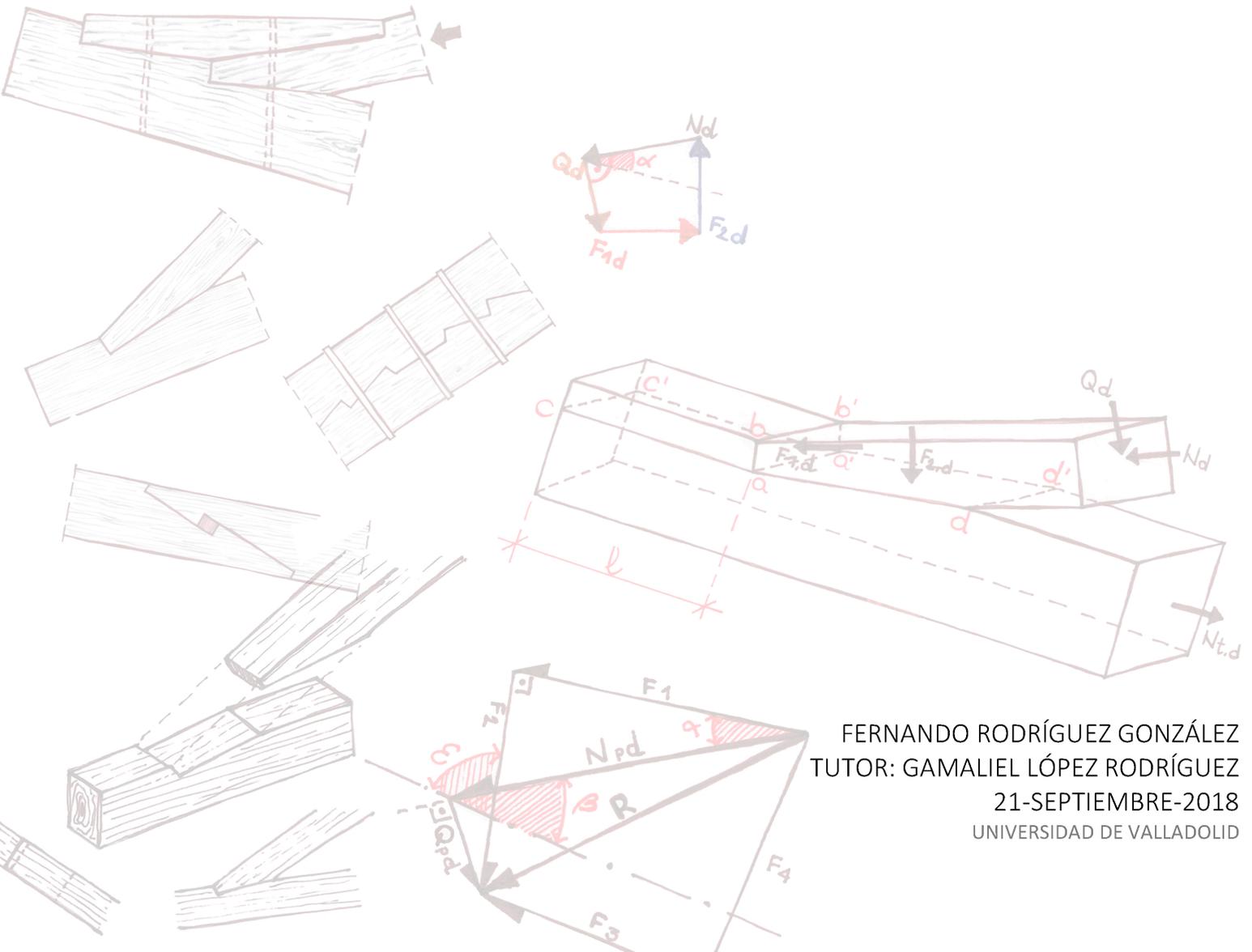


# TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA

ANÁLISIS DEL DISEÑO Y EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO, ASÍ COMO EL CÁLCULO Y OPTIMIZACIÓN DE UNA UNIÓN TRADICIONAL: EL EMBARBILLADO SIMPLE



FERNANDO RODRÍGUEZ GONZÁLEZ  
TUTOR: GAMALIEL LÓPEZ RODRÍGUEZ  
21-SEPTIEMBRE-2018  
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

## RESUMEN

El fin del trabajo no es otro que llegar, a través de una introducción de las características propias del material: la madera, al análisis pormenorizado de una unión tradicional, el embarbillado simple. Dicho análisis se centra en el comportamiento y la optimización de dicho ensamble mediante el estudio y la variación de algunos de los principales parámetros que determinan la unión en sí. Para que los resultados se puedan entender de manera correcta se aportan las necesarias tablas y gráficos que los mostrarán.

MADERA-UNIONES TRADICIONALES-EMBARBILLADO SIMPLE-ANÁLISIS-OPTIMIZACIÓN

TIMBER-CARPENTRY JOINTS-SIMPLE COGGIN JOINT-ANALYSIS-OPTIMIZATION

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	3
1.1.LA MADERA COMO MATERIAL EN LA CONSTRUCCIÓN.....	3
1.2. CARACTERÍSTICAS PROPIAS DE LA MADERA: HETEROGENEIDAD, ANISOTROPÍA Y PROPIEDADES FÍSICAS.....	5
1.2.1. HETEROGENEIDAD.....	5
1.2.1. ANISOTROPÍA.....	6
1.2.3.PROPIEDAS FÍSICAS.....	7
1.3.PATOLOGÍAS.....	8
1.3.1. DE ORIGEN BIÓTICO: .....	9
1.3.2. DE ORIGEN ABIÓTICO: .....	11
<b>2. DURABILIDAD DE LA MADERA, PROTECCIÓN Y COMPROBACIÓN EN CASO DE INCENDIO</b> .....	13
2.1. LA DURABILIDAD.....	13
2.2. TRATAMIENTOS DE PROTECCIÓN.....	13
2.2.1. TIPOS DE TRATAMIENTOS .....	15
2.3. COMPROBACIÓN EN CASO DE INCENDIO .....	17
<b>3. TIPOS DE MATERIALES Y FORMAS DE USO</b> .....	20
3.1. MADERA ASERRADA MACIZA .....	20
3.2. MADERA LAMINADA ENCOLADA.....	21
3.3. SISTEMAS PROHOLTZ.....	21
3.4. MADERA RECONSTITUIDA .....	22
3.5. TABLEROS .....	22
<b>4. TIPOS DE UNIONES</b> .....	24
4.1.UNIONES TRADICIONALES .....	24
.....	26
4.2.UNIONES MECÁNICAS .....	28
4.3.UNIONES ENCOLADAS .....	29
<b>5. ESTUDIO DETALLADO DE LA UNIÓN EN BARBILLA Y SUS DISTINTAS VARIANTES EN LA CARPINTERÍA DE ARMAR ESPAÑOLA. DEFINICIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS SIGNIFICATIVOS</b> .....	30
5.1. ANTECEDENTES DE LAS CUBIERTAS Y ESTADO DEL ARTE .....	30
5.2. DEFINICIONES.....	31
5.2. TIPOLOGÍAS DEL EMBARBILLADO.....	32
5.2.1. EMBARBILLADOS SIMPLES.....	32
5.2.2. EMBARBILLADOS DOBLES.....	36
5.3. DEFINICIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS SIGNIFICATIVOS.....	37
5.3.1. CRITERIOS DE DISEÑO.....	37

5.3.2. PLANTEAMIENTOS DEL CÁLCULO Y SIMPLIFICACIONES DE LOS ENBARBILLADOS SIMPLES: FRONTAL, EN ÁNGULO RECTO, DE PECHO Y DE TALÓN .....	39
<b>6. CASOS PRÁCTICOS: ESTUDIO DE LAS VARIACIONES GEÓMETRICAS Y TABLAS DE TENSIONES .....</b>	<b>44</b>
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>46</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>47</b>
8.1. LIBROS EN FORMATO FÍSICO .....	47
8.2. DOCUMENTOS Y LIBROS EN FORMATO DIGITAL.....	47
<b>9. ANEJOS .....</b>	<b>49</b>



Numerosos estudios y documentos históricos y arqueológicos han demostrado que fue durante el periodo clásico, en Grecia, donde alcanzó las cotas técnicas y artísticas que nos han llegado hasta la actualidad. Durante esta época se desarrollaría la carpintería de armar, entendida como la construcción y ensamblaje de piezas que conformen sistemas complejos, ya sea forjados o entramados horizontales, entramados de vigas y pilares, sistemas de cubierta. Este último llegaría como única solución posible a los problemas de cerramiento superior y salvaguarda de luces hasta el empleo común del acero durante la segunda mitad del siglo XIX.

Sin embargo, no podemos olvidarnos de la importancia que ha tenido la madera en los países asiáticos como China o Japón en los que se utilizaba en los que se empleaba de manera integral en los edificios e infraestructuras. Estos pueblos desarrollaron un verdadero arte en la carpintería y todo su ejercicio.

Como conclusión destacar la versatilidad de uno de los elementos más decisivos y cruciales empleados en la arquitectura e ingeniería ya sea mediante estructuras integrales en madera o elementos parciales (pilares, vigas, brochales, viguetas, correas, pares, aleros, etc), su uso inigualable como elemento auxiliar en la construcción (encofrados, andamiajes, cimbras, apuntalados, apeos, etc) y su empleo en la carpintería, cerramiento de huecos, escaleras, elementos de mobiliario y gran variedad de utensilios.



. PAGODA CHINA



. CORO BARROCO

## 1.2. CARACTERÍSTICAS PROPIAS DE LA MADERA: HETEROGENEIDAD, ANISOTROPÍA Y PROPIEDADES FÍSICAS

### 1.2.1. HETEROGENEIDAD

La madera es un elemento orgánico y heterogéneo constituido por una estructura fibrosa organizada, producida por un conjunto de seres vivos como son los árboles. La condición físico-química de sus células es la que posibilita su empleo.

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

El primero hace referencia a la observación visual de las distintas capas que conforman un téstigo de estudio. Dichas zonas son:

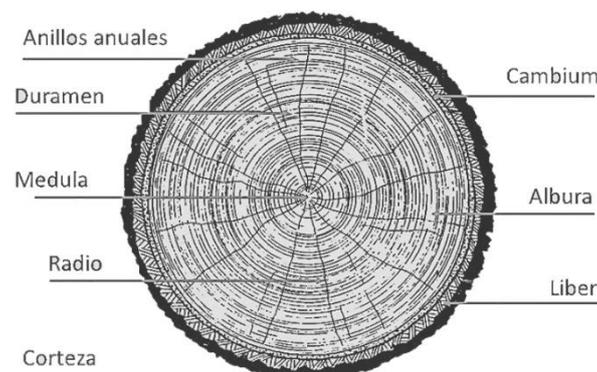
.Duramen: constituye la zona más interna del tronco, es la mayor antigüedad y resistencia y su comportamiento es puramente estructural.

.Albura: constituye la capa externa bajo la corteza, es la madera más joven que se va superponiendo a la de mayor edad existente, tiene una función biológica ya que por los conductos que posee viaja la savia (bruta y procesada). Al ser más porosa tiene más posibilidades de ser atacada por agentes bióticos.

.Cambium: constituye la capa entre la albura y la corteza, va alrededor de las partes vivas del árbol y sus células se dividen en dos grupos ya sea dando lugar a nuevas células de la albura hacia el interior o del líber al exterior.

.Corteza: constituye la capa más externa y la protección más inmediata del árbol, recubre el líber.

.Radios medulares: células de desarrollo radial, tienen una función de comunicación y transporte de nutrientes.

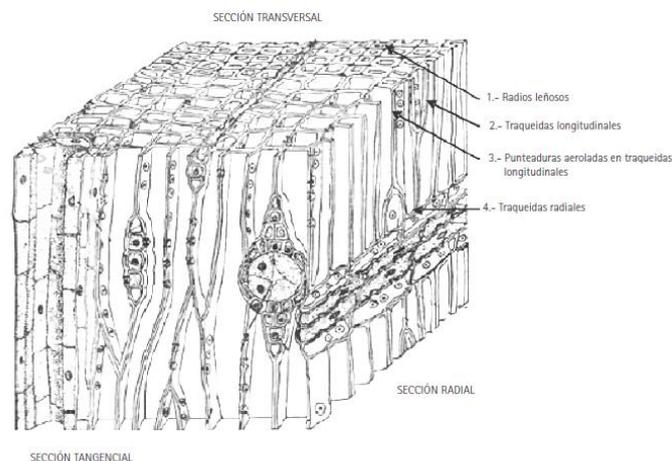


. ESQUEMA DE HETEROGENEIDAD  
(NIVEL MACROSCÓPICO)

A nivel microscópico se observa que la madera, lejos de ser un material homogéneo, está compuesta por diversidad de tejidos que sirven para conducir la savia, almacenar y procesar los nutrientes y general su estructura portante.

Estos tejidos están formados por células alargadas “tubulares” y muy variables en forma y tamaño que están unidas entre sí mediante la laminilla media o materia intercelular, y a su vez están trabadas por otras en la dirección perpendicular y en el sentido radial del tronco, formando los radios leñosos.

A un nivel aún más detallado se observa que las paredes de estas células alargadas están formadas por microfibras de celulosa embebidas en la lignina.



### . ESQUEMA DE HETEROGENEIDAD (NIVEL MICROSCÓPICO)

#### 1.2.1. ANISOTROPÍA

En lo referente al comportamiento mecánico de la madera, esta obedece a su anatomía heterogénea, que le permite que las células mencionadas puedan soportar esfuerzos en su dirección paralela mientras que la dirección perpendicular su comportamiento es muy distinto. Este hecho se conoce como Anisotropía y condiciona enormemente la construcción en madera.

De este modo se pueden establecer tres direcciones principales de los esfuerzos sobre la madera:

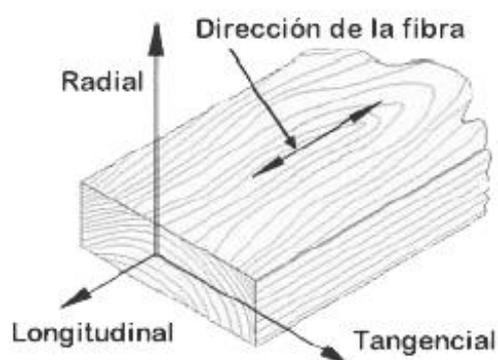
.Dirección axial: es paralela a las fibras leñosas y, en consecuencia, al eje del propio árbol. Es en la dirección que se consiguen las mejores prestaciones (compresión).

.Dirección radial: es perpendicular a la anterior y normal a los anillos de crecimiento de la sección del tronco.

.Dirección tangencial: se encuentra en la sección transversal también pero es tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular a la dirección radial.

Este hecho es fundamental para la correcta comprensión del comportamiento mecánico y estructural de la madera. Además conlleva la utilización de un subíndice propio que no se aplica a otros materiales. Algunos de estos subíndices son "0" para indicar la dirección paralela a la fibra, "90" para la radial o perpendicular, " $\alpha$ " para la oblicua, etc.

Las variaciones volumétricas que producen los cambios higrotérmicos en la madera también se explica gracias a la anisotropía. Estas son muy distintas en función de la dirección, siendo la más importante a considerar la perpendicular y casi despreciable la axial.



## . ESQUEMA DE ANISOTROPÍA

### 1.2.3. PROPIEDAS FÍSICAS

Siendo estrictos no podría hablarse de "madera" ya que la inmensa variedad natural de nuestro planeta deja de manifiesto que el término correcto y oportuno sería hablar de tipos de madera. No obstante, a pesar de esta gran variedad podemos establecer dos familias: Frondosas y Coníferas.

Las primeras representan a los árboles de madera más heterogénea y de mayor resistencia. Suele emplearse para la construcción de mobiliario y suelos ya que tienen un costo elevado. Algunos ejemplos de este tipo son el castaño, nogal, haya, teka, roble, okume, etc.

El segundo grupo representa los árboles de crecimiento "rápido" y madera más homogénea. Son las más empleadas en la carpintería de armar y las estructuras debido a que son las más abundantes y baratas. A este grupo pertenece la familia al completo de pinos y abetos, el chopo, etc.

En cuanto a las diferencias en sus propiedades físicas podemos establecer la siguiente comparación:

Propiedades		Coníferas (C22)	Fronchosas (D30)	Mad. Laminada (GL24h)	Mad. Microlaminada (LVL)	
Resistencia (N/mm <sup>2</sup> )	Compresión	Paralela	20	23	24	35
		Perpendicular	2,40	8	2,7	6
	Tracción	Paralela	13	18	16,5	35
		Perpendicular	0,40	0,60	0,4	0,8
	Flexión		22	30	24	44
Cortante		3,80	4	2,7	4,1	
Rigidez (KN/mm <sup>2</sup> )	Módulo de Young paralelo medio (E <sub>0,med</sub> )		10	12	11,6	13,8
Densidad media (kg/m <sup>3</sup> )			410	640	380	510

Tabla1. Propiedades comparadas entre dos tipos distintos de madera

De esta tabla comparativa podemos deducir las mejores prestaciones que ofrecen los nuevos materiales como la madera microlaminada (LVL) frente a los más tradicionales respecto a todos los esfuerzos y flexión con un incremento de la densidad (peso) bastante pequeño en proporción.

### 1.3.PATOLOGÍAS

Ya que este tema es tan extenso que podría constituir en sí mismo un trabajo de investigación independiente se expondrá de manera general y resumida para que se entienda clara y concisamente la idea. En todo caso se ha dado la mayor importancia de todos al FUEGO y se ha intentado analizar en lo mejor manera posible sin profundizar en exceso en el tema.

Debido a su origen orgánico, la madera es muy propensa a ser atacada por determinados agentes cuyas acciones la pueden afectar de diferentes maneras: ya sea un simple cambio en la coloración o la destrucción total de la lignina y celulosa que conlleva la disgregación y desaparición de la pieza.

Los principales agentes agresores de la madera se pueden agrupar en dos tipos en función de su origen: Bióticos o Abióticos

### 1.3.1. DE ORIGEN BIÓTICO:

A. Hongos xilófagos: Aparecen cuando la madera posee un contenido de humedad superior al 18-20%. Las esporas contenidas en el aire se depositan en la madera y son capaces de desarrollarse. Existen varios tipos de hongos:

A1. Mohos: son externos y se manifiestan en forma de manchas. No suponen modificaciones relevantes en las propiedades mecánicas.

A2. Hongos cromógenos: penetran en el interior y estropean su aspecto visual sin afectar a sus prestaciones. Destacan el azulado y el pasmo de haya.

A3. Hongos de pudrición: aparecen cuando el contenido de humedad de la madera es superior al 20% y la temperatura esté entre los 5 y 40°C. Se sitúan en el interior de la madera alimentándose de ella de tal forma que acaban destruyendo los elementos anatómicos lo que conlleva en una pérdida de las prestaciones físico-mecánicas. Destacan la parda o cúbica y la blanca o fibrosa.



.DAÑOS OCASIONADOS POR HONGOS DE PUDRICIÓN



.DAÑOS OCASIONADOS POR HONGOS



. DAÑOS OCASIONADOS POR HONGOS DE PUDRICIÓN (PUDRICIÓN FIBROSA)

B. Insectos xilófagos: Como su propio nombre indica, son aquellos que se alimentan de madera. Existen dos grandes grupos: Coleópteros, Isópteros y xilófagos marinos.

