc,90,d	fv,d	ft,0,d	fm,d
C14	16	2	3	8	14
C16	17	2,2	3,2	10	16
C18	18	2,2	3,4	11	18
C20	19	2,3	3,6	12	20
C22	20	2,4	3,8	13	22
C24	22	2,5	4	14	24
C27	22	2,6	4	16	27
C30	23	2,7	4	18	30
FRONDOSAS					
D18	18	7,5	3,4	11	18
D24	21	7,8	4	14	24
D30	23	8	4	18	30
D35	25	8,1	4	21	35
D40	26	8,3	4	24	40
D50	29	9,3	4	30	50
D60	32	10,5	4,5	36	60
D70	34	13,5	5	42	70
LAM. ENCOLADA HOMOGÉNEA					
GL24h	24	2,7	2,7	16,5	24
GL28h	26,5	3	3,2	19,5	28
GL32h	29	3,3	3,8	22,5	32
GL36h	31	3,6	4,3	26	36
LAM. ENCOLADA COMBINADA					
GL24c	21	2,4	2,2	14	24
GL28c	24	2,7	2,7	16,5	28
GL32c	26,5	3	3,2	19,5	32
GL36c	29	3,3	3,8	22,5	36

PARÁMETROS	ESTUDIO	NORMA	UNIDADES	CÁLCULOS
ÁNGULOS	β	30,00	°C	
	α	15,00	°C	$\beta/2$
PROFUNDIDAD DE LA BARBILLA, tv	RESULTADO	60,00	mm	
	$\beta \leq 50^\circ$	60	mm	$tv = hr/4$
	$\beta > 60^\circ$	-	mm	$tv = hr/5$
	$50^\circ < \beta \leq 60^\circ$	-	mm	$tv = (hr/120) \cdot (80 - \beta)$
LONGITUD DEL COGOTE, lv	RESULTADO	315,00	mm	
	lv MIN	150	mm	
	lv MAX	480,00	mm	$8 \cdot tv$
COMPRESIÓN OBLICUA EN EL FRENTE DE LA BARBILLA	CONDICIÓN	1,1701	NO CUMPLE	$\sigma c, \alpha, d / f c, \alpha, d \leq 1$
	$\sigma c, \alpha, d$	19,09	N/mm ²	$F1 / (bb \cdot tv \cdot \cos \alpha)$
	$f c, \alpha, d$	16,32	N/mm ²	
	$f c, 0, d$	34,00	N/mm ²	
	$f c, 90, d$	13,50	N/mm ²	
	$f v, d$	5,00	N/mm ²	
TENSIÓN TANGENCIAL RASANTE EN EL COGOTE	CONDICIÓN	1,0019	NO CUMPLE	$td / fv, d \leq 1$
	td	5,01	N/mm ²	$F3 / (lbr \cdot lv)$
	fv, d	5,00	N/mm ²	
COMPRESIÓN PERPENDICULAR SOBRE EL TIRANTE	CONDICIÓN	0,0924	CUMPLE	$\sigma c, 90, d / f c, 90, d \leq 1$
	$\sigma c, 90, d$	1,25	N/mm ²	$F4 / (bb \cdot l90)$
	l90	202,42	mm	$hb / \sin \beta$
	$f c, 90, d$	13,50	N/mm ²	
EXCENTRICIDAD EN EL PAR	e	70,00	mm	$(hb - tv) / 2$
	ΔMd	2146692,42	N mm	$Nbd \cdot e$
EXCENTRICIDAD EN EL TIRANTE	ΔMd	0	N mm	$Vap \cdot tirante \cdot a - Nrd \cdot hr / 2$
	a	600	mm	$(Nrd \cdot hr) / (2 \cdot Vap \cdot tirante)$

ESTUDIO DE EMARBILLADO SIMPLE FRONTAL

BASE A LO EXPUESTO EN "ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y POR ELEMENTOS FINITOS DEL ESTADO TENSIONAL DE UNIONES TRADICIONALES POR EMARBILLADO SIMPLE Y DOBLE EN MADERA ESTRUCTURAL".
(CRESPO; GUAITA; LORENZANA; VILLAR, 2015)

Aplicación del CTE (DB SE-M), realizado según lo descrito por: "Diseño y Cálculo de Uniones en Estructuras de Madera" (MADERIA 2011)

