

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Conexiones de madera

Trabajo de graduación presentado
por Pablo Antonio Sandoval Oliva
para optar al grado académico de
Licenciado de Ingeniería Civil

Guatemala
2012

Conexiones de madera

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Excelencia que trasciende

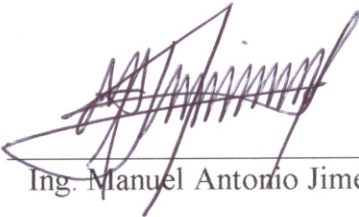
DELVALLE
GRUPO EDUCATIVO

Conexiones de madera

Trabajo de graduación presentado
por Pablo Antonio Sandoval Oliva
para optar al grado académico de
Licenciatura de Ingeniería Civil

Guatemala
2012

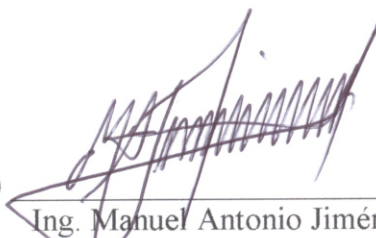
Vo. Bo:

(f) 
Ing. Manuel Antonio Jiménez

Tribunal Examinador:

(f) 
Arq. María Elena Ortiz

(f) 
Ing. Roberto Godo Levensen

(f) 
Ing. Manuel Antonio Jiménez

Fecha de aprobación: Guatemala, 5 de diciembre de 2012

Prefacio

El motivo principal de esta investigación es realizar un manual técnico que abarque varios medios de ensamblaje y de uniones de estructuras de madera en la construcción en Guatemala; permitiendo esta herramienta facilitar e incrementar el uso de la madera estructural en el país.

Esta investigación es un complemento y unificación de estudios realizados anteriormente para el diseño y construcción de estructuras de madera.

Quiero darle gracias a Dios por darme la vida, cuidarme y permitirme vivir hasta esta etapa de mi vida. Le doy gracias a mis padres por darme su apoyo incondicionalmente, sus consejos y su comprensión en los momentos más difíciles y críticos de la carrera. También le doy gracias a mis hermanos por su apoyo, y a mis compañeros por compartir todas esas experiencias únicas en la Universidad.

Índice

Prefacio	iv
Índice	v
Lista de cuadros	vii
Lista de gráficos	viii
Resumen.....	x
I. Introducción	1
II. Objetivos	2
A. Generales.....	2
B. Específicos	2
III. Metodología	3
IV. Marco teórico	4
A. Introducción general de las conexiones de madera	4
1. Esfuerzos que resiste la madera	5
2. Requisitos de los medios de fijación.....	8
3. Uniones con múltiples medios de fijación	9
4. Uniones con múltiples planos de cortadura.....	10
5. Uniones con fuerzas que forman un ángulo con la dirección de la fibra.....	11
6. Uniones con fuerzas alternas.....	13
B. Capacidad de carga lateral de medios de fijación de tipo pasador	13
1. Uniones madera-madera y tablero-madera	14
2. Uniones acero-madera	17
C. Uniones clavadas.....	20
1. Clavos con carga lateral	22
2. Uniones clavadas madera-madera.....	25
3. Uniones clavadas tablero-madera	29
4. Uniones clavadas acero-madera.....	31
5. Clavos con carga axial	31
6. Clavos sometidos a una combinación de carga lateral y axial.	34

D.	Uniones con tirafondos.....	34
1.	Tirafondos con carga lateral.....	35
2.	Tirafondos con carga axial.....	36
3.	Tirafondos cargados con una combinación de carga lateral y axial.....	38
E.	Uniones grapadas	39
F.	Uniones con pernos	42
1.	Pernos con carga lateral	43
2.	Uniones con pernos entre tablero y madera	45
3.	Uniones con pernos entre acero y madera.....	46
4.	Pernos con carga axial	46
G.	Uniones con pasadores	47
H.	Uniones con placas metálicas dentadas (placas-clavos).....	48
1.	Geometría de la placa.....	48
2.	Propiedades de resistencia de la placa.	50
3.	Resistencia de anclaje de la placa	50
4.	Comprobación de la resistencia de la unión.....	51
I.	Conectores de anillo y placa.....	55
J.	Conectores de placa dentada	60
K.	Uniones coladas.....	64
L.	Ejemplos de aplicaciones reales	66
M.	Problemas Resueltos.	69
1.	Unión con clavo de carpintero.	69
2.	Unión con clavo acerado.....	74
3.	Uniones con tirafondo Xpac.	78
4.	Uniones con tirafondo acerado.	82
5.	Uniones con pernos HAS-E5.8 3/8".	86
6.	Tabla comparativa.....	90
7.	Discusión.	90
V.	Conclusiones	92

VI. Recomendaciones.....	93
VII. Bibliografía.....	95
VIII. Apéndice.....	96
A. Resistencia al aplastamiento de la madera.....	96
1. Clavos.....	96
2. Pernos.....	97
B. Momento plástico de la clavija.....	97
1. Clavos sección circular.....	97
2. Clavos sección cuadrada.....	97
1. Pernos sección circular.....	97
2. Grapas.....	97
IX. Glosario.....	98
X. Nomenclatura.....	101