B1. Coleópteros, de ciclo larvario: insectos voladores que llevan a cabo sus ataques en fase larvaria, perforando galerías por toda la pieza hasta que se desarrollan y la abandonan. Destacan los anóbidos (carcoma común o fina), cerambícidos (carcoma gruesa), líctidos (polilla del parqué).



ANÓBIDOS

CERAMBÍCIDOS

LÍCTIDOS

.DAÑOS OCASIONADOS POR INSECTOS XILÓFAGOS COLEÓPTEROS

B2. Isópteros, insectos sociales: este tipo de insecto vive formando colonias jerarquizadas. Lo importante de estos insectos es que no viven en la madera, si no en grandes nidos enterrados en el suelo, cerca de la madera, y van a ella exclusivamente a alimentarse. Al ser seres fotofóbicos no podemos percibirlos a simple vista, por lo que su detección es tremendamente compleja y en muchas ocasiones cuando se descubren los daños ya son devastadores e irremediables.



.DAÑOS OCASIONADOS POR XILÓFAGOS ISÓPTEROS (TERMITAS)

B3. Xilófagos marinos: reciben este nombre los invertebrados marinos que para vivir y desarrollarse necesitan cierta cantidad de sal disuelta en el agua y, al igual que los coleópteros habitan en el interior

creando galerías y cavidades en la pieza. Sus daños pueden ser considerables. Destacan la Limoria, el Teredo y el Pholades.



. DAÑOS OCASIONADOS POR XILÓFAGOS MARINOS

### 1.3.2. DE ORIGEN ABIÓTICO:

- A. EL FUEGO: Unos de los elementos de mayor poder destructivo para cualquier edificación. Al contrario de lo que generalmente se piensa, la madera expuesta a la acción del fuego presenta una respuesta favorable. Está claro que la madera, como material vivo y orgánico, arde. Ahora bien, su coeficiente de transmisión térmica es muy bajo (0,55 para las coníferas y 0,7 para las frondosas) y el de las capas externas quemadas es aún más bajo, lo que ralentiza enormemente la propagación y acción del fuego. Así, el interior de la madera mantiene su temperatura sin ver sus condiciones alteradas. El problema deriva pues, de la pérdida de sección de las piezas que compromete la estabilidad de la estructurada afectada.



.DAÑOS OCASIONADOS POR EL FUEGO



.SECCIÓN REDUCIDA POR DAÑOS DEL FUEGO

- B. El agua: La humedad o la lluvia es una de las causas principales de patologías de la madera ya sea originando cambios dimensionales o propiciando la aparición de agentes citados en el apartado anterior. Agrava además la fotodegradación ayudando a lavar la lignina deteriorada por los rayos UVA.
- C. La radiación solar: Los rayos ultravioletas solares influyen mayormente sobre la lignina. Con el paso del tiempo, el agua y el viento ayudan a que se lleven a cabo procesos de meteorización que afectan a las prestaciones y la estética de la madera.
- D. Variaciones higrotérmicas: El contenido de humedad de las piezas puede resultar en variaciones volumétricas como son la hinchazón y la merma. Estas variaciones son especialmente importantes en la dirección perpendicular a las fibras leñosas. Otros efectos importantes son la aparición de fendas provocadas por la retracción durante el secado de la pieza y los alabeos.
- E. Daños físicos y mecánicos: son fallos de origen humano que se manifiestan en la estructura una vez está en estado de carga. Estos daños son proporcionales a la duración de dicha carga. Los deterioros más trascendentes que puede llegar a sufrir la carpintería de armar y que afectan a la resistencia y estabilidad son: Fallos en las uniones
- Fallos en el dimensionado de las piezas
  - Fallos en el propio diseño de la estructura
  - Deformaciones elevadas por fluencia
  - Agotamiento por sección insuficiente
  - Defectos locales
  - Arriostamiento erróneo o insuficiente

## 2. DURABILIDAD DE LA MADERA, PROTECCIÓN Y COMPROBACIÓN EN CASO DE INCENDIO

### 2.1. LA DURABILIDAD

Como ya se vió en el apartado anterior, la madera es un elemento orgánico expuesto al ataque de agentes patológicos. La durabilidad natural es una capacidad intrínseca que posee toda madera para poder resistir este tipo de ataques. Ésta durabilidad depende de ciertos factores como son:

- . La especie de madera
- . La zona de afectación ya sea la albura o el duramen
- . Los detalles de diseño que eviten la penetración y acumulación de agua
- . La buena y correcta ventilación

La duraminización es un proceso de transformación natural que se produce mediante unas reacciones químicas y anatómicas en el interior del tronco a lo largo del tiempo. Este hecho protege a la madera de un modo natural, ya que genera impregnaciones con propiedades antisépticas y obtura total o parcialmente los tejidos leñosos.

Cuando las prestaciones de un elemento estructural de madera pueden verse mermadas se compromete tremendamente la seguridad y el aspecto económico por lo que habrá que elegirse una especie de mayor durabilidad natural o aplicar una serie de tratamientos que la incrementen. En lo referente a este aspecto es importante saber a qué tipo de ataques puede verse expuesta la pieza, así como la impregnabilidad, que es la capacidad que tiene la madera para permitir la penetración de un líquido y en función de la especie afecta a la profundidad que alcanzan los tratamientos de protección.

En cuanto a la aplicación de estos tratamientos deben tenerse en cuenta algunos factores:

- . La durabilidad natural de la madera
- . La protección de todo el volumen que pueda degradarse
- . Asegurar la clase de servicio prevista en el proyecto

### 2.2. TRATAMIENTOS DE PROTECCIÓN

El fin de la aplicación es alcanzar o mejorar la protección natural del duramen de la madera. Éstos tenderán a impregnar y rellenar el interior de la estructura leñosa, permitiendo que se fijen mediante reacciones químicas que se producen. Los distintos métodos de tratamiento dependen de:

. **Las especies:** las coníferas o frondosas reaccionan de manera muy diferente a los ataques de algunos agentes bióticos. De la misma manera pueden variar la distribución y penetración de los elementos de protección, por lo que un mismo producto puede ser menos eficaz en una especie que en la otra frente a un agente agresivo.

. **Las capas que posea la pieza de madera:** Ya sea duramen o albura, la durabilidad del elemento frente a los hongos de pudrición solo se establece para el duramen, ya que la albura de todas las especies es propensa

a los ataques. Sin embargo, en el caso de los coleópteros, a no ser que se especifique lo contrario, se considera que el duramen es resistente.

. **El producto protector utilizado y sus valores de penetración y retención:** otro factor que está estrechamente relacionado con el tipo de especie utilizada es la impregnabilidad. Además de que también es importante la zona de la madera que se emplee ya que, mientras la albura es más fácilmente permeable el duramen es mucho más impermeable al tratamiento.

En definitiva, el tratamiento protector que se vaya a emplear deberá especificarse en función de su penetración y retención atendiendo a la clase de uso. Según el CTE se establecen los siguientes tipos de protección dependiendo de donde se sitúen las piezas y de si están en contacto o no con el suelo:

Clase de Uso	Situación	Tipo de protección CTE	UNE EN 351-1
1	Bajo cubierta (ambiente seco)	Ninguna-Superficial	NP1
2	Bajo cubierta (posibilidad de humedad)	Superficial	NP1
3	3.1 Al descubierto (protegido)	Media	NP2
	3.2 Al descubierto (sin protección)		NP3
4	En contacto con el suelo o agua dulce	Profunda	NP4-5
5	En agua salada		NP6

Tabla2. Elección del tipo de protección



. PROTECCIÓN SUPERFICIAL



. PROTECCIÓN MEDIA



. PROTECCIÓN PROFUNDA

### 2.2.1. TIPOS DE TRATAMIENTOS

Como se analizó en el apartado de patologías, existen dos tipos de agentes atacantes, bióticos y abióticos y cada uno tiene su propio tipo de tratamiento.

-Protectores contra daños bióticos: se agrupan en cuatro grandes grupos:

. *Productos hidrosolubles*: se trata de óxidos minerales disueltos en soluciones acuosas que se aplican antes de la puesta en obra y mediante métodos que aseguren una penetración profunda. La madera queda coloreada generalmente.

. *Productos en disolvente orgánico*: se trata de principios activos disueltos en derivados del petróleo. Poseen también fotoprotectores y biocidas. Se aplican tanto superficial como profundamente y no modifican el color ni las propiedades de la madera.

. *Productos hidrodispersables*: se trata de principios activos emulsionados en agua, ya que no son solubles en ella. Se aplican superficialmente ya que poseen menos poder de penetración que los orgánicos. Sin embargo, son menos contaminantes y tampoco colorean la madera.

. *Productos orgánicos naturales*: se trata de destilados de alquitranes de hulla (carbones grasos), conocidos como “creosotas”. Su uso se limita a la aplicación en elementos como las traviesas ferroviarias, cercados, postes embarcaderos, etc. debido a que son altamente tóxicos.

-Protectores contra daños abióticos: contra estos agentes la única estrategia que se puede seguir es eliminar la zona dañada y aplicar tratamientos preventivos sobre la madera sana.

. *Revestimientos*: pueden ser opacos debido a los pigmentos empleados o transparentes (barnices)

. *Protectores*: productos pigmentados con fungicidas, insecticidas y fotoprotectores. Reciben el nombre de Lasures y se aplican superficialmente para que permitan el intercambio de humedad con el ambiente.

No obstante, la mejor recomendación es evitar el contacto con el agua en cualquiera de sus formas por lo que esto conlleva.

. **Protección contra el fuego**: aunque este apartado es demasiado extenso como para desarrollarlo en su totalidad en este trabajo, cuyo tema de estudio es otro, se intentará resumir de la siguiente manera:

A efectos prácticos pueden establecerse dos clases de protección ante un incendio accidental:

-Protección activa que apaga el fuego una vez se ha producido.

-Protección pasiva que evita que se produzca el fuego o minimiza sus efectos. Para llevarla a cabo, se pueden realizar tres tipos de tratamientos:

. Ignífugos: se trata de productos que retardan el fuego y que actúan de varias maneras. Ya sea reduciendo la temperatura del punto de inflamación, suprimiendo o reduciendo la conducción del calor al resto de la pieza de madera mediante la generación de capas aislantes de carbón, evitando la formación de la llama

a través de reacciones químicas que desprenden gases que acaparan el oxígeno del aire y evitan así la combustión. Su aplicación se realiza mediante impregnación media-profunda de los tratamientos.



. PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO (POR PRODUCTOS IGNÍFUGOS)

. Intumescentes: se trata de tratamientos que conforman una capa microporosa aislante sobre la madera que actúa de pantalla e impide durante un periodo de tiempo la llegada del oxígeno. Además, se crea una especie de espuma con costra superficial que aísla y reduce la penetración de calor, retardando la propagación de la llama y minimizando el desarrollo del humo. Su aplicación es superficial y puede o no modificar la apariencia estética de la pieza.



. PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO  
(POR PRODUCTOS INTUMESCENTES)

. Protectores: se trata de un tratamiento que genera una barrera oculta y protege la madera, de tal manera que queda aislada durante un periodo de tiempo de la temperatura del incendio y de su contacto con las llamas. Pueden ser de dos tipos:

-Morteros proyectados a base de fibras minerales o compuestos químicos que se fijan a la madera sobre una malla metálica interpuesta. Son de rápida aplicación y baratos, sin embargo, pueden producir patologías en la puesta en obra por daños excesivos de pulverización y contracciones con agrietamientos por el aporte de humedad al ambiente. Son de difícil reparación y, por lo general, no

aportan una apariencia atractiva a la madera. Estas técnicas requieren aún de investigación en su aplicación a la madera estructural.



. PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO (MORTEROS PROYECTADOS)

-Albañilería y revestimientos secos a partir de fábricas de ladrillo o bloques cerámicos. Son sistemas económicos y eficaces, pero presentan dificultades constructivas a la hora de revestir determinados elementos estructurales como pueden ser los horizontales. Además, el aumento del espesor de dichos elementos puede provocar incompatibilidades geométricas. Por ello, en la actualidad, se optan por soluciones de paneles rígidos incombustibles que protegen y revisten todo el material leñoso. Su uso está limitado al interior de las edificaciones. Pueden presentar dificultades para adaptarse a ciertas geometrías y son sensibles a los daños de origen mecánico.

### 2.3. COMPROBACIÓN EN CASO DE INCENDIO

Como se explicó anteriormente el comportamiento de la madera frente al fuego suele ser favorable en relación con la seguridad. No obstante, cabe señalar la gran cantidad de normas nacionales e internacionales que establecen los 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. Esto conlleva establecer y distinguir unos conceptos importantes:

.Resistencia al fuego: es la capacidad de mantener la capacidad portante del elemento expuesto al fuego durante un periodo de tiempo concreto y bajo acciones mecánicas.

.Comportamiento al fuego: es el modo en que el material responde a la exposición al fuego.

.Reacción al fuego: es el modo en que el material responde a la exposición al fuego al contribuir con su propia descomposición.

La combustión de la madera suele ser un proceso lento que comienza en la superficie y poco a poco se va produciendo una pérdida de sección gradual que avanza a una velocidad empíricamente. Como ya vimos, el coeficiente de transmisión térmica es muy bajo y el de las zonas carbonizadas ( que se empiezan a formar al

momento de iniciarse el fuego) lo es aún más, por lo que la propagación del calor en el interior de los elementos es lento y dificultoso. La pérdida de la capacidad portante se debe prácticamente a la reducción de la sección.

Hay que tener en consideración que antiguamente las uniones carpinteras o tradicionales transmitían los esfuerzos de manera directa de madera a madera y el empleo de los elementos metálicos que fueran precisos en su caso se debía únicamente a mantener la unión fija. Hoy día se utilizan estos elementos metálicos de forma masiva ya sean clavijas, placas, pasadores, etc. y ahora sí que tienen un papel estructural en la transmisión de esfuerzos. Por lo tanto, es necesario protegerlos frente a posibles incendios mediante su empotramiento en taladros o ranuras practicadas en las piezas de madera, que actúan de aislante térmico.

Al ser la sección reducida uno de los principales problemas el DB-SI permite como método simplificado el cálculo de dicha sección. Este cálculo consiste en determinar la resistencia de los elementos estructurales con una sección parcialmente consumida. Para conocer las dimensiones de ésta se parte de que la velocidad de avance de la carbonización es conocida y puede considerarse constante. Así se puede estimar la profundidad carbonizada.

$$d_{car} = \beta \cdot t \quad (\text{ec.1})$$

Siendo  $\beta$ :

$\beta$ [mm/min]	$\beta_0$ [mm/min]	
0,67	0,80	Coníferas
0,54	0,55-0,70	Fronosas

Una vez obtenido  $d_{car}$  calculamos la profundidad de carbonización eficaz:

$$d_{ef} = d_{car} + k_0 \cdot d_0 \quad (\text{ec.2})$$

Siendo  $k_0$  un valor de la profundidad adicional en los instantes iniciales del incendio, debido a que la pérdida de resistencia se estabiliza a los 20 minutos.

$k_0$	
$t/20$	$t < 20\text{min}$
1	$t \geq 20\text{min}$

Y siendo  $d_0 = 7\text{mm}$  un valor de profundidad adicional para compensar la pérdida de resistencia en la zona perimetral carbonizada por la pirolisis.

El CTE establece además en el anejo SI E un coeficiente de modificación general  $k_{mod} = 1$  y admite que la resistencia de cálculo y los parámetros de cálculo de la rigidez se mantienen constantes durante el incendio, conservando sus valores iniciales. Esta resistencia de cálculo en situación accidental es  $\eta_{M,fi} = 1$ .

Al tratarse de una situación excepcional de accidente incompatible con es estado de cargas previsto en situación normal, los valores de las acciones de cálculo se obtienen a partir de su valor a temperatura normal de la siguiente manera:

$$E_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad (\text{ec.3})$$

Siendo  $E_d$  el efecto de las acciones de cálculo a temperatura normal y  $\eta_{fi}$  un factor de reducción cuyo valor se consigue de la fórmula:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} \quad (\text{ec.4})$$

El subíndice 1 hace referencia a la acción variable dominante considerada en la situación de temperatura normal.

### 3. TIPOS DE MATERIALES Y FORMAS DE USO

En este apartado se desarrollará brevemente las distintas formas de uso del material, desde su uso más tradicional como es la madera aserrada maciza a las nuevas técnicas como la madera microlaminada.

#### 3.1. MADERA ASERRADA MACIZA

Hoy día, debido a las alternativas que ofrece la industria y las superiores ventajas de los nuevos materiales, su uso se reduce casi exclusivamente a las rehabilitaciones, o intervenciones de restauración en edificios ya construidos. Ya sea de manera aserrada como en forma de rollizos.

La madera en rollo se saca directamente del proceso de apeado, desramado y separado de la copa del tronco del árbol. Estos rollos se descortezan y aserran, dando lugar a la madera escuadrada (listones, tableros, tablones, etc.).

La calidad resultante de la madera estructural depende la especie del árbol y sus singularidades de crecimiento. Cuantas menos de estas singularidades presente la pieza, mayor será la calidad. Por eso, estas singularidades reciben el nombre de “defectos” de la madera. Algunos de los más importantes son la desviación de la fibra y los nudos.

La madera aserrada maciza ha de ser secada antes de su puesta en obra para alcanzar el grado de humedad necesario que se adecue a su ubicación en el edificio.



. MADERA ASERRADA MACIZA

### 3.2. MADERA LAMINADA ENCOLADA

Se trata de elementos estructurales formados por varias láminas de madera, de la misma o distinta naturaleza, que tienen la dirección de las fibras sensiblemente paralelas y están encoladas a presión en capas superpuestas en horizontal hasta que se obtiene el canto necesario.

Permite la eliminación de los defectos de cada una de las piezas a unir con el posterior secado. Las uniones en prolongación se realizan mediante empalmes dentados que reciben el nombre de “finger joints”.

Para los encolados se utilizan resinas plásticas que se adhieren a la celulosa y lignina de la madera, creando una continuidad de mayor resistencia que la propia madera. En la actualidad, a estos aglomerantes se les han ido añadiendo otros elementos que de desarrollo reciente que mejoran su resistencia a la intemperie o modifican el color.



. MADERA LAMINADA ENCOLADA

### 3.3. SISTEMAS PROHOLTZ

Se trata de una alternativa a la técnica de madera laminada de tal manera que se crean vigas DÚO y TRÍO, las láminas son de mayor grosor que las habituales (hasta 8cm frente a 4,5cm). Para el encolado se usan colas de resinas sintéticas con una base de melamina modificada o poliuretano.



. SISTEMAS PROHOLTZ

### 3.4. MADERA RECONSTITUIDA

-*Madera microlaminada, LVL (Laminated Veneer Lumber)*: producto formado a base de chapas de madera de espesor pequeño (3-5mm) encoladas con las fibras paralelas. Este sistema reduce a mínimos la influencia de los nudos.

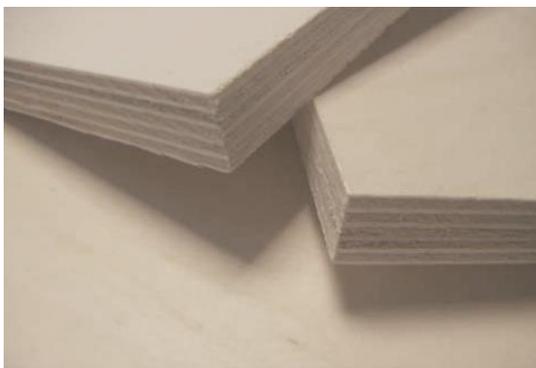
-*Madera de fibras paralelas, PSL (Pararell Strand Lumber)*: producto formado a partir del prensado y encolado de tiras de madera de unos 16mm de anchura por 3,2mm de espesor que se orientan en la dirección longitudinal. El resultado es un material homogéneo y sin nudos que presenta la misma anisotropía que la madera natural.