ELEMENTOS	UNIDADES
PIEZA CON BARBILLA	
CALIDAD MADERA	GL24h
BASE (bb)	120
ALTURA (hb)	200
LONGITUD (lb)	950
PIEZA CON REBAJE	
CALIDAD MADERA	GL24h
BASE (br)	120
ALTURA (hrr)	240
LONGITUD (lrr)	1400

ACC. EN LA EDIFICACIÓN BARBILLA	bb (mm)	hb (mm)	NSIDAD (kN/m3)	UNIDADES
P. PROPIO (kN/m)	120	200	3.8	0,0912
CUBIERTA (kN/m2)	DATO			
USO (kN/m2)	DATO			
NIEVE (kN/m2)	DATO			
INTEREJE (m)	DATO			
RESULTADO (N/mm)	328000			

ESFUERZOS	UNIDADES	CÁLCULOS
Nbd	331973,18	ACCION PERM BARBILLA/ senβ
Vbd	2126398,17	ACCION PERM BARBILLA/ cosβ
Nrd	100000,00	
Vapoy.rd	20000	

COMPONENTES	UNIDADES	CÁLCULOS
F1	1130574,86	Nbd·cos α + Vbd·sen α
F2	1399520,86	Nbd·sen α + Vbd·cos α
F3	2049741,29	Nbd·cos β + Vbd·sen β
F4	328000,00	F1·sen α + F2·cos α

CALIDAD MADERA						UNIDADES: N/mm2	
	COMP PARALELA		COMP PERP	CORTANTE	ACCIÓN PARALE	FLEXIÓN	
	fc,0,d	fv,0,d	fc,90,d	fv,d	fi,0,d	fm,d	
CONÍFERAS							
C14	16	3	2	3	8	14	
C16	17	3,2	2,2	3,2	10	16	
C18	18	3,4	2,2	3,4	11	18	
C20	19	3,6	2,3	3,6	12	20	
C22	20	3,8	2,4	3,8	13	22	
C24	22	4	2,5	4	14	24	
C27	22	4	2,6	4	16	27	
C30	23	4	2,7	4	18	30	
FRONDOSAS							
D18	18	3,4	7,5	3,4	11	18	
D24	21	4	7,8	4	14	24	
D30	23	4	8	4	18	30	
D35	25	4	8,1	4	21	35	
D40	26	4	8,3	4	24	40	
D50	29	4	9,3	4	30	50	
D60	32	4,5	10,5	4,5	36	60	
D70	34	5	13,5	5	42	70	
LAM. ENCOLADA HOMOGÉNEA							
GL24h	24	2,7	2,7	2,7	16,5	24	
GL28h	26,5	3	3	3,2	19,5	28	
GL32h	29	3,3	3,3	3,8	22,5	32	
GL36h	31	3,6	3,6	4,3	26	36	
LAM. ENCOLADA COMBINADA							
GL24c	21	2,4	2,4	2,2	14	24	
GL28c	24	2,7	2,7	2,7	16,5	28	
GL32c	26,5	3	3	3,2	19,5	32	
GL36c	29	3,3	3,3	3,8	22,5	36	