Lista de cuadros

Tabla 1 Valores de Kef.....	24
Tabla 2 Separación mínima a los bordes y a la testa para los clavos.....	27
Tabla 3 Valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes para tirafondos con carga axial.....	37
Tabla 4 Valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes y a las testas en las grapas.....	41
Tabla 5 Valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes y a las testas para los pernos.....	44
Tabla 6 Valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes y a las testas para pasadores.....	47
Tabla 7 Valores mínimos de las separaciones de las distancias a los bordes y a las testas para conectores de anillo y de placa.....	58
Tabla 8 Valores mínimos de las separaciones y distancias a los bordes y a las testas para conectores de placa dentada de tipos C1 a C9.....	63
Tabla 9 Valores de las separaciones y distancias a los bordes y a las testas para conectores de placa dentada de tipos C10 y C11.....	63

Tabla 10 Resultados unión con clavos de carpintero	73
Tabla 11 Resultados unión clavos acerados	77
Tabla 12 Resultados unión con tirafondo Xpac	81
Tabla 13 Resultados unión con tirafondos acerados	85
Tabla 14 Resultados viga unida con pernos	89
Tabla 15 Tabla comparativa diferentes tipos de unión.....	90

Lista de gráficos

Ilustración 1 Dirección de la fibra, dirección de la carga	5
Ilustración 2 Carga paralela a la fibra	6
Ilustración 3 Carga perpendicular a la fibra	6
Ilustración 4 Carga inclinada a la fibra	7
Ilustración 5 Flecha de una viga.....	8
Ilustración 6 Borde cargado y descargado	9
Ilustración 7 Fuerza inclinada transmitida en una unión.....	13
Ilustración 8 Modos de fallo para uniones con madera y tablero.....	17
Ilustración 9 Modos de falla para uniones de acero-madera	20
Ilustración 10 Clavo liso y clavo con rosca.....	21
Ilustración 11 Definición de t_1 y t_2 (a) unión corte simple, (b) unión corte doble	22
Ilustración 12 Clavos solapados.....	23
Ilustración 13 Clavo en una fila paralela a la fibra distribuidos al tresbolsillo con una separación perpendicular a la fibra igual a d	24
Ilustración 14 Separación y distancias a la testa y a los bordes (a) Separación paralela a la fibra en un fila y perpendicular a la fibra entre filas, (b) Distancia al borde y a la testa	29
Ilustración 15 (a) Clavado perpendicular a la fibra (b) Clavado oblicuo	33
Ilustración 16 Tirafondo.....	35
Ilustración 17 Dimensiones de la grapa	39
Ilustración 18 Definición de las separaciones en las grapas.....	41
Ilustración 19 Geometría de una unión con placas metálicas dentadas cargas con una fuerza F_{ed} y un momento M_{ed}	49
Ilustración 20 Dimensiones para las uniones con conectores de anillo y de placa.....	56
Ilustración 21 Distancias reducidas para los conectores	59
Ilustración 22 Viga de 26.50 metros de cubierta de piscina en Porto Moniz. Madeira. Portugal (2004)	66
Ilustración 23 Cercha lucernario tridimensional de 42m, madera microlaminada. Kerto soportando vigas de madera laminada de 20m. Tenerife.....	66

Ilustración 24 Cúpula de 50 metros de luz. Valladolid. Arquitectos Doblas & Fonseca	67
Ilustración 25 Conexión de placas de acero con pernos	67
Ilustración 26 Edificio residencial de 7 niveles. Berlin (2007)	68
Ilustración 27 Puente de Saint Georgen. Austria.	68
Ilustración 28 Viga unida con clavo de carpintero	72
Ilustración 29 Ensayo de Viga unida con clavo de carpintero	72
Ilustración 30 Fallo de viga unida con clavo de carpintero	72
Ilustración 31 Gráfica esfuerzo vrs deformación unitaria unión con clavo de carpintero	73
Ilustración 32 Viga unida con clavo acerado	76
Ilustración 33 Fallo de viga con clavo acerado	77
Ilustración 34 Gráfica esfuerzo vrs deformación unitaria unión con clavo acerado	77
Ilustración 35 Viga una con tirafondo Xpac	80
Ilustración 36 Deformación de viga unida con tirafondo Xpac.....	80
Ilustración 37 Fallo de viga unida con tirafondo Xpac	81
Ilustración 38 Gráfica esfuerzo vrs deformación unitaria unión con tirafondo Xpac	81
Ilustración 39 Viga unida con tirafondo acerado	84
Ilustración 40 Deformación de viga unida con tirafondo acerado.....	84
Ilustración 41 Fallo de viga unida con clavo acerado	85
Ilustración 42 Gráfica esfuerzo vrs deformación unitaria unión con tirafondos acerados	85
Ilustración 43 Viga unida con pernos.....	88
Ilustración 44 Deformación de viga unida con pernos	88
Ilustración 45 Carga paralela a la fibra	98
Ilustración 46 Carga perpendicular a la fibra	98
Ilustración 47 Carga inclinada a la fibra	99

Resumen

Las estructuras de madera se conforman de piezas prefabricadas, independientes, con dimensiones establecidas y limitadas que deben ensamblarse en el sitio, para generar una forma adecuada para su función.

Las uniones o ensambles son la parte más delicada de la construcción