### 3.5. TABLEROS

-*Tablero de virutas orientas, OSB (Oriented Strand Board)*: producto generado a partir de varias 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. Presenta muy buen comportamiento en gran variedad de ambientes, ya sean secos o húmedos.

-*Tablero contrachapado*: producto formado por chapas encoladas de madera en las que se va variando la dirección de las fibras. Las capas exteriores se lijan para presentar un mejor aspecto y no moleste al tacto. Se fabrican siempre con un número impar de láminas para que se consiga una estructura simétrica respecto del eje central.

-*Tablero de partículas*: producto formado por partículas de madera o de otro material lignocelulósico (paja, lino, cáñamo, etc.) pegadas entre sí por un polímero adhesivo a presión.



. MADERA RECONSTITUIDA



. TABLERO CONTRACHAPADO



. TABLERO "OSB"



. TABLERO DE PARTÍCULAS

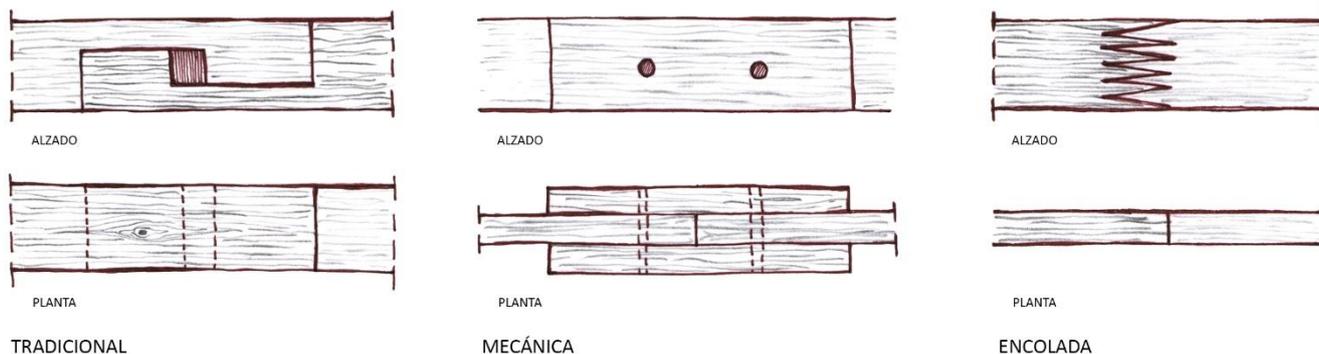
Cabe señalar que existen multitud de combinaciones de estos materiales para generar elementos con nuevas prestaciones que den soluciones optimas a las necesidades que se han de cubrir. Algunas de estas combinaciones pueden ser las vigas de alma de madera microlaminada y alas de madera aserrada; las vigas cajón de alma de madera laminada, aserrada o microlaminada y dos o más tableros estructurales que formas las alas; los soportes compuestos por varios listones unidos por presillas o separadores que actúan como vigas Vierendeel puestas en vertical.



. VIGAS DE ALMA DE MADERA  
MICROLAMINADA

## 4. TIPOS DE UNIONES

Si bien aquí se podría empezar a hablar ya del embarbillado, es preferible hacerlo directamente y en profundidad en los siguientes capítulos destinados exclusivamente a él. En este apartado únicamente se nombrará como un unión tradicional ensamblada más.

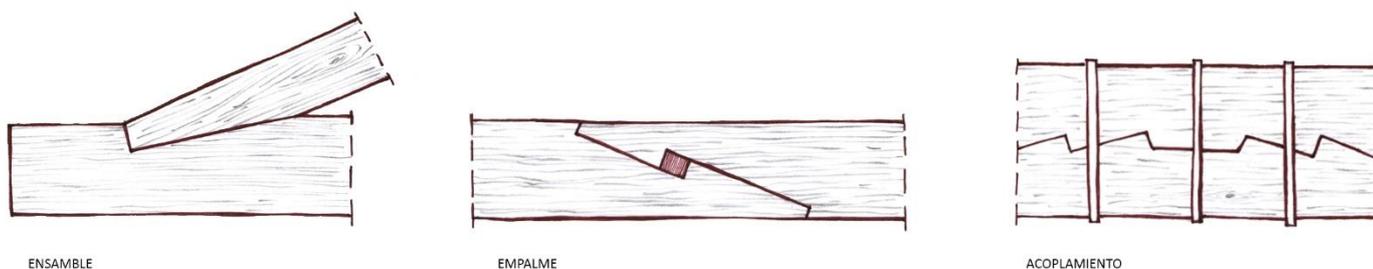


.TIPOS DE UNIÓN EN FUNCIÓN DEL MEDIO DE UNIÓN

### 4.1. UNIONES TRADICIONALES

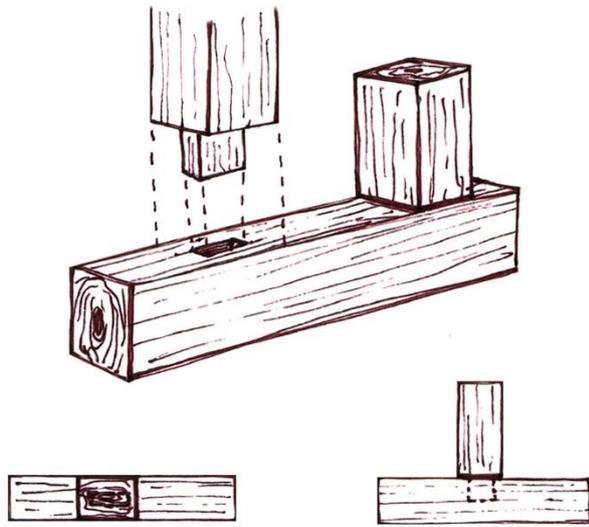
Son conocidas como las uniones de madera tradicionales o uniones carpinteras. Se caracterizan por transmitir las fuerzas por compresión o cortadura de piezas a tracción, compresión y flexión. Normalmente no admiten una inversión de los esfuerzos y pueden presentar en ocasiones elementos auxiliares de fijación, cuya función es la de mantener la posición de las uniones. En función de esa posición de las piezas se puede diferenciar entre:

- . *Ensamble*: se trata de la unión de dos piezas que se encuentran en cualquier ángulo.
- . *Empalmes*: se trata de la unión de dos piezas en prolongación longitudinal.
- . *Acoplamiento*: se trata de la unión de dos piezas a lo largo de su directriz principal.



.TIPOS DE UNIÓN EN FUNCIÓN DE LA POSICIÓN RELATIVA DE LAS PIEZAS

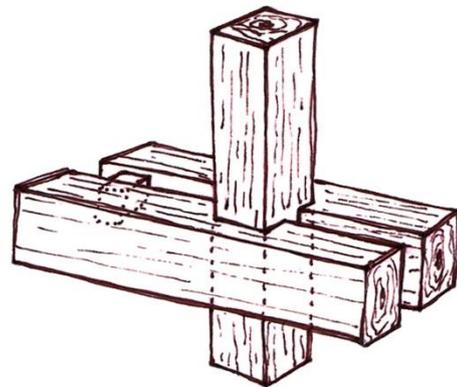
Algunos ejemplos de ensamblajes tradicionales son:



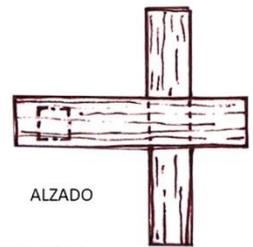
PLANTA

ALZADO

.ENSAMBLAJE CAJA Y ESPIGA

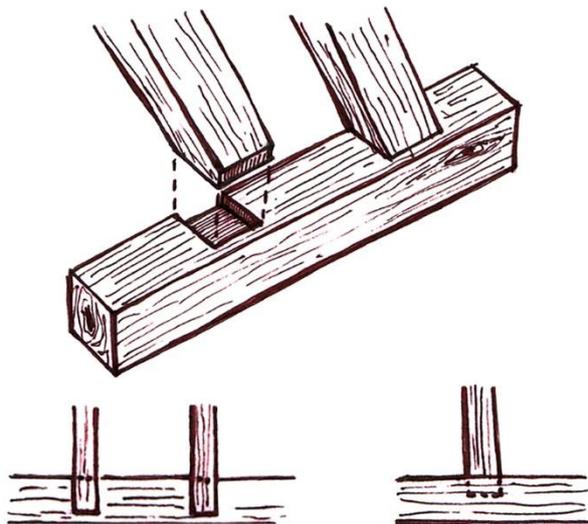


PLANTA



ALZADO

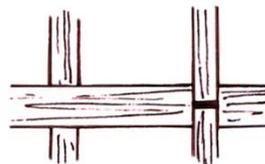
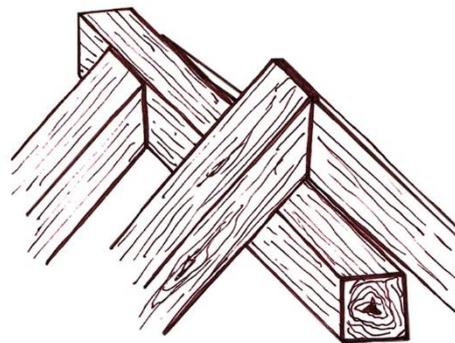
.ENSAMBLAJE ENTALLADO



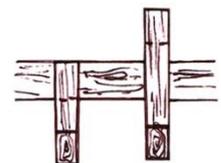
PLANTA

ALZADO

.ENSAMBLES PAR SOBRE ESTRIBO  
CON BARBILLA Y CON REBAJE

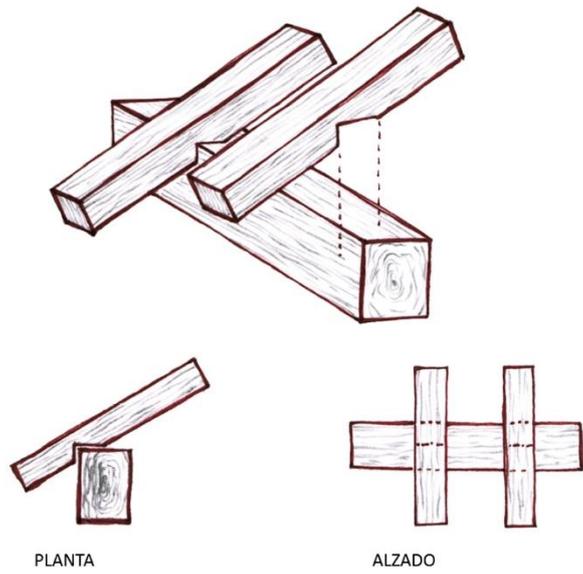


PLANTA

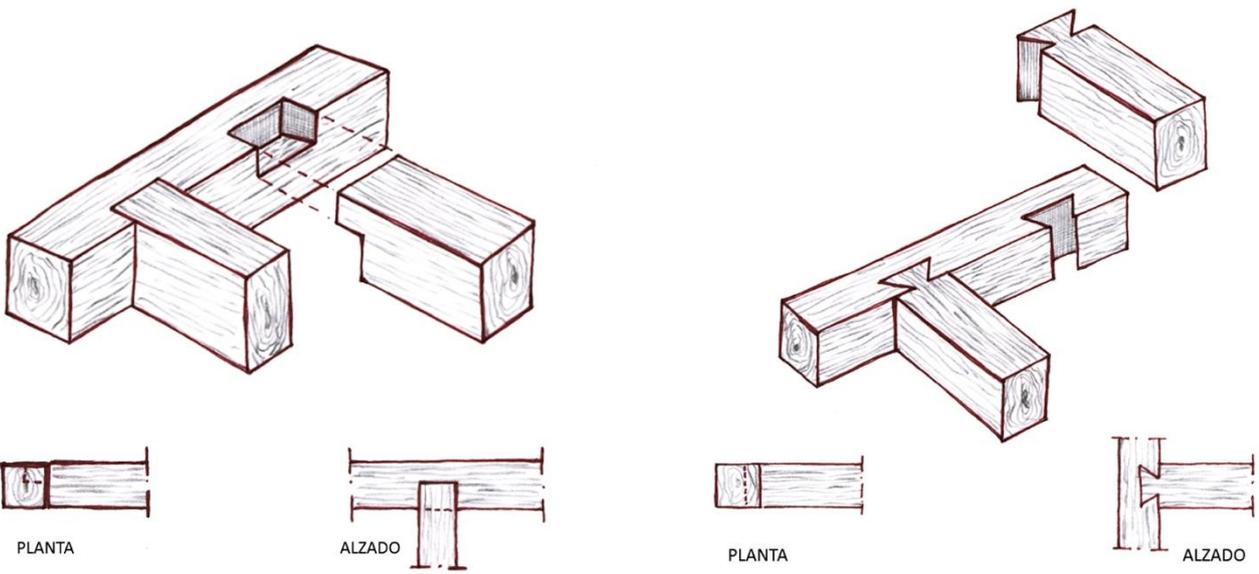


ALZADO

.ENSAMBLES PAR SOBRE ESTRIBO  
PARES ENFRENTADOS Y A TOPE CON CERRILLO

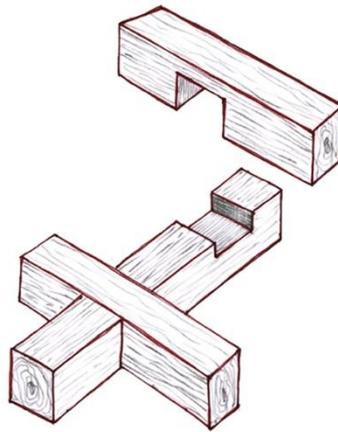


.ENSAMBLES PAR SOBRE ESTRIBO  
EN PICO DE PÁJARO

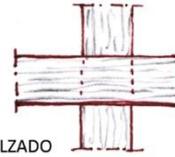


.ENSAMBLAJE A MEDIA MADERA EN "T"

.ENSAMBLAJE A MEDIA MADERA  
CON COLA DE MILANO

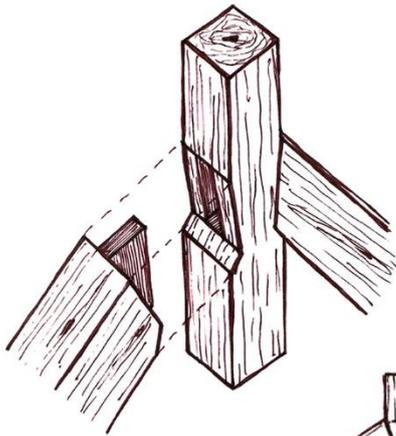


PLANTA

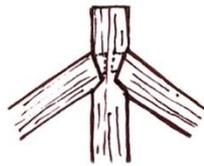


ALZADO

.ENSAMBLAJE A MEDIA MADERA  
EN CRUZ

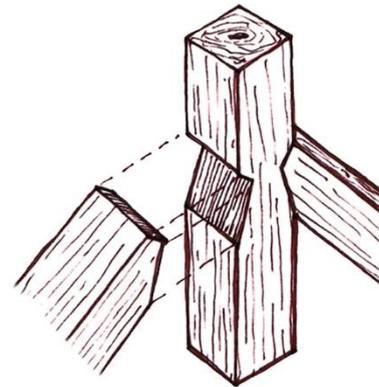


PLANTA

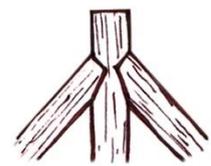


ALZADO

.ENSAMBLES ENTRE PAR Y PENDOLÓN  
CAJA Y ESPIGA CON BARBILLA

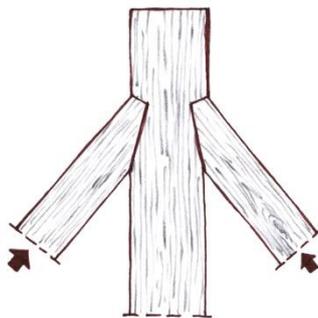


PLANTA

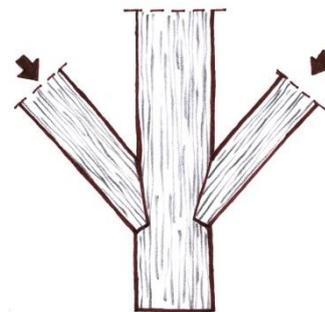


ALZADO

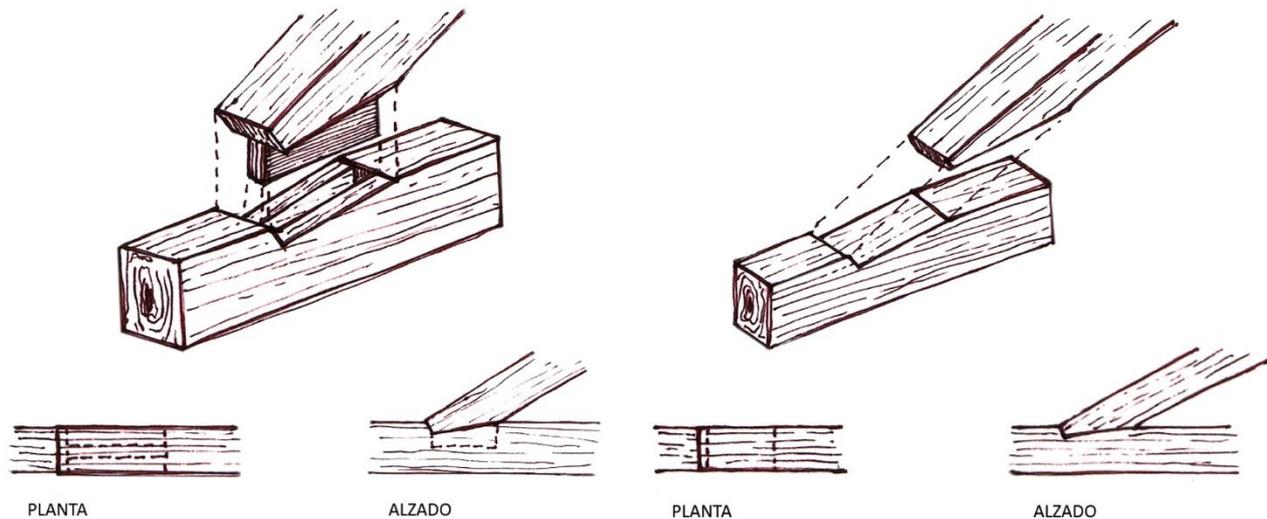
.ENSAMBLES ENTRE PAR Y PENDOLÓN  
CON BARBILLA



.ENSAMBLES PENDOLÓN-PARES



.ENSAMBLES PENDOLÓN-TORNAPUNTAS



.ENSAMBLAJES ENTRE PAR Y TIRANTE  
CAJA Y ESPIGA CON BARBILLA

.ENSAMBLAJES ENTRE PAR Y TIRANTE  
CON BARBILLA

#### 4.2. UNIONES MECÁNICAS

Son aquellas que incorporan elementos de acero para asegurar la fijación y posición de las piezas que conforman la unión. Estos elementos pueden ser de multitud de tipos:

. *Tipo clavija*: calvos, pernos, grapas, tirafondos, pasadores, etc.

. *Conectores*: son elementos generalmente circulares que se ajustan entre dos piezas y se aseguran con tirafondos o pernos. Resisten más cargas que los de tipo clavija, por lo que son más aptos para mayores cargas y escuadrías.

. *Placas clavo*: también se las conoce como placas dentadas, se trata de elementos de fijación compuestos por una fina placa de acero galvanizado o inoxidable con gran cantidad de puntas extraídas por estampación de la misma y colocados en dirección transversal a ella. Para una conexión eficaz, las piezas deben tener la misma anchura. No requieren ensamblajes previos.

. *Placas auxiliares*: se trata de elementos auxiliares que se complementan con pasadores, pernos o tirafondos para asegurar la unión. Pueden colocarse tanto al exterior como en el interior de las piezas en ranuras previamente realizadas. Este hecho determinará el aspecto visual del nudo, así como su resistencia al fuego.

. *Barras roscadas encoladas*: se trata de barras roscadas de acero que se introducen en agujeros pasantes en las piezas a unir y fijadas con adhesivos. Se suelen emplear como reconstituyentes de masas leñosas dañadas o perdidas en rehabilitación. En estos casos su uso se complementa con resinas epoxi. Sus uniones se caracterizan por tener una gran rigidez, un buen comportamiento al fuego (la madera las protege), diseño de nudos con las fijaciones ocultas y la posibilidad de prefabricación de las uniones.

#### 4.3. UNIONES ENCOLADAS

Son aquellas en las que dos piezas de madera o una pieza de madera con una pieza de otro material diferente, se fijan mediante un adhesivo que después de su curado las mantiene unidas y solidarias desde el punto de vista de su comportamiento estructural. Para mejorar la resistencia de la unión, antes de aplicar la cola se suele hacer un ensamble.

Se utilizan para conseguir enlaces rígidos en los nudos de esquina de los pórticos, mediante empalmes integrales dentados entre las piezas de madera a unir. Normalmente se utiliza en piezas de madera laminada con cantos de 1,5 metros mediante entalladura múltiple de toda la sección (de manera similar al empalme de las láminas utilizadas para la fabricación de piezas de madera laminada encolada). Requiere un control muy estricto de las condiciones ambientales, contenido de humedad de la madera, dosificación, aplicación del adhesivo y presión de encolado.

## 5. ESTUDIO DETALLADO DE LA UNIÓN EN BARBILLA Y SUS DISTINTAS VARIANTES EN LA CARPINTERÍA DE ARMAR ESPAÑOLA. DEFINICIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS SIGNIFICATIVOS

### 5.1. ANTECEDENTES DE LAS CUBIERTAS Y ESTADO DEL ARTE

Antes de entrar en detalle en el estudio de la unión embarbillada hay que hablar de los antecedentes históricos y del ámbito de aplicación de dicha unión.

Las armaduras de cubierta son aquellas que constituyen el cerramiento superior de la mayoría de las construcciones, desde los albores de la humanidad hasta nuestros días. A modo de simplificación se pueden agrupar en dos grandes grupos: aquellas en las que sus elementos sustentantes concurren en la cumbre, y las que permiten la colocación de elementos horizontalmente mediante otros auxiliares, cerchas, tijeras, etc.

El primer grupo constituye las denominadas armaduras de pares. Éstas necesitan de una estructura horizontal auxiliar en la base de los muros de los que arrancan que se denomina estribamiento, encargado de absorber los empujes horizontales que se generan en la base del conjunto.

El segundo grupo precisa de existencia obligatoria de correas, dispuestas paralelamente a los muros que sostienen la armadura, y apoyadas en las cerchas.

Nuestra unión se ejecuta fundamentalmente en ese primer grupo de armaduras de pares, por lo que nos centraremos en ella:

Desde las primeras construcciones, cercanas a zonas boscosas, que se realizaban colocando parejas de maderos unidos por sus extremos superiores, y dispuestos en forma de “v” invertida, que servían de soporte a ramajes, tales como el brezo, con los que se conseguía cierto aislamiento térmico, y una buena protección contra la lluvia. Al principio estos maderos iban directamente apoyados en el terreno (pallozas) pero, posteriormente se encaramaron a la coronación de los muros de un gran salón o de una iglesia. Aquí apareció el problema del empuje horizontal característico de este tipo de estructuras. Para lidiar con él, los carpinteros de armar estudiaron y ofrecieron diversas posibilidades, acordes en todos los casos a la entidad de los empujes a contrarrestar y, adecuando las soluciones al tipo de madera disponible. (Nuere 2008)



. CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL

“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”. (Nuere 2008)

El modelo que prevaleció sobre todos ellos fue el de par y nudillo resuelto en la inmensa mayoría de los casos mediante embarbillado, cuyos pares arrancaban de un estribo debidamente atirantado, cuya función era la de contrarrestar los empujes típicos de este tipo de armaduras, y que sirvió de modelo a la mayor parte de nuestra carpintería histórica. (Nuere 2008)

“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 tabazón que forra interiormente la armadura, o puede traslucirse formando planos de armadura”. (Nuere 2008)

## 5.2. DEFINICIONES

Para empezar, conviene saber la definición que se le otorga al hecho de embarbillar. Según la Real Academia de la lengua Española se define embarbillar como: “ De en-barbilla carp. ensamblar en un madero la extremidad de otro inclinado, haciendo respectivamente entre ellos los cortes de muesca y barbilla”.

De acuerdo con otras definiciones recogidas en el libro del Dr. Enrique Nuere Matauco se entiende embarbillar como “ensamblar un madero con otro por medio del corte barbilla” (DARS).

Otra definición útil es hablar de “embarbillado” para referirse al ensamble en su conjunto. Aquí de nuevo el Dr. Nuere nos refiere a las siguientes definiciones: “...porque bolando el mismo par en la armadura dicha lleva el corte que demuestra B., y no bolando lleva el que demuestra M. y este llamamos despatillado, y el otro embarbillado”. (FRAY LORENZO S. NICOLÁS). (Nuere 2008)

“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 es otro embarbillado”. (IDEM) (Nuere 2008)

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

Según el documento de aplicación del CTE “*Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera*” se define embarbillado como “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”. (Arriaga, Íñiguez, Esteban, Argüelles, Fernández MADERIA 2011)

## 5.2. TIPOLOGÍAS DEL EMBARBILLADO

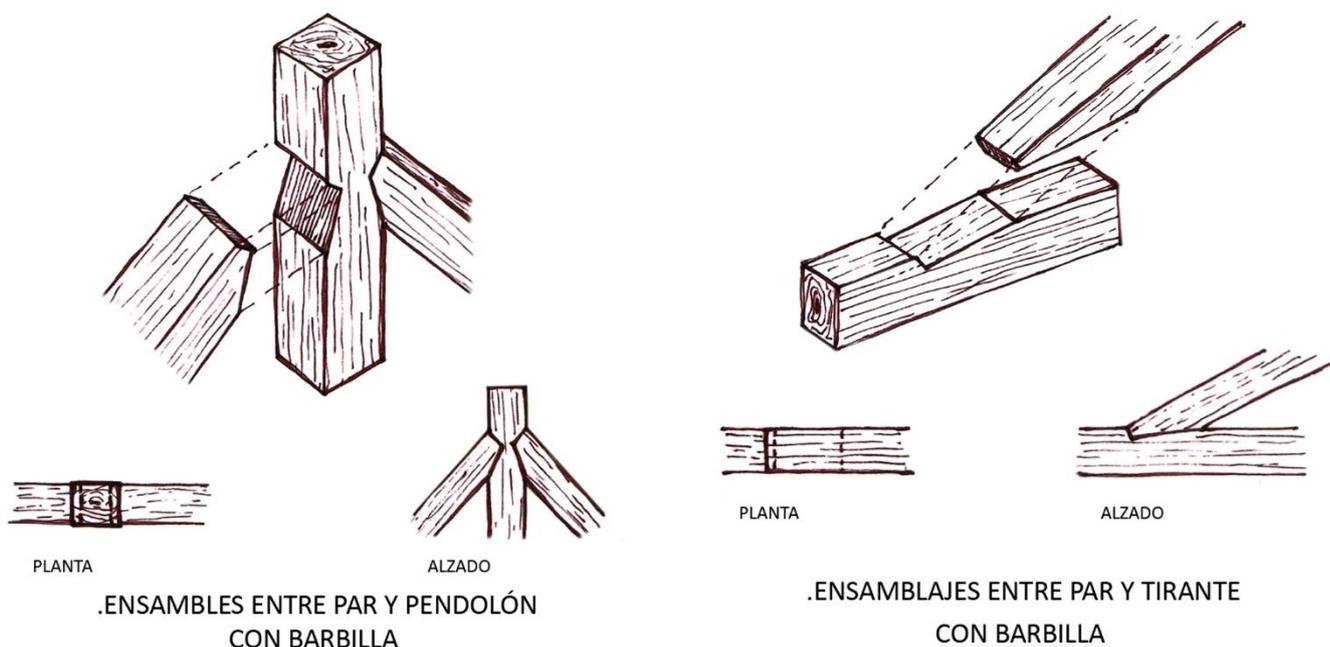
En este tipo de unión los esfuerzos se transmiten de una pieza a otra mediante rebajes o cajas y llaves o espigas, equilibrando, generalmente, los esfuerzos axiales a través de compresiones y fuerzas tangenciales. Los posibles electos auxiliares metálicos solo cumplen la misión de asegurar o afianzar las piezas para evitar descolokes.

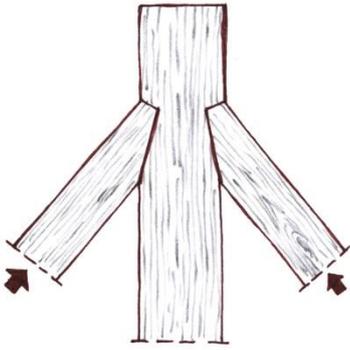
### 5.2.1. EMBARBILLADOS SIMPLES

Cuando hablamos del ensamble de barbilla o embarbillado nos referimos a un tipo concreto de unión tradicional en la que las piezas trabajan mayormente a compresión. A lo largo de la historia de la carpintería armada se han desarrollado infinidad de variantes del modelo original y simple. Algunos de los más empleados y perfeccionados son:

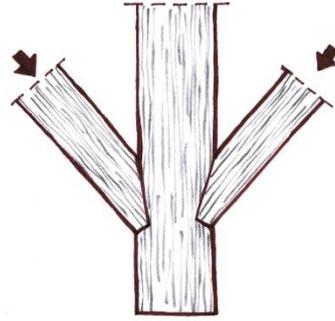
#### A. Ensamble en barbilla y rebaje o frontal

Es el ensamble más frecuente en la unión del par y el tirante de una cercha. La pieza comprimida muestra una "barbilla" que apoya sobre un rebaje en el elemento que la recibe. El ángulo de corte de la barbilla suele ser en la mayoría de los casos la bisectriz del ángulo "ε". Presenta una ventaja con respecto a la unión de caja y espiga, y es precisamente que no existe la presencia de debilitamiento en su extremo al no adelgazar la pieza en la espiga. Sin embargo, este ensamble requiere especial cuidado en el diseño y ejecución de la perforación porque se pueden generar sobrecargas y roturas. Entre otros inconvenientes asociados a su geometría y el tipo de unión destacan su inestabilidad frente tracciones, movimientos laterales y giros. Por este motivo suele aconsejarse el empleo de bridas o pernos metálicos para mantener la unión fija. Se muestran a continuación algunos esquemas de este ensamble y sus variantes.

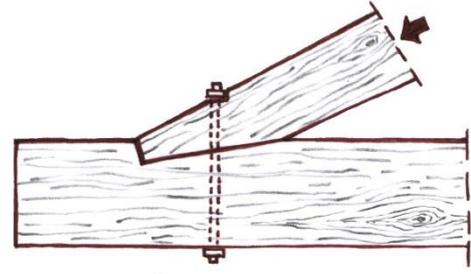




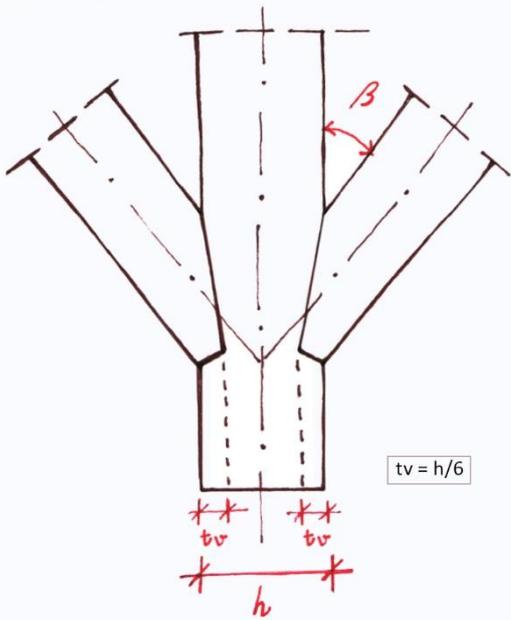
.ENSAMBLES PENDOLÓN-PARES



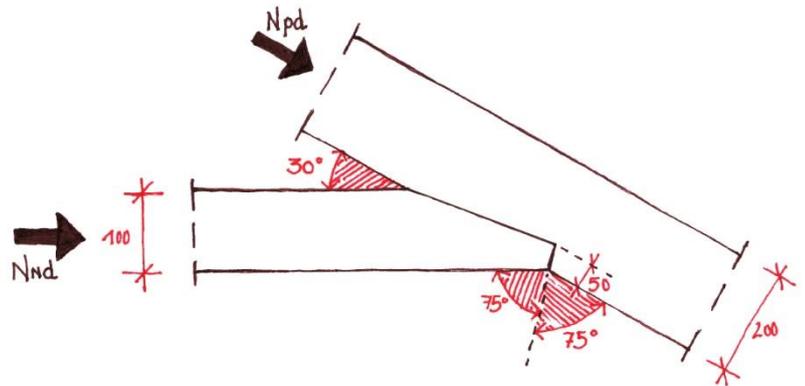
.ENSAMBLES PENDOLÓN-TORNAPUNTAS



.CON BARBILLA



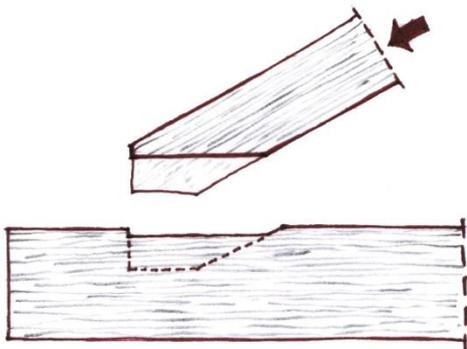
.EMBARVILLADO POR AMBAS CARAS DE LA PIEZA



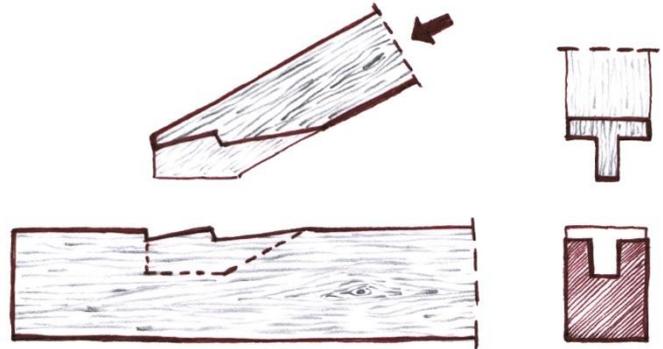
.PAR Y NUDILLO ESQUEMA DE UNIÓN (mm)

## B. Ensamble de caja y espiga con barbilla

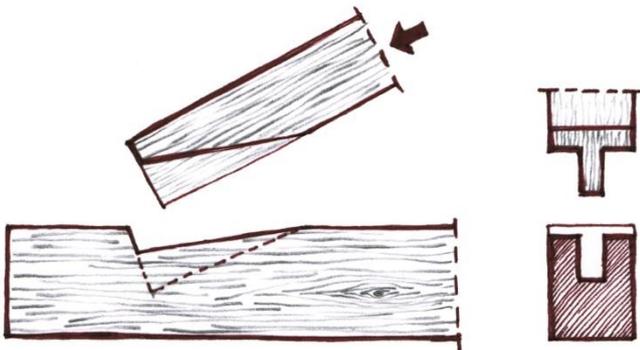
Es una variante nacida de la mezcla del ensamble de caja y espiga con el caso anterior, existiendo además de una barbilla colocada sobre el rebaje de la otra pieza la caja y espiga. Esta variante ofrece una ventaja frente al ejemplo anterior, al ser una solución más compleja resuelve el problema del movimiento lateral. Sin embargo, sigue siendo inestable a la tracción y el giro. En los siguientes esquemas se representan algunos casos de este tipo de ensamble



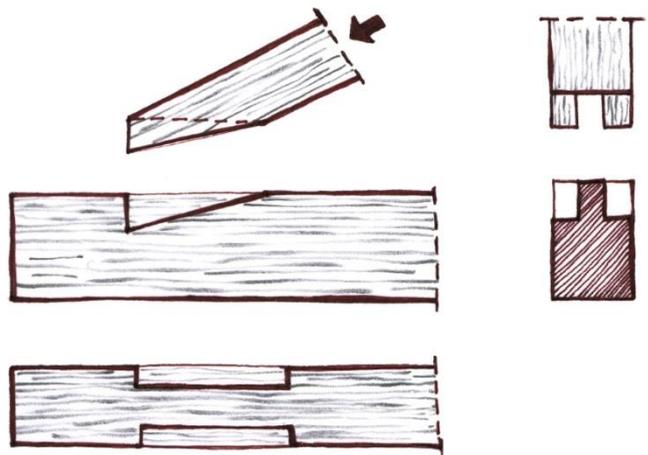
.CAJA Y EPIGA CON BARBILLA



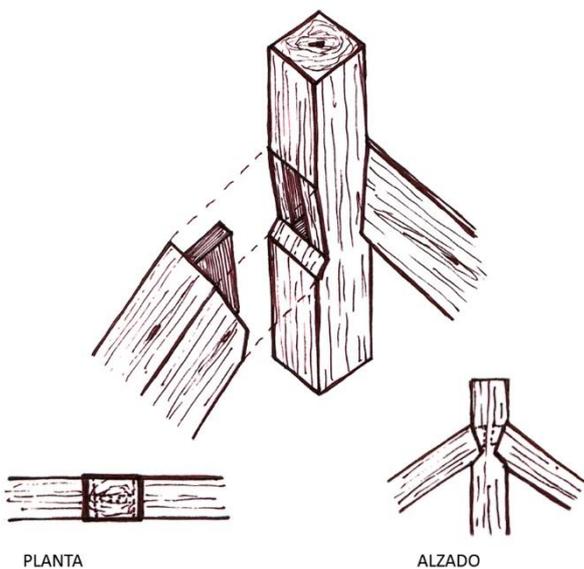
.CAJA Y EPIGA CON DOBLE BARBILLA



.CAJA Y EPIGA TRIANGULAR



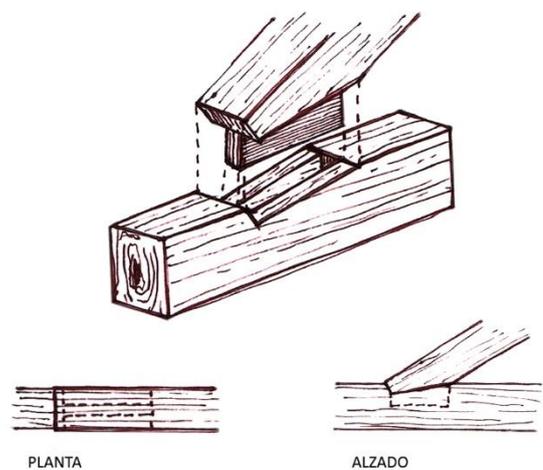
.BARBILLA EN TENEDOR



PLANTA

ALZADO

.ENSAMBLES ENTRE PAR Y PENDOLÓN  
CAJA Y EPIGA CON BARBILLA



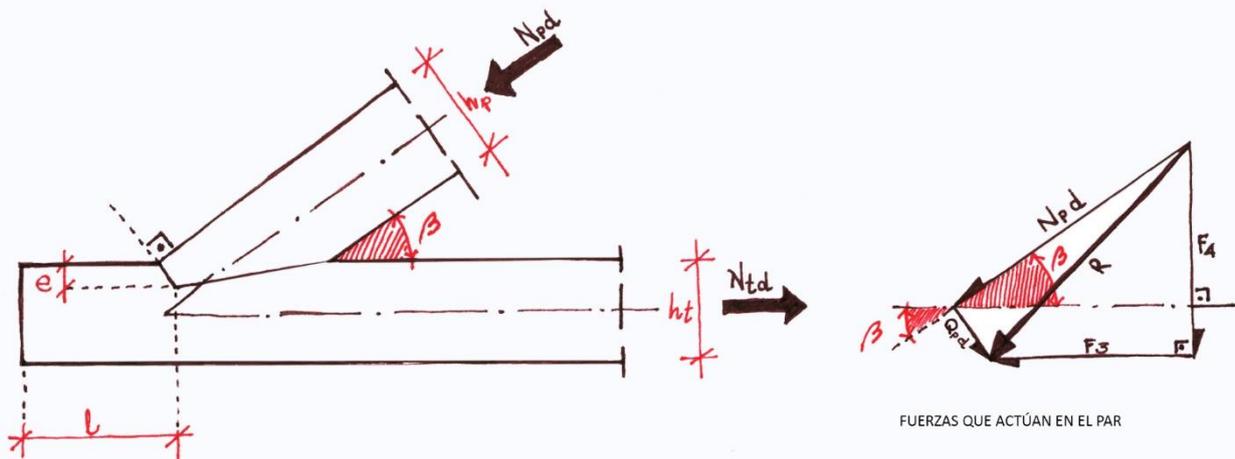
PLANTA

ALZADO

.ENSAMBLAJES ENTRE PAR Y TIRANTE  
CAJA Y EPIGA CON BARBILLA

### C. Ensamble embarbillado en ángulo recto

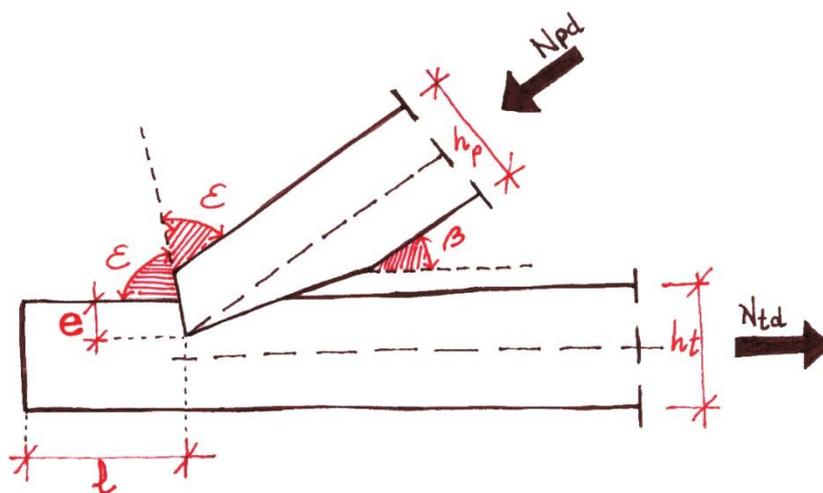
Es igual que el frontal salvo en la diferencia de que el corte de la barbilla se hace a  $90^\circ$ , lo que facilita su ejecución. Sin embargo, su capacidad portante es algo menor debido, precisamente, a que este ángulo de corte conlleva una disminución de la resistencia a compresión oblicua (ec.7). En la actualidad con la ayuda del control numérico, la fabricación es igual de sencilla para un embarbillado frontal o en ángulo recto, por lo que no tiene sentido esta opción. (Arriaga, Iñiguez, Esteban, Argüelles, Fernández MADERIA 2011)



.EMBARBILLADO EN ÁNGULO RECTO

### D. Ensamble embarbillado de pecho

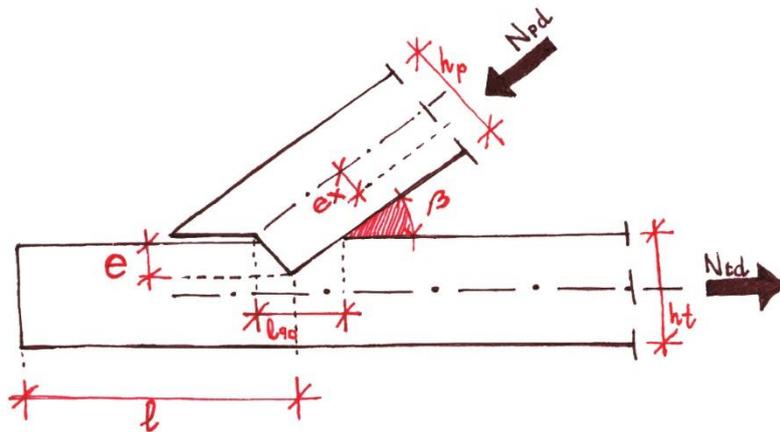
Esta solución es menos frecuente en la construcción tradicional en España y es parecida a la frontal salvo por la particularidad de que el par posee una superficie frontal mayor que no penetra totalmente en el tirante. De esta forma, se observa una ligera ventaja en el par ya que el axil apenas sufre excentricidad. (Arriaga, Iñiguez, Esteban, Argüelles, Fernández MADERIA 2011)



.EMBARBILLADO DE PECHO

### E. Ensamble embarbillado de talón

En este caso la barbilla se ejecuta en la parte trasera del par lo que aumenta la longitud del cogote "l", para resistir la tensión tangencial, sin que haga falta aumentar la longitud del tirante. No obstante, esta disposición provoca una excentricidad del esfuerzo axial y además, provoca también que la superficie que resiste la compresión perpendicular a la fibra del tirante sea menor. La parte delantera del par eficaz a la hora de transmitir tensiones debido a que puede perder el contacto con el tirante. El corte de la barbilla es en ángulo recto, lo que facilita su ejecución. (Arriaga, Íñiguez, Esteban, Argüelles, Fernández MADERIA 2011)

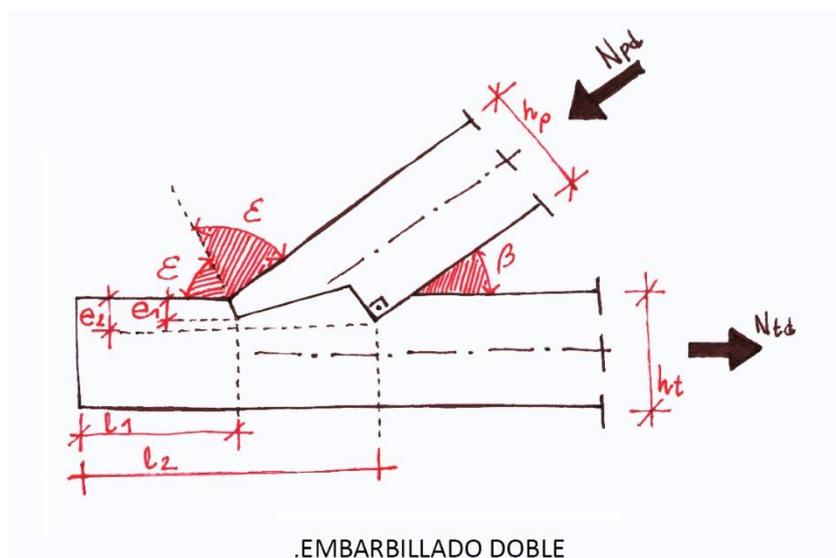


.EMBARBILLADO DE TALÓN

### 5.2.2. EMBARBILLADOS DOBLES

#### A. Ensamble embarbillado doble frontal

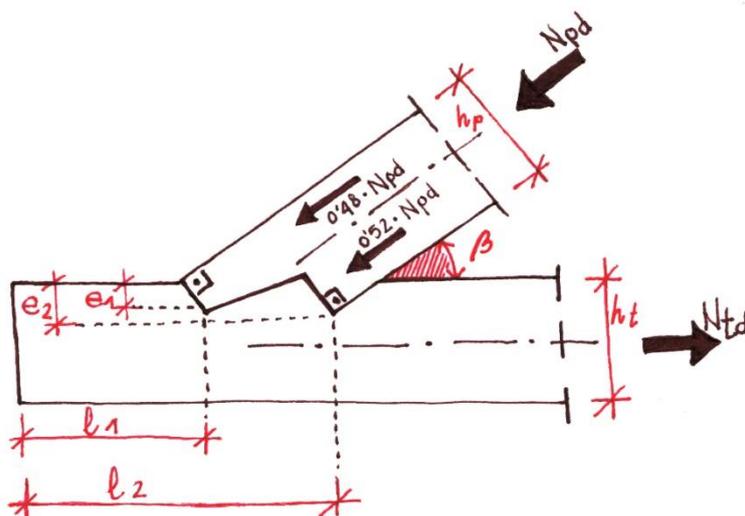
Esta solución presenta la barbilla frontal, generalmente realizada con un ángulo "ε", bisectriz del ángulo obtuso entre el par y el tirante, y una barbilla en el talón, cortada con un ángulo recto. El axil  $N_{p,d}$  del par se reparte de forma aproximada al 50% sobre cada uno de los frentes de las barbillas y, por tanto, la excentricidad "e<sub>x</sub>" es prácticamente nula. (Arriaga, Íñiguez, Esteban, Argüelles, Fernández MADERIA 2011)



.EMBARBILLADO DOBLE

## B. Ensamble embarbillado doble frontal y talón a 90°

En este caso, el corte de la barbilla frontal se ejecuta en ángulo recto, al igual que el talón. De esta manera, el reparto del axil  $N_{p,d}$  es ligeramente desigual, quedando más cargado el talón. Sin embargo la excentricidad es prácticamente despreciable.



.EMBARBILLADO DOBLE  
CON FRONTAL Y TALÓN EN ÁNGULO RECTO

## 5.3. DEFINICIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS SIGNIFICATIVOS

Según establecen los doctores Ramón Argüelles Álvarez y Francisco Arriaga Martitegui en su libro “Estructuras de Madera-Diseño y Cálculo” publicado por AITIM en 1996: “en las zonas de la unión solicitadas al cizallamiento, compresión o tracción perpendicular a la fibra, la calidad de la madera deberá corresponder al menos a la clase resistente C22 según la norma UNE EN 338”.

En lo referente al cálculo, hay que tener en cuenta una serie de condicionantes como son los criterios de diseño, los planteamientos y las simplificaciones.

### 5.3.1. CRITERIOS DE DISEÑO

Estos criterios suelen considerar de manera general tres parámetros para el predimensionado de las piezas que conforman la unión. Los tres parámetros son:

. La profundidad “ $e$ ” del rebaje del tirante, donde se sitúa la barbilla del par. Esta no suele superar un tercio del canto del tirante “ $h_p$ ” aunque si bien es cierto, existen ciertas reglas que ayudan a establecer una medida concreta para cada casuística.

Estas son las recomendaciones que establece la norma DIN 1052 (coincidente con el DB-DE-M):

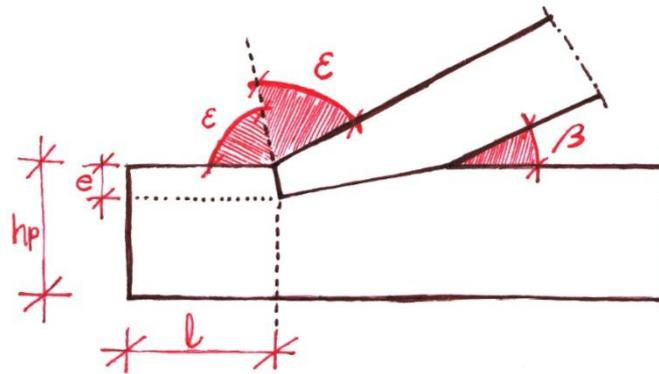
$$e \leq \frac{h_p}{4} \text{ para } \beta \leq 50^\circ$$

$$e < \frac{h_p}{6} \text{ para } \beta > 60^\circ$$

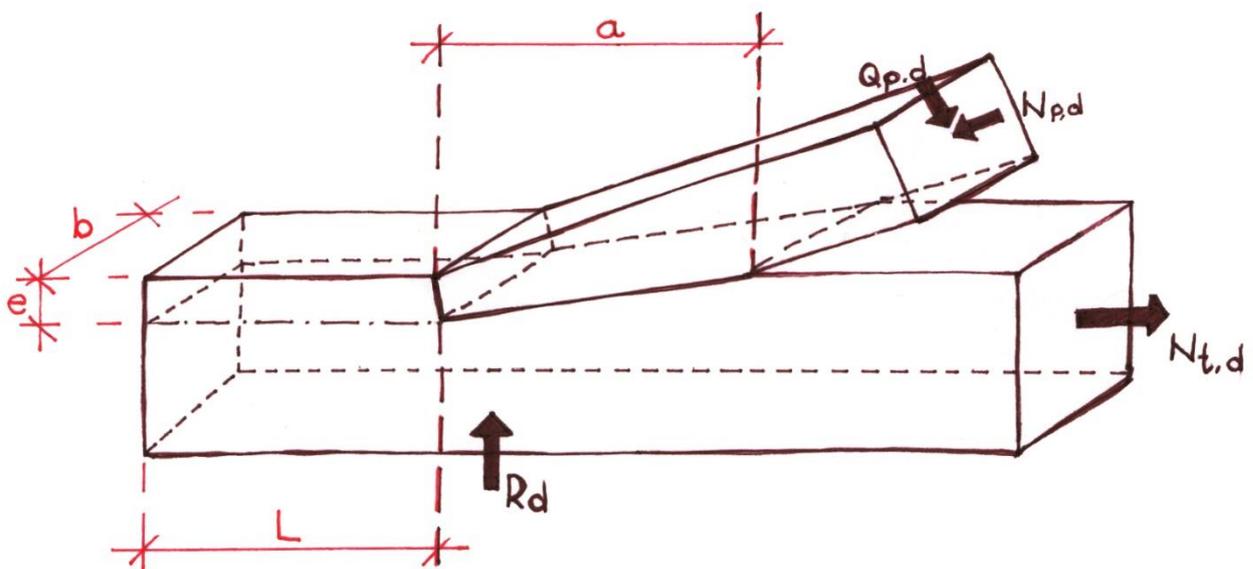
$$e = \frac{h_p}{120} (80 - \beta) \text{ para } 50^\circ < \beta \leq 60^\circ \text{ (interpolación lineal)}$$

. El ángulo del corte de la barbilla "ε". Éste suele coincidir con la bisectriz del ángulo formado por las caras superiores del par y el tirante (estudio pormenorizado en el apartado 6).

. La longitud mínima del cogote "l" del tirante. Esta debe ser al menos de 20 cm según la norma DIN 1052 y 15 cm según CTE DB-SE-M. No obstante, esta dimensión debe comprobarse en el cálculo.



.CRITERIOS DE DISEÑO

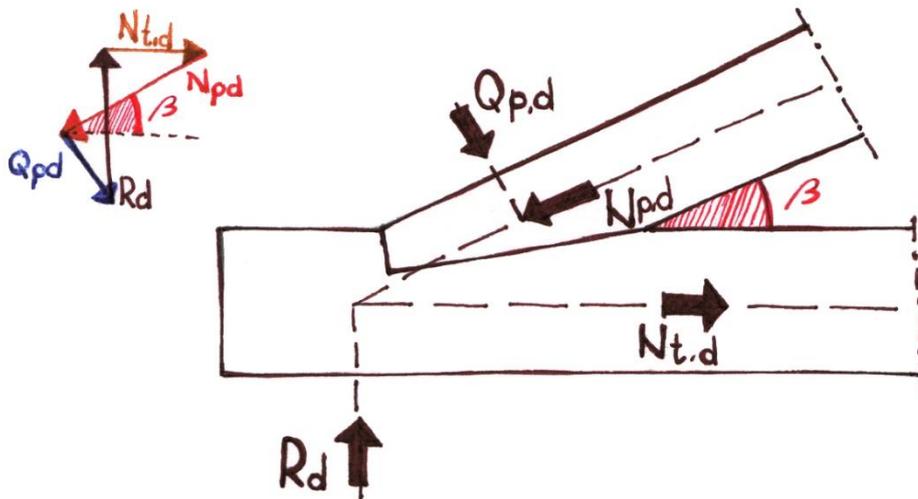


.COMPROBACIÓN SIMPLIFICADA

5.3.2. PLANTEAMIENTOS DEL CÁLCULO Y SIMPLIFICACIONES DE LOS ENBARBILLADOS SIMPLES: FRONTAL, EN ÁNGULO RECTO, DE PECHO Y DE TALÓN

A. ENBARBILLADO FRONTAL

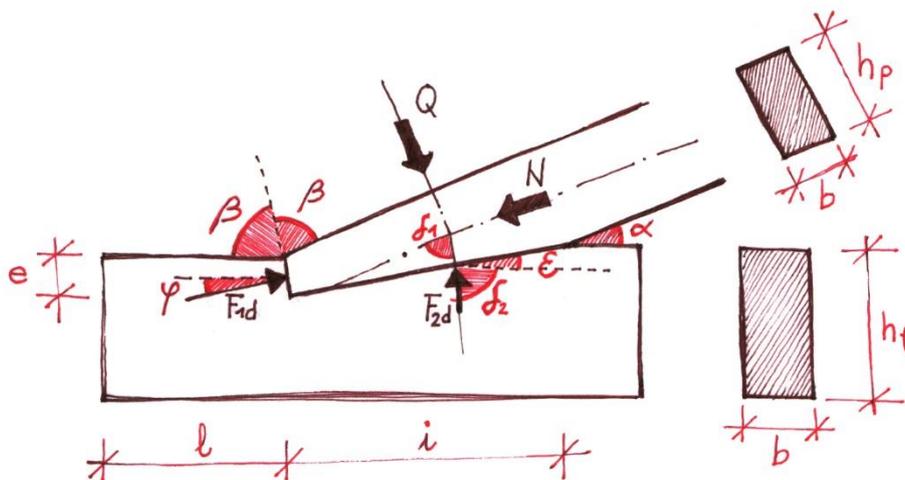
Se considera que en la zona del apoyo la sollicitación en el tirante será exclusivamente una fuerza axial de tracción,  $N_{t,d}$ , (si se desprecia el pequeño esfuerzo cortante que puede tener debido al peso propio del tirante o a cargas de cuelgue) y en el par aparece un axil de compresión,  $N_{p,d}$ , y un cortante,  $Q_{p,d}$ . Para que haya equilibrio en el nudo, las componentes horizontales de  $N_{p,d}$  y  $Q_{p,d}$  han de equilibrarse con el axil del tirante  $N_{t,d}$ , y las componentes verticales de las mismas se igualen a la reacción en el apoyo  $R_d$ . En lo referente al cálculo, se puede despreciar el efecto del cortante  $Q_{p,d}$  según la norma DIN 1052 (esta simplificación se ha llevado a cabo en la elaboración de todos los datos de las tablas y los gráficos que se verá en el siguiente capítulo).



.EQUILIBRIO DE FUERZAS EN EL NUDO



.FUERZAS QUE ANTÚAN EN EL PAR



.ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO

En las superficies de contacto de las piezas del ensamble se originan unas tensiones de compresión que resultan oblicuas a la fibra cuyo efecto puede analizarse de forma simplificada, considerando solamente sus componentes paralelas y perpendiculares a la dirección de la fibra, según el siguiente procedimiento:

La componente vertical, que es igual a la reacción en el apoyo  $R_d$ , provoca una tensión de compresión perpendicular a la fibra  $\sigma_{c,90,d}$  sobre la superficie del tirante de área  $a.b$ , que debe ser inferior o igual a la resistencia de cálculo perpendicular a la fibra  $f_{c,90,d}$ .

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{R_d \cdot \text{sen}\beta}{b_p \cdot h_p} \leq f_{c,90,d} \quad (\text{ec.5})$$

Donde:

$$h_p = l_{90} \cdot \text{sen}\beta \quad \gamma \quad l_{90} = h_p / \text{sen}\beta$$

El esfuerzo axil de tracción del tirante  $N_{t,d}$ , provoca una tensión de compresión paralela a la fibra  $\sigma_{c,0,d}$ , sobre la superficie  $e.b_t$ , que debe ser inferior o igual a la resistencia de cálculo paralela a la fibra  $f_{c,0,d}$ .

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{t,d}}{b_t \cdot e} \leq f_{c,0,d} \quad (\text{ec.6})$$

El esfuerzo axil de compresión del par  $N_{p,d}$  provoca una tensión de compresión oblicua en el frente de la barbilla  $\sigma_{c,\alpha,d}$ , sobre la superficie  $e.b_p$ , que debe ser inferior o igual a la resistencia de cálculo oblicua respecto a la fibra  $f_{c,\alpha,d}$ .

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{N_{p,d} \cdot \cos(\alpha)}{b_p \cdot e} \leq f_{c,\alpha,d} \quad (\text{ec.7})$$

Donde:

$$f_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}^* \cdot 0,8}{\frac{f_{c,0,d}^* \cdot 0,8}{f_{c,90,d}} \cdot \text{sen}^2(\alpha) + \cos^2(\alpha)} \quad (\text{ec.8})$$

$\alpha$  = ángulo entre la dirección de la fibra y la tensión perpendicular al corte de la barbilla. En el cálculo simplificado se toma  $\alpha = \frac{\beta}{2}$

$f_{c,0,d}^*$  en el caso de encuentro oblicuo entre las piezas, la tensión a compresión oblicua se deducirá de la ec. 8, utilizando un valor de  $f_{c,0,d}$  reducido por 0,8 (según CTE DB-SE-M).

Por último, el esfuerzo axil  $N_{t,d}$ , provoca una tensión tangencial rasante  $\tau_d$ , sobre la superficie del cogote  $b.l$  del talón que debe ser inferior a la resistencia de cálculo  $f_{v,d}$ .

$$\tau_d = \frac{N_{p,d} \cdot \cos(\beta)}{b_t \cdot l} \leq f_{v,d} \quad (\text{ec.9})$$

Por lo tanto; una vez conocida la dimensión  $b$  de la pieza, las variables restantes se pueden deducir de las siguientes expresiones:

$$e \geq \frac{N_{p,d} \cdot \cos(\beta)}{b_t \cdot f_{c,\alpha,d}} \quad (\text{ec.10})$$

$$l \geq \frac{N_{p,d} \cdot \cos(\beta)}{b_t \cdot f_{v,d}} \quad (\text{ec.11})$$

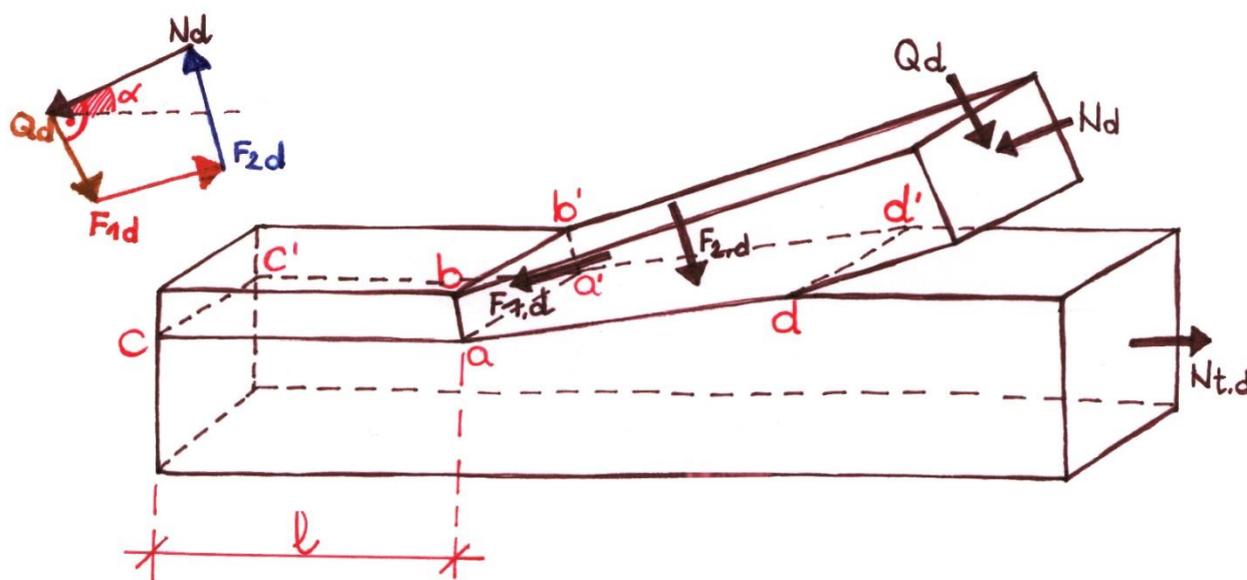
$$a \geq \frac{R_d}{b_t \cdot f_{c,90,d}} \quad (\text{ec.12})$$

$$h_p \geq \frac{N_{p,d}}{b_t \cdot f'_{c,\alpha,d}} \quad (\text{ec.13})$$

Donde:

$$f'_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d} \cdot 0,8}{\frac{f_{c,0,d} \cdot 0,8}{f_{c,90,d}} \cdot \text{sen}^2(\alpha) + \text{cos}^2(\alpha)} \quad (\text{ec.14})$$

$$\alpha = \beta$$



.DESCOMPOSICIÓN DE FUERZAS

## B. EMBARBILLADO EN ÁNGULO RECTO

Las reglas para su dimensionado y comprobaciones son las mismas que en caso del embarbillado frontal:

- Para la comprobación de la compresión perpendicular en el tirante ver (ec.5)
- Para la comprobación de la compresión oblicua en el frente de la barbilla ver (ec.7)

Donde:

$$f_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d} \cdot 0,8}{\frac{f_{c,0,d} \cdot 0,8}{f_{c,90,d}} \cdot \text{sen}^2(\alpha) + \text{cos}^2(\alpha)} \quad (\text{ec.8})$$

$$\alpha = \beta$$

- Para la comprobación de la tangencial rasante sobre el cogote ver (ec.9)

## C. EMBARBILLADO DE PECHO

Las reglas de predimensionado y comprobaciones son las mismas que en el caso del embarbillado frontal. La única diferencia se observa en la excentricidad del axil  $N_{p,d}$  es prácticamente despreciable. En la bibliografía especializada se toma normalmente  $e_x \approx 0$ , y en algunos casos  $e_x \approx e/4$ .

- Para la comprobación de la compresión perpendicular en el tirante ver (ec.5)
- Para la comprobación de la compresión oblicua en el frente de la barbilla ver (ec.7)
- Para la comprobación de la tangencial rasante sobre el cogote ver (ec.9)

#### D. EMBARBILLADO DE TALÓN

Las reglas de predimensionado y comprobaciones son las mismas que en el caso del embarbillado frontal, pero teniendo en cuenta el ángulo " $\alpha$ " entre tensión de y dirección de la fibra siendo  $\alpha = \beta$  correspondiente a la pieza más desfavorable, que es el tirante.

- Para la comprobación de la compresión perpendicular en el tirante ver (ec.5) pero con una longitud  $l_{90}$  igual a:

$$l_{90} = e \cdot \frac{(tg^2 \beta + 1)}{tg \beta} \quad (ec.15)$$

- Para la comprobación de la compresión oblicua en el frente de la barbilla ver (ec.7)

Donde:

$$f_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d^*} \cdot 0,8}{\frac{f_{c,0,d^*} \cdot 0,8}{f_{c,90,d}} \cdot sen^2(\alpha) + cos^2(\alpha)} \quad (ec.8)$$

$$\alpha = \beta$$

- Para la comprobación de la tangencial rasante sobre el cogote ver (ec.9)

## 6. CASOS PRÁCTICOS: ESTUDIO DE LAS VARIACIONES GEÓMETRICAS Y TABLAS DE TENSIONES

A la hora de realizar los cálculos se han tenido en cuenta una serie de simplificaciones y fijación de ciertos parámetros para evitar una casuística descomunal e inabarcable:

- Desprecio del esfuerzo cortante  $Q_{p,d}$ .
- Canto del tirante fijo:  $h_t = 20\text{cm}$
- Ancho del tirante fijo:  $b_t = 12\text{cm}$
- Canto del par fijo:  $h_p = 20\text{cm}$
- Ancho del par fijo:  $b_p = 12\text{cm}$

Para la correcta comprensión de este capítulo se aportan una serie de tablas numéricas (formato Excel), de tablas gráficas y una serie de gráficos que explican y evidencian los temas a analizar:

- A. La influencia del ángulo entre el par y el tirante “ $\beta$ ” en las tensiones oblicua, tangencial y perpendicular. El estudio se ha hecho para un salto de  $5^\circ$  entre  $0$  a  $30^\circ$ , de  $1^\circ$  entre  $30$  y  $40^\circ$ , y por último un salto otra vez de  $5^\circ$  entre  $45$  y  $70^\circ$ . Para ello se han elaborado una serie de tablas que aportan los datos numéricos y gráficos necesarios. Los parámetros que se han fijado han sido:
- Profundidad del cogote:  $e = 5\text{cm}$  ( $h_t = \frac{20}{4}\text{cm}$ )
  - Longitud del cogote:  $l = 15\text{cm}$  (CTE DB-SE-M)
  - Canto del tirante fijo:  $h_t = 20\text{cm}$
  - Ancho del tirante fijo:  $b_t = 12\text{cm}$
  - Canto del par fijo:  $h_p = 20\text{cm}$
  - Ancho del par fijo:  $b_p = 12\text{cm}$

ANEJO 1 Y 2

B. La influencia del ángulo de corte de la barbilla “ $\alpha$ ” en la compresión oblicua sobre el frente de dicha barbilla. Para realizar el estudio se ha hecho una tabla analítica y otra gráfica en la que se ha ido variando el ángulo “ $\alpha$ ” para valores comprendidos entre la bisectriz del ángulo “ $\epsilon$ ”, el ángulo perpendicular al par y el perpendicular al tirante con una variación entre ellos de  $5^\circ$ . Para ello se han elaborado una serie de tablas (formato excel) que aportan los datos numéricos y gráficos necesarios. Los parámetros que se han fijado han sido:

- Profundidad del cogote:  $e = 5\text{cm}$  ( $h_t = \frac{20}{4}\text{cm}$ )
- Longitud del cogote:  $l = 15\text{cm}$  (CTE DB-SE-M)
- Canto del tirante fijo:  $h_t = 20\text{cm}$
- Ancho del tirante fijo:  $b_t = 12\text{cm}$
- Canto del par fijo:  $h_p = 20\text{cm}$
- Ancho del par fijo:  $b_p = 12\text{cm}$

### ANEJO 3

C. La evolución de las tensiones oblicuas y tangenciales en función de tres parámetros fundamentales como son “ $e$ ”, “ $l$ ” y “ $\alpha$ ”. Para ello se han seleccionado los 3 ángulos más representativos de  $\alpha = 30^\circ - 15^\circ - 0^\circ$ , que hacen referencia al corte de barbilla perpendicular al tirante, el corte de la bisectriz de “ $\epsilon$ ” y el corte perpendicular al par. Se han elaborado una serie de tablas que aportan los datos numéricos y gráficos necesarios. Los parámetros que se han fijado han sido:

- Canto del tirante fijo:  $h_t = 20\text{cm}$
- Ancho del tirante fijo:  $b_t = 12\text{cm}$
- Canto del par fijo:  $h_p = 20\text{cm}$
- Ancho del par fijo:  $b_p = 12\text{cm}$

### ANEJO 4 - 7

## 7. CONCLUSIONES

Una vez observadas las tablas analíticas y gráficas y los gráficos se observa claramente que a medida que aumentamos tanto el ángulo entre el par y el tirante " $\beta$ ", el ángulo entre la tensión perpendicular y la dirección de la fibra " $\alpha$ ", la profundidad de el cogote " $e$ " y la longitud del cogote " $l$ ", observamos que:

- 1- A medida que se va aumentando el ángulo entre el par y el tirante " $\beta$ ", la compresión oblicua va disminuyendo poco a poco gradualmente. La tensión tangencial va disminuyendo poco a poco y al final da un salto. Por último la compresión perpendicular va aumentando, dando saltos hasta alcanzar valores muy altos en comparación a cómo empieza.

### ANEJO 1 Y 2

- 2- A medida que se va aumenta el ángulo " $\alpha$ " para valores comprendidos entre la bisectriz del ángulo " $\epsilon$ ", el ángulo perpendicular al par y el perpendicular al tirante con una variación entre ellos de  $5^\circ$ , se observa que según nos acercamos desde el corte perpendicular al tirante a la bisectriz de " $\epsilon$ ", el ángulo " $\alpha$ " va disminuyendo y, con el consiguiente aumento de la tensión oblicua. Continuamos el barrido desde la bisectriz de " $\epsilon$ ", hacia el corte de perpendicular al par, el ángulo " $\alpha$ " es igual a 0 en este caso, y, aunque el valor de la tensión oblicua es bastante alto disminuye con la misma rapidez del caso anterior. Por el contrario, una vez superado el corte perpendicular al par, el valor de " $\alpha$ " va aumentando, con el consiguiente descenso paulatino de la tensión oblicua.

### ANEJO 3

- 3- Para La evolución de las tensiones oblicuas y tangenciales en función de tres parámetros fundamentales como son " $e$ ", " $l$ " y " $\alpha$ ".  
Observamos que para un ángulo " $\alpha$ " fijo el valor de la tensiones oblicuas y tangenciales son inversamente proporcionales a la profundidad del cogote " $e$ " y la longitud del cogote " $l$ " respectivamente. Por lo tanto, a medida que van estos van aumentando las tensiones van disminuyendo.  
Cabe señalar que en este caso la compresión perpendicular al tirante se mantiene constante ya que no depende de ninguno de estos factores. (Comprobar en el Excel adjunto en CD "Tablas Embarbillado" hoja: Tabla de variaciones geométricas, solo se han de tocar los parámetros que corresponde al estudio).

### ANEJO 4 - 7

## 8. BIBLIOGRAFÍA

### 8.1. LIBROS EN FORMATO FÍSICO

- Basterra Otero, Luis-Alfonso, *Construcción de estructuras de madera*, COACYLE, Valladolid, 2009 (2ª ed.)
- Nuere Matauco, Enrique, *La carpintería de arma española*, Munilla-Lería, Madrid, 2008 (2ª ed.)
- Argüelles Álvarez, Ramón y Arriaga Martitegui, Francisco, *Estructuras de madera- Diseño y cálculo*, AITIM, Madrid, 1996 (1ª ed.)
- V.V.A.A., *Código Técnico de la Edificación, Documento Básico , Seguridad Estructural-Madera*, Ministerio de Fomento, Abril 2009
- Kollmann,F., *Tecnología de la madera y sus aplicaciones*, Ministerio de Agricultura, IFIE, Madrid, 1960
- Argüelles Álvarez, Ramón; Arriaga Martitegui, Francisco; Esteban Herrero, Miguel y Fernández Cabo, José Luis, Íñiguez González, Guillermo, *Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera (Documento de aplicación del CTE)*, MADERIA Construcción, Madrid, 2011
- V.V.A.A., *Timber Engineering STEP 1*, Centrum Hout, Holanda, 1995 (1ª ed.) (en Inglés)
- Barre, L.A., *Pequeña enciclopedia práctica de construcción-Nº4 Carpintería de armar*, Bailly Bailliere e hijos, Madrid, 1899 (2ª ed.)

### 8.2. DOCUMENTOS Y LIBROS EN FORMATO DIGITAL

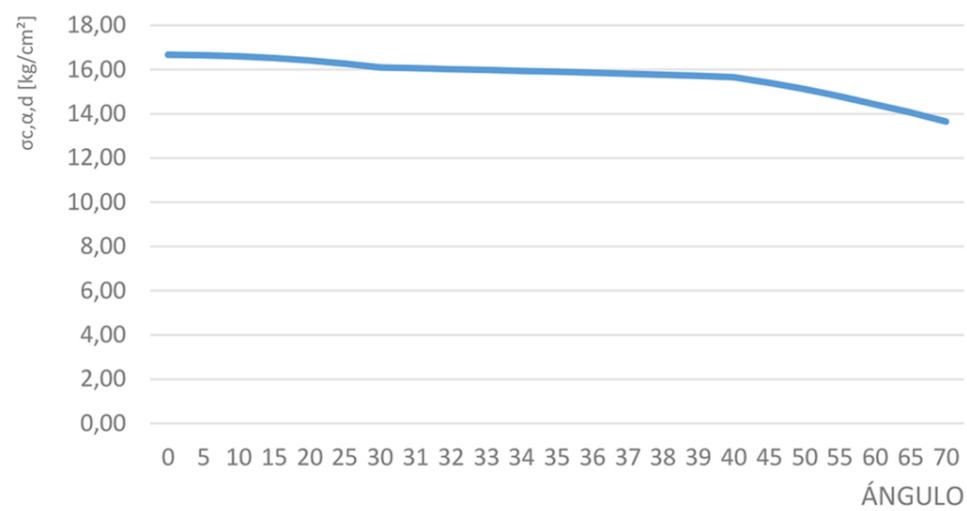
- Arriaga Martitegui, Francisco, *Construcción con madera-Uniones tradicionales*, CIS Madeira, Madrid, 2007
- Villar García, José Ramón, *Máster en ingeniería de la madera estructural-Tema 33 Uniones tradicionales-Unión embarbillada*, Universidad Santiago de Compostela, Lugo, 2011.