PARÁMETROS	ESTUDIO	NORMA	UNIDADES	CÁLCULOS
ÁNGULOS	β	30,00	°C	
	α	15,00	°C	$\beta/2$
PROFUNDIDAD DE LA BARBILLA, t_v	RESULTADO	60,00	mm	
	$\beta \leq 50^\circ$	60	mm	$t_v = hr/4$
	$\beta > 60^\circ$	-	mm	$t_v = hr/5$
	$50^\circ < \beta \leq 60^\circ$	-	mm	$t_v = (hr/120) \cdot (80 - \beta)$
LONGITUD DEL COGOTE, t_v	RESULTADO	315,00	mm	
	t_v MIN	150	mm	
	t_v MAX	480,00	mm	$8 \cdot t_v$
COMPRESIÓN OBLICUA EN EL FRENTE DE LA BARBILLA	CONDICIÓN	12,667	NO CUMPLE	$\sigma_{c,\alpha,d} / f_{c,\alpha,d} \leq 1$
	$\sigma_{c,\alpha,d}$	206,70	N/mm ²	$F1 / (bb \cdot t_v \cdot \cos\alpha)$
	$f_{c,\alpha,d}$	16,32	N/mm ²	
	$f_{c,0,d}$	34,00	N/mm ²	
	$f_{c,90,d}$	13,50	N/mm ²	
	$f_{v,d}$	5,00	N/mm ²	
TENSIÓN TANGENCIAL RASANTE EN EL COGOTE	CONDICIÓN	10,8452	NO CUMPLE	$t_d / f_{v,d} \leq 1$
	t_d	54,23	N/mm ²	$F3 / (br \cdot t_v)$
	$f_{v,d}$	5,00	N/mm ²	
COMPRESIÓN PERPENDICULAR SOBRE EL TIRANTE	CONDICIÓN	1,0002	NO CUMPLE	$\sigma_{c,90,d} / f_{c,90,d} \leq 1$
	$\sigma_{c,90,d}$	13,50	N/mm ²	$F4 / (bb \cdot t_{90})$
	t_{90}	202,42	mm	$hb / \sin \beta$
	$f_{c,90,d}$	13,50	N/mm ²	
EXCENTRICIDAD EN EL PAR	e	70,00	mm	$(hb - t_v) / 2$
	Δmd	23238122,59	N·mm	$Nbbd \cdot e$
EXCENTRICIDAD EN EL TIRANTE	Δmd	0	N·mm	$Vap.tirante \cdot \alpha - Nrd \cdot hr / 2$
	α	600	mm	$(Nrd \cdot hr) / (2 \cdot Vap.tirante)$

6 NOMENCLATURA

La terminología empleada se hace eco de la dispuesta en el CTE SE-M, añadiendo elementos y haciendo mínimas consideraciones en alguno de los dispuestos a continuación.

N	Fuerza (carga) axial; Esfuerzo normal
N_d	Valor de cálculo de la carga axial a compresión
N_{bd}	Valor de cálculo de la carga axial a compresión de la pieza con barbilla
N_{td}	Valor de cálculo de la carga axial a compresión de la pieza con talón
N_{rd}	Valor de cálculo de la carga axial a compresión de la pieza con rebaje
V_{bd}	Valor de cálculo de la carga a cortante de la pieza con barbilla
$V_{apoy,tir}$	Valor de cálculo de la carga a cortante de la pieza en la que apoya el tirante
a	Dato geométrico; distancia; separación
a_d	Valor de cálculo de un dato geométrico
b	Dato geométrico; anchura
b_b	Anchura pieza con barbilla
b_r	Anchura pieza con rebaje
b_t	Anchura pieza con talón
e	Excentricidad; espesor
f	Resistencia de un material (propiedad resistente)
$f_{c,0,d}$	Resistencia de cálculo a compresión paralela a la fibra de la madera aserrada
$f_{c,0,g,d}$	Resist. de cálculo a compresión paralela a la fibra de la madera laminada encolada
$f_{c,0,k}$	resistencia característica a compresión paralela a la fibra de la madera aserrada
$f_{c,0,g,k}$	Resist. característica a compresión paralela a la fibra de la madera lam. encolada
$f_{c,90,d}$	resistencia de cálculo a compresión perpendicular a la fibra de la madera aserrada
$f_{c,90,g,d}$	Resist. de cálculo a compresión perpendicular a la fibra de la madera lam. encolada
$f_{c,90,k}$	Resist. característica a compresión perpendicular a la fibra de la madera aserrada
$f_{c,90,g,k}$	Resist. caract. a compresión perpendicular a la fibra de la madera lam. encolada
$f_{m,d}$	resistencia de cálculo a flexión de la madera aserrada
$f_{m,g,d}$	resistencia de cálculo a flexión de la madera laminada encolada
$f_{m,k}$	resistencia característica a flexión de la madera aserrada
$f_{m,g,k}$	resistencia característica a flexión de la madera laminada encolada
$f_{t,0,d}$	resistencia de cálculo a tracción paralela a la fibra de la madera aserrada
$f_{t,0,g,d}$	resistencia de cálculo a tracción paralela a la fibra de la madera laminada encolada
$f_{t,90,d}$	resistencia de cálculo a tracción perpendicular a la fibra de la madera aserrada
$f_{t,90,g,d}$	Resist. de cálculo a tracción perpendicular a la fibra de la madera lam. encolada
$f_{t,0,k}$	resistencia característica a tracción paralela a la fibra de la madera aserrada
$f_{t,0,g,k}$	Resist. característica a tracción paralela a la fibra de la madera laminada encolada
$f_{t,90,k}$	resistencia característica a tracción perpendicular a la fibra de la madera aserrada
$f_{t,90,g,k}$	Resist. característica a tracción perpendicular a la fibra de la madera lam. encolada
$f_{v,d}$	resistencia de cálculo a cortante de la madera aserrada
$f_{v,g,d}$	resistencia de cálculo a cortante de la madera laminada encolada
$f_{v,k}$	resistencia característica a cortante de la madera aserrada
$f_{v,g,k}$	resistencia característica a cortante de la madera laminada encolada
$f_{v,0,d}$	resistencia al cortante de cizalladura
$f_{v,90,d}$	resistencia al cortante de rodadura.
h	altura; canto; espesor
h_b	Altura pieza con barbilla

h_r	Altura pieza con rebaje
h_t	Altura pieza con talón
l	longitud; distancia; luz
l_b	Longitud pieza con barbilla
l_r	Longitud pieza con rebaje
l_t	Longitud pieza con talón
l_v	Longitud cogote
n	número de elementos mecánicos de fijación trabajando al unísono.
t_v	Longitud barbilla
q	carga lineal uniformemente repartida
α	ángulo formado por la direc. de la carga y la direc. de la fibra (compresión inclinada)
β	ángulo; relación; coeficiente adimensional
ρ	densidad
ρ_k	densidad característica de la madera aserrada
$\rho_{g,k}$	densidad característica de la madera laminada encolada
ρ_{medio}	densidad media de la madera aserrada
σ	tensión
$\sigma_{c,0,d}$	tensión de cálculo a compresión paralela a la fibra de la madera
$\sigma_{c,90,d}$	tensión de cálculo a compresión perpendicular a la fibra de la madera
$\sigma_{c,\alpha,d}$	tensión de cálculo a compresión inclinada (ángulo α) respecto a la fibra de la madera
σ_m	tensión de flexión
$\sigma_{m,0,d}$	tensión de cálculo a flexión en la fibra extrema del borde en el que la fibra es paralela respecto a la superficie de la viga, (vigas de madera lam. encolada)
$\sigma_{m,\alpha,d}$	tensión de cálculo a flexión en la fibra extrema del borde en el que la fibra está inclinada respecto a la superficie de la viga, (vigas de madera lam. encolada)
$\sigma_{m,d}$	tensión de cálculo a flexión
$\sigma_{t,0,d}$	tensión de cálculo a tracción paralela a la fibra de la madera
$\sigma_{t,90,d}$	tensión de cálculo a tracción perpendicular a la fibra de la madera
τ	tensión tangente; tensión cortante