- Argüelles Álvarez, Ramón; Arriaga Martitegui, Francisco; Esteban Herrero, Miguel y Íñiguez González, Guillermo, *Confemadera-Construir con madera*, ConfeMadera, Madrid, 2013
- Argüelles Álvarez, Ramón, *Uniones: un reto para construir con madera(transcripción del discurso)*, Madrid, 2010

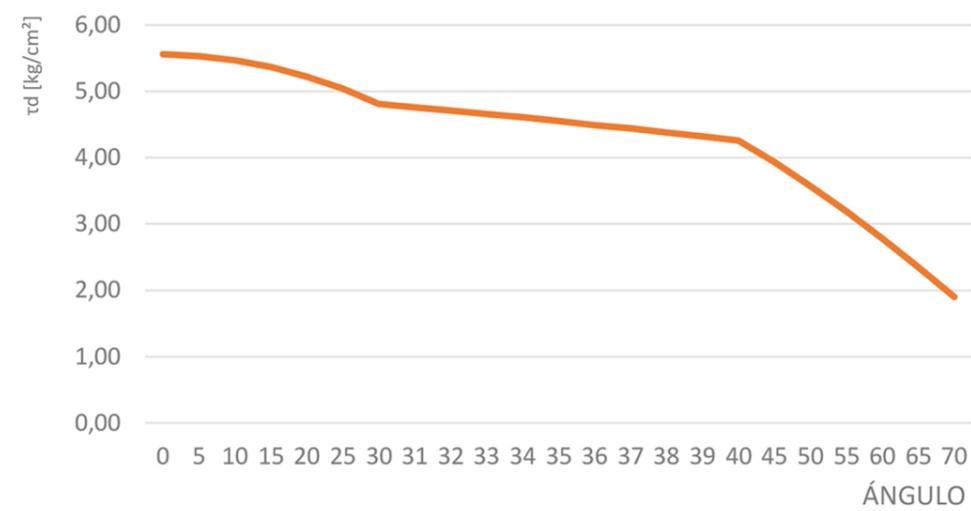
## 9. ANEJOS

ÁNGULO [°]	0	5	10	15	20	25	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	45	50	55	60	65	70
$f_{c,\alpha,d}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	110,77	109,38	105,42	99,43	92,11	84,17	76,17	74,60	73,05	71,52	70,01	68,52	67,05	65,61	64,19	62,80	61,44	55,05	49,37	44,38	40,02	36,24	32,95
$f_{v,d}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31
$f_{c,90,d}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62	16,62
$\sigma_{c,\alpha,d}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	16,67	16,65	16,60	16,52	16,41	16,27	16,10	16,06	16,02	15,98	15,94	15,90	15,85	15,81	15,76	15,71	15,66	15,40	15,11	14,78	14,43	14,06	13,65
$\tau_d$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	5,56	5,53	5,47	5,37	5,22	5,04	4,81	4,76	4,71	4,66	4,61	4,55	4,49	4,44	4,38	4,32	4,26	3,93	3,57	3,19	2,78	2,35	1,90
$\sigma_{c,90,d}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	0,00	0,03	0,13	0,28	0,49	0,74	1,04	1,11	1,17	1,24	1,30	1,37	1,44	1,51	1,58	1,65	1,72	2,08	2,45	2,80	3,13	3,42	3,68
$\sigma_{c,\alpha,d} / f_{c,\alpha,d} \leq 1$ [%]	15,05	15,22	15,75	16,61	17,82	19,33	21,14	21,53	21,93	22,34	22,77	23,20	23,64	24,10	24,55	25,02	25,49	27,97	30,61	33,30	36,06	38,80	41,43
$\tau_d / f_{v,d} \leq 1$ [%]	21,13	21,02	20,79	20,41	19,84	19,16	18,28	18,09	17,90	17,71	17,52	17,29	17,07	16,88	16,65	16,42	16,19	14,94	13,57	12,12	10,57	8,93	7,22
$\sigma_{c,90,d} / f_{c,90,d} \leq 1$ [%]	0,00	0,18	0,78	1,68	2,95	4,45	6,26	6,68	7,04	7,46	7,82	8,24	8,66	9,09	9,51	9,93	10,35	12,52	14,74	16,85	18,83	20,58	22,14

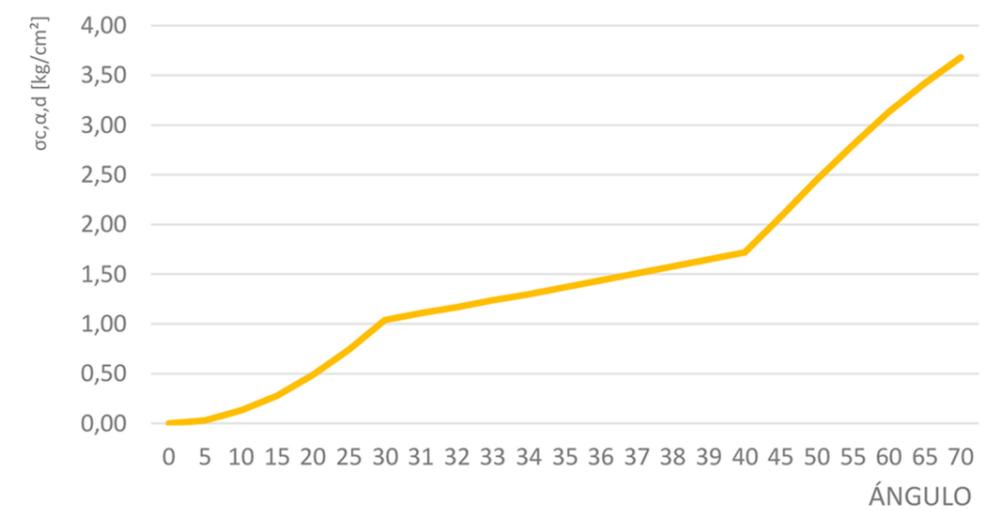
COMPRESIÓN OBLICUA EN EL FRENTE DE LA BARBILLA



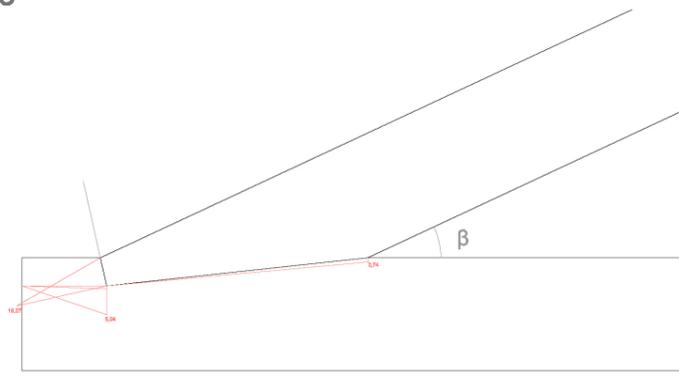
TENSIÓN TANGENCIAL RASANTE EN EL COGOTE



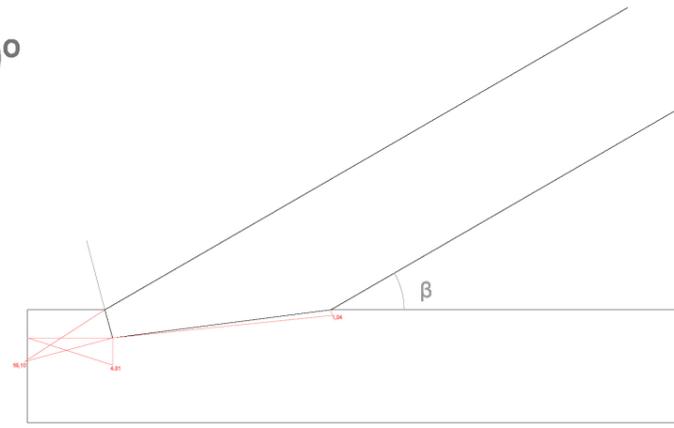
COMPRESIÓN PERPENDICULAR EN EL TIRANTE



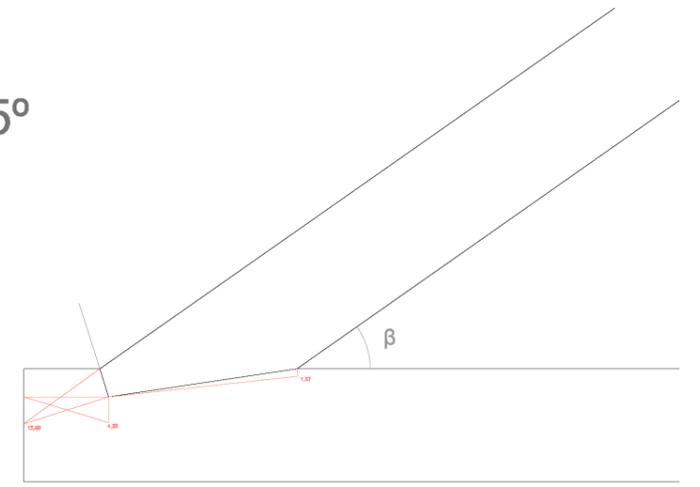
25°



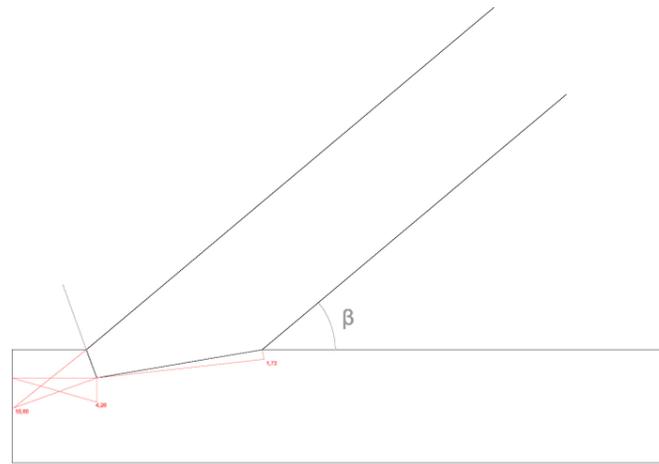
30°



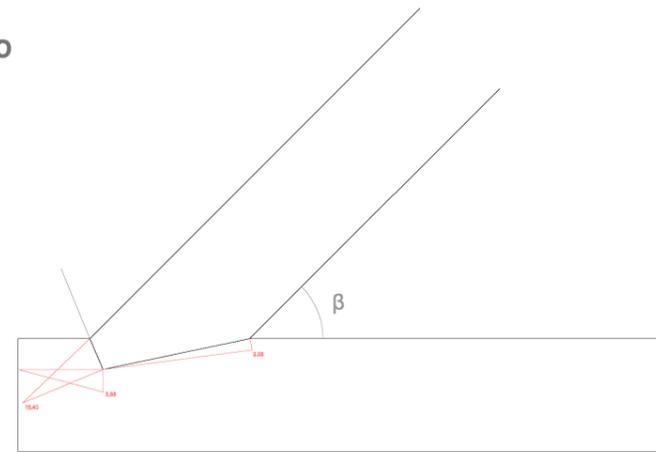
35°



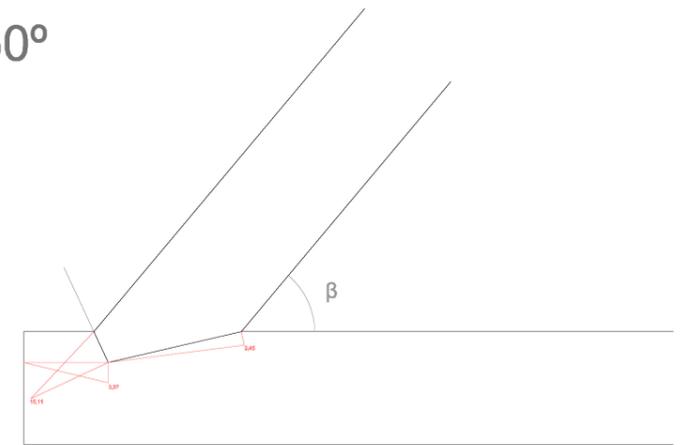
40°



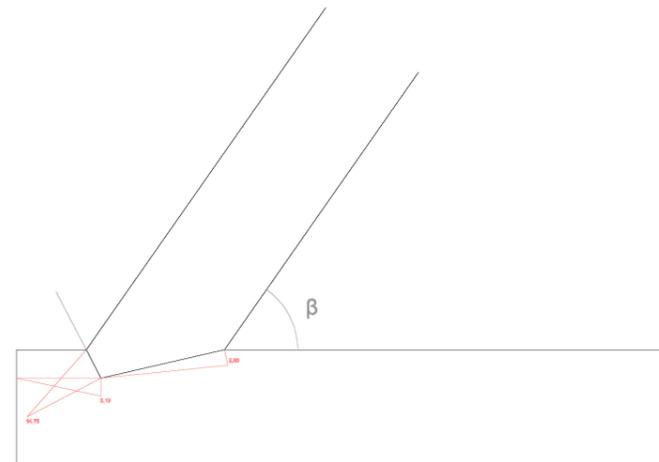
45°



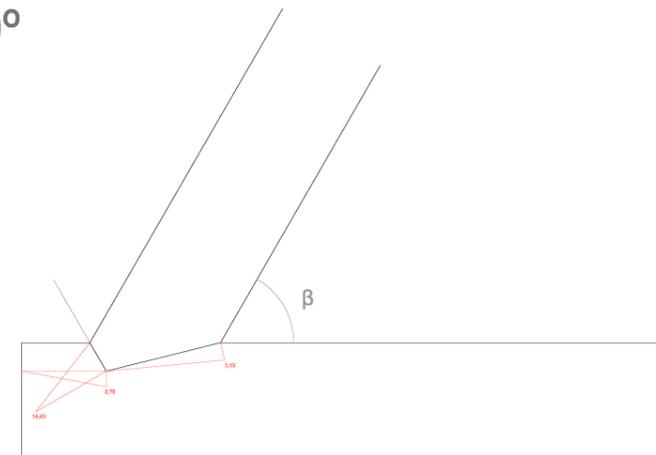
50°



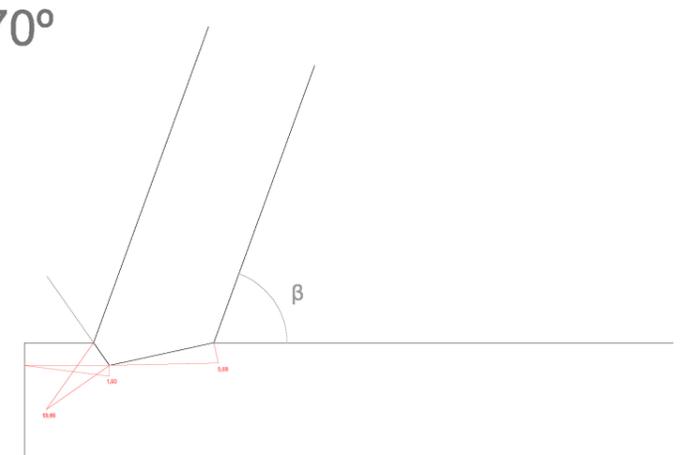
55°



60°



70°



## C22 ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ÁNGULO "β" EN LAS TENSIONES QUE AFECTAN AL EMBARBILLADO



SECCIÓN DEL TIRANTE Y EL PAR EN CM



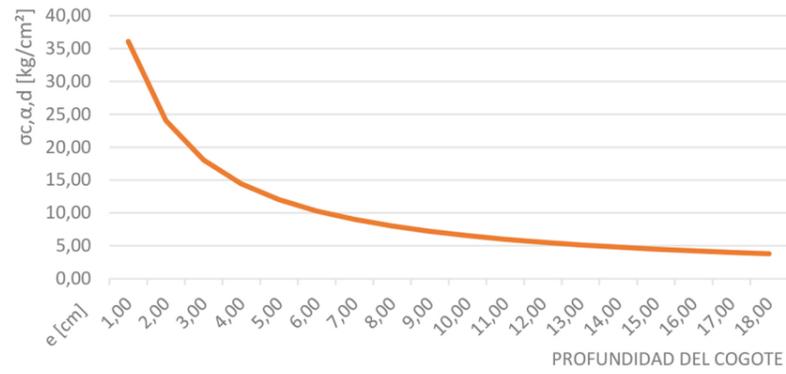
C22 ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ÁNGULO " $\alpha$ " EN LAS TENSIONES QUE AFECTAN AL EMBARBILLADO  $\beta=30^\circ$

ÁNGULO $\alpha$ [°]	30																			
e [cm]	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	
l [cm]	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
$\sigma_{c,\alpha,d}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	72,17	36,08	24,06	18,04	14,43	12,03	10,31	9,02	8,02	7,22	6,56	6,01	5,55	5,15	4,81	4,51	4,25	4,01	3,80	
$\tau_d$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	
$\sigma_{c,90,d}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	

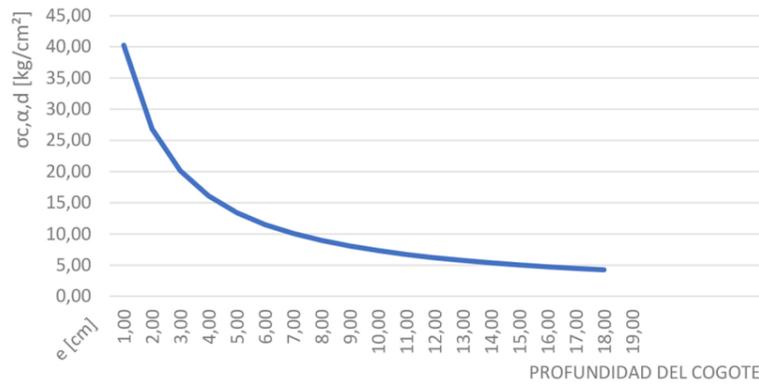
ÁNGULO $\alpha$ [°]	15																			
e [cm]	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	
l [cm]	15,27	15,54	15,80	16,07	16,34	16,61	16,88	17,14	17,41	17,68	17,95	18,22	18,48	18,75	19,02	19,29	19,56	19,82	20,09	
$\sigma_{c,\alpha,d}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	80,49	40,25	26,83	20,12	16,10	13,42	11,50	10,06	8,94	8,05	7,32	6,71	6,19	5,75	5,37	5,03	4,73	4,47	4,24	
$\tau_d$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	4,73	4,64	4,57	4,49	4,42	4,34	4,28	4,21	4,15	4,08	4,02	3,96	3,91	3,85	3,79	3,74	3,69	3,64	3,59	
$\sigma_{c,90,d}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	

ÁNGULO $\alpha$ [°]	0																			
e [cm]	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	
l [cm]	15,58	16,15	16,73	17,31	17,81	18,46	19,04	19,62	20,20	20,77	21,35	21,93	22,51	22,91	23,47	24,04	24,61	25,17	25,73	
$\sigma_{c,\alpha,d}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	83,33	41,67	27,78	20,83	16,67	13,89	11,90	10,42	9,26	8,33	7,58	6,94	6,41	5,95	5,56	5,21	4,90	4,63	4,39	
$\tau_d$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	4,63	4,47	4,31	4,17	4,05	3,91	3,79	3,68	3,57	3,47	3,38	3,29	3,21	3,15	3,07	3,00	2,93	2,87	2,80	
$\sigma_{c,90,d}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	

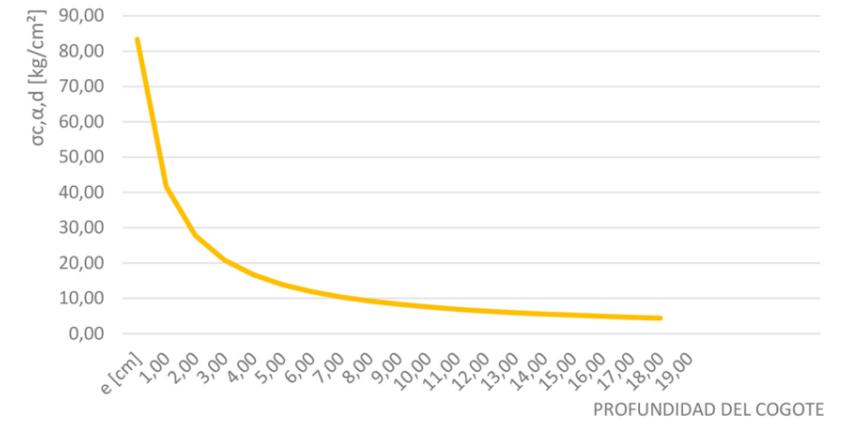
COMPRESIÓN OBLICUA 1



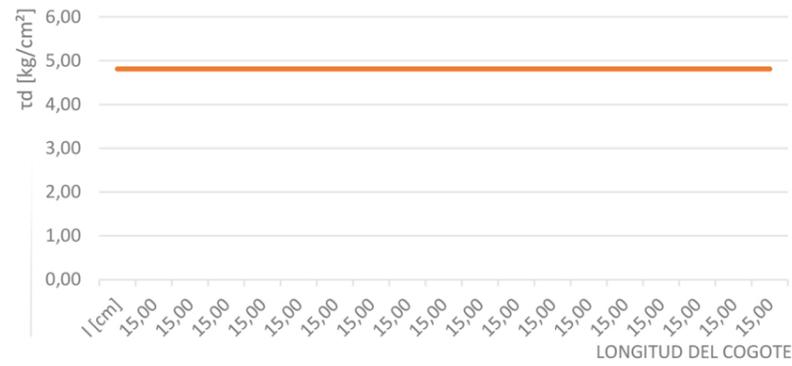
COMPRESIÓN OBLICUA 2



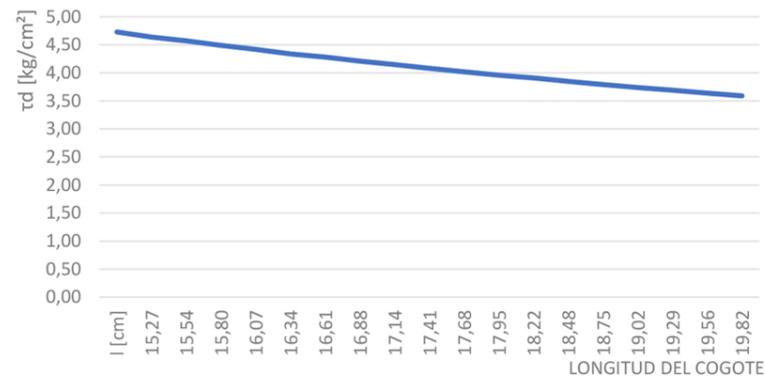
COMPRESIÓN OBLICUA 3



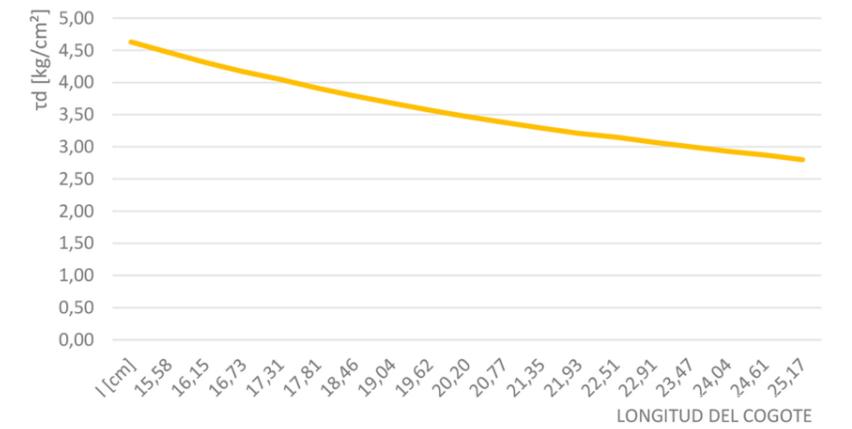
TENSIÓN TANGENCIAL 1

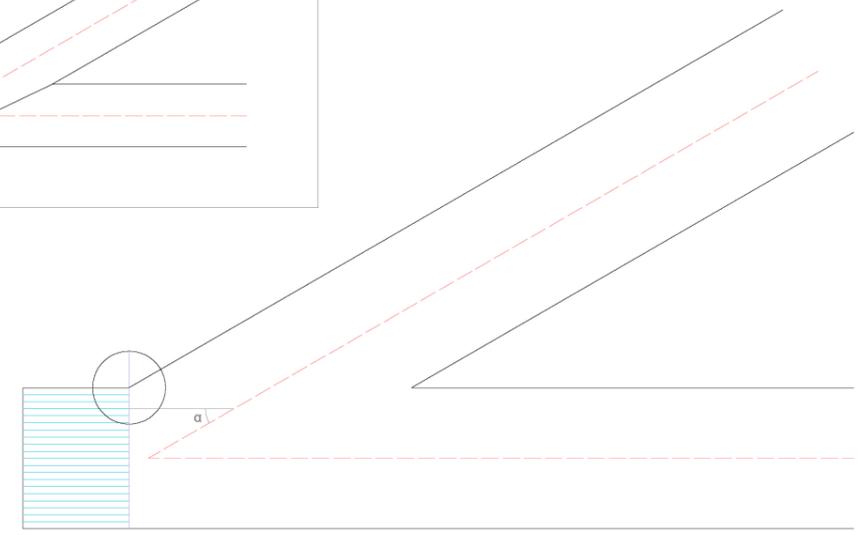
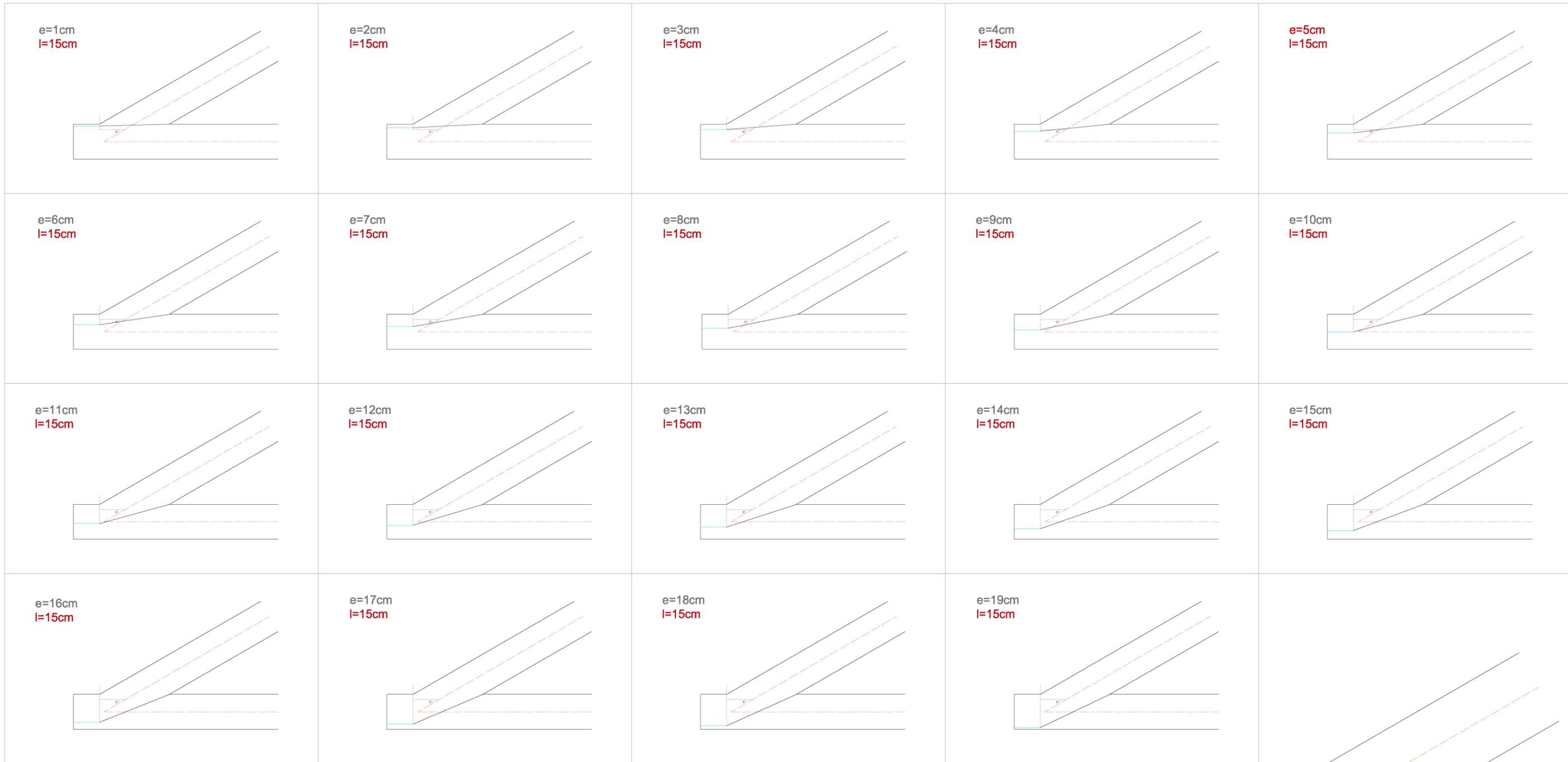


TENSIÓN TANGENCIAL 2



TENSIÓN TANGENCIAL 3

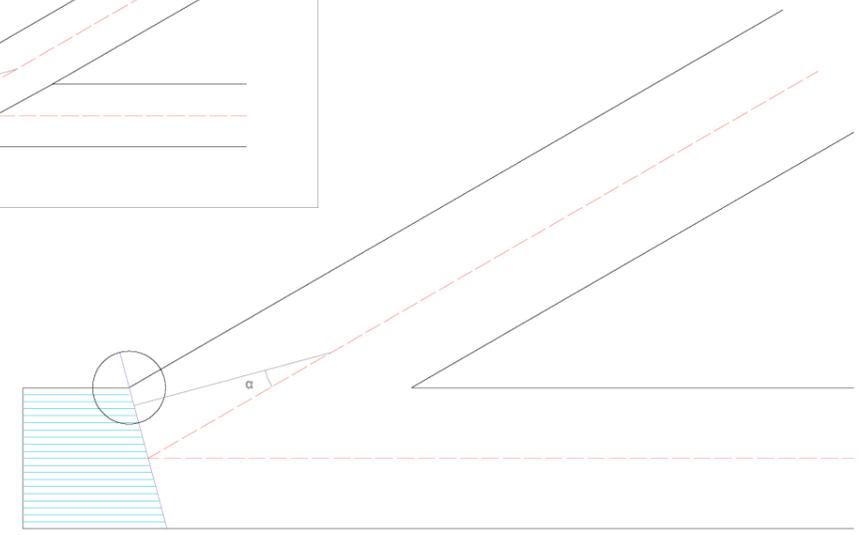
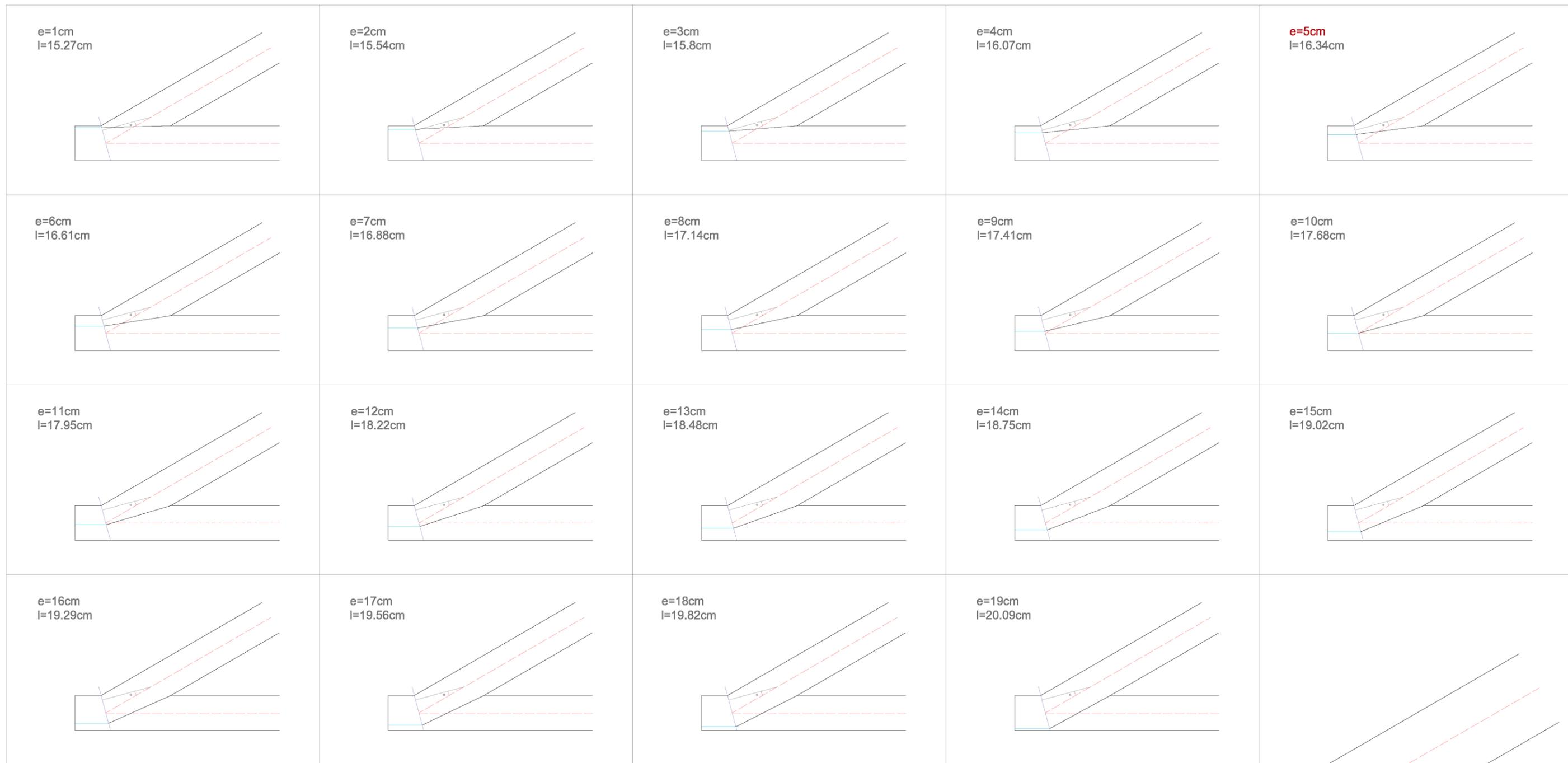




$\beta=30^\circ$   
 $\alpha=30^\circ$

C22

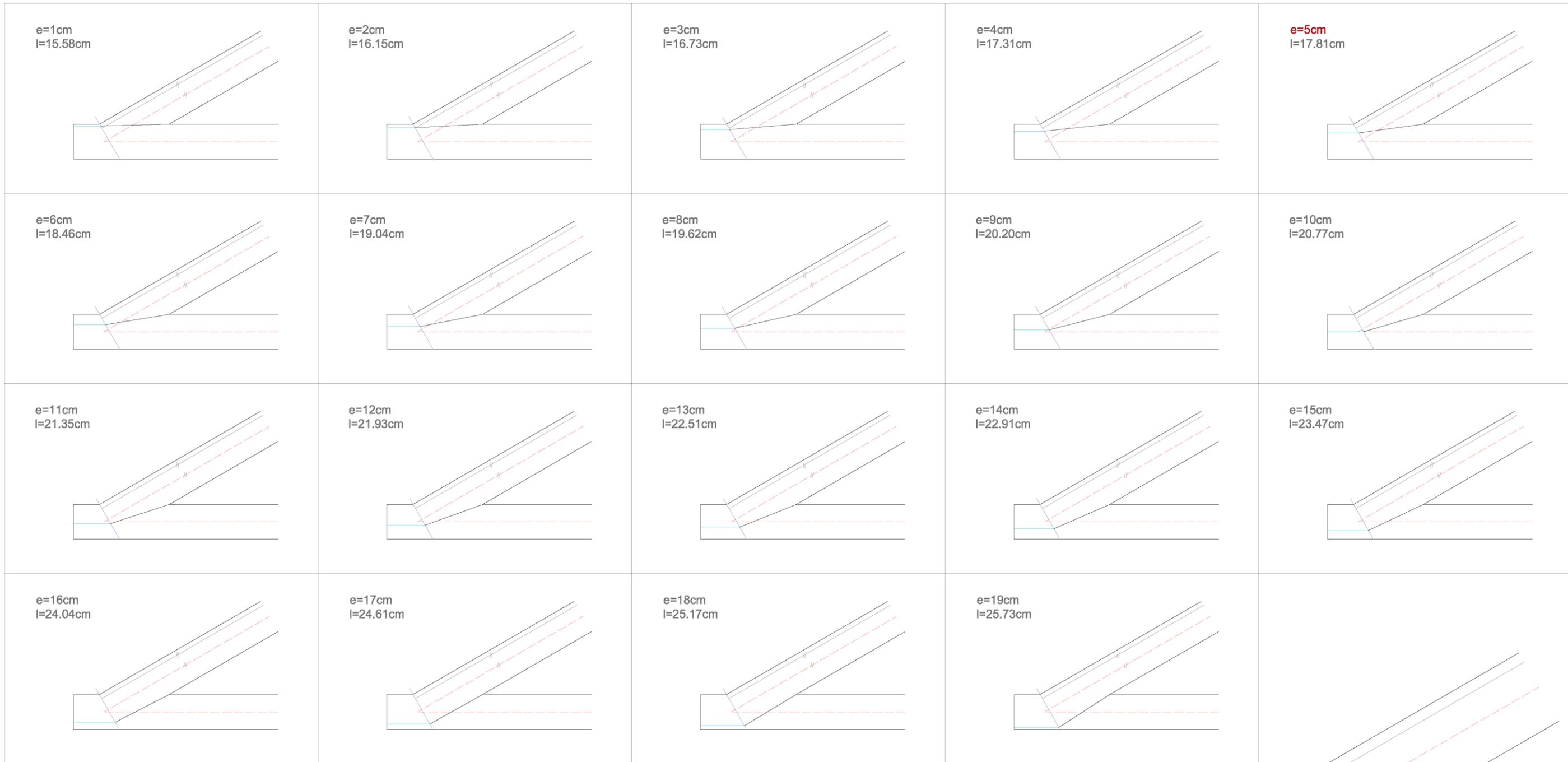
ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ÁNGULO " $\alpha$ ", LA PROFUNDIDAD DEL COGOTE " $e$ " Y LA LONGITUD DEL COGOTE " $l$ " EN LAS TENSIONES QUE AFECTAN AL EMBARBILLADO



$\beta=30^\circ$   
 $\alpha=15^\circ$

C22

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ÁNGULO " $\alpha$ ", LA PROFUNDIDAD DEL COGOTE " $e$ " Y LA LONGITUD DEL COGOTE " $l$ " EN LAS TENSIONES QUE AFECTAN AL EMBARBILLADO



$\beta=30^\circ$   
 $\alpha=0^\circ$

C22

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ÁNGULO " $\alpha$ ", LA PROFUNDIDAD DEL COGOTE " $e$ " Y LA LONGITUD DEL COGOTE " $l$ " EN LAS TENSIONES QUE AFECTAN AL EMBARBILLADO