7 BIBLIOGRAFÍA

1. Argüelles Álvarez, Ramón, "Uniones: un reto para construir con madera" Lección inaugural del año académico 2010, (Real Academia de la Ingeniería. Madrid, 2010).
2. Argüelles Álvarez, Ramón; Arriaga Martitegui, Francisco. "Estructuras de madera- Diseño y cálculo", (AITIM, Madrid, 1996), (1a ed.)
3. Argüelles Álvarez, Ramón; Arriaga Martitegui, Francisco; Íñiguez González, Guillermo; Esteban Herrero, Miguel; Fernández Cabo, José Luis, "Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera. Documento de aplicación del CTE" 03 Documento Técnico, (Materia Construcción. Sociedad Española de la Madera. Madrid, 2011).
4. Argüelles Álvarez, Ramón; Arriaga Martitegui, Francisco; Esteban Herrero, Miguel y Íñiguez González, Guillermo, "Confemadera-Construir con madera", (Confemadera, Madrid, 2013).
5. Arkiplus, "Historia de la Madera" <https://www.arkiplus.com/historia-de-la-madera/> (Acceso Julio, 2019).
6. Arriaga Martitegui, Francisco, "Uniones tradicionales" Curso Construcción en Madera, (CIS Madeira. ETS Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Julio 2007).
7. Aune, P; Blass, H.J.; Choo, B.S.; Görñacher, R; Griffiths, D.R.; Hilson, B.O.; Racher, P.; Steck, G., "Timber Engineering STEP 1", (Centrum Hout, The Netherlands, 1995), (1a ed.)
8. Basterra Otero, Luis Alfonso, Construcción de estructuras de madera, (COACYLE, Valladolid, 2009) (2a ed.)
9. Borràs, Xavier, Interempresas.net/madera "Breve Historia de la Madera como Material de Construcción". <http://www.interempresas.net/Madera/Articulos/44265-Breve-historia-de-la-madera-como-material-de-construccion.html>, (Acceso Julio, 2019)
10. Cabrero, José Manuel, "Diseño de estructuras de madera según el DB SE-M" Apuntes Departamento de Estructuras, (Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Navarra, 2009).
11. Cañas Guerrero, Ignacio; García Navarro, Justo; Ortiz Sanz, Juan; Rego Sanmartín, Teresa, "Análisis tipológico de las estructuras de las construcciones rurales tradicionales de barro. La casa corral de en Páramo de León. (España)". (Junio 2000)
12. Comité Europeo de Normalización (CEN), Eurocódigo 5 (UNE-ENV 1995-1-1) Proyecto de estructuras de madera, (Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) Marzo 1997).
13. Crespo, J; Guaita, M; Lorenzana, J.A.; Villar, J.R., "C20 – Análisis experimental y por elementos finitos del estado tensional de uniones tradicionales por embarbillado simple y doble en madera estructural", VIII Congreso Ibérico de Agroingeniería. Libro de actas, (Universidad Miguel Hernández de Elche, Octubre 2016). 516-528 https://books.google.es/books?id=8pd0DQAAQBAJ&pg=PA516&lpg=PA516&dq=embarbillado+madera+ejemplo&source=bl&ots=67KlfZIXKY&sig=ACfU3U2v2g0P7T_AkHkiR0jsk54nxcZ69g&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi3lpXmwL_kAhVIAWMBHbnUDHU4ChDoATAGegQICBAB#v=onepage&q&f=false (Acceso Agosto, 2019)

14. Infomadera.net, "Capítulo 14. Uniones carpinteras: cálculo". https://infomadera.net/uploads/publicaciones/pdf_291_Cap%2014%20Uniones%20carpinteras%20cálculo.pdf (Acceso Agosto, 2019)
15. Johansen, K.W., "Theory of Timber Connections" International Association for Bridge and Structural engineering (IABSE) Publication nº9, (Copenhague 1949), 249-262.
16. Kollmann, F., "Tecnología de la madera y sus aplicaciones", (Ministerio de Agricultura, IFIE, Madrid, 1960)
17. Mersä Wood, Kerto Manual Bolted Connections, (Abril 2013).
18. Mersä Wood, Kerto Manual Dowelled Connections, (Abril 2013).
19. Mersä Wood, Kerto Manual Nailed Connections, (Abril 2013).
20. Mersä Wood, Kerto Manual Screwed Connections, (Abril 2013).
21. Lomagno, Jorge, El Cálculo Teórico de Uniones en Madera, (Esquel, Argentina 2004).
22. Ministerio de Fomento, Código Técnico de la Edificación (CTE) Documento Básico Seguridad Estructural Madera (DB SE-M), (Abril 2009).
23. Ministerio de Fomento, Código Técnico de la Edificación (CTE) Documento Básico Acciones en la edificación (DB SE-AE), (Abril 2009).
24. Norma DIN 1052, (Octubre, 1969).
25. Nuere Matauco, Enrique, "Construir con madera" Informes de la Construcción, Vol. 49 nº453, (Enero / Febrero, España 1998).
26. Nuere Matauco, Enrique, "Prehistoria de la carpintería Española" Boletín de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando (RABASF), Número 116. (Madrid 2014)
27. Soláns, Sofía, "La madera, una alternativa sostenible" https://www.arquitecturaydiseno.es/pasion-eco/madera-alternativa-sostenible-construccion_1428/5, (Acceso Julio, 2019)
28. Villar García, José Ramón, "Uniones tradicionales – Unión embarbillado" (Tema 33), (Máster en ingeniería de la madera estructural. Universidad Santiago de Compostela. Lugo, 2011).
29. V.V.A.A., "Diseño de Uniones de Madera" (Capítulo V) Estructuras de Madera, (Universidad Mayor de San Simón, 2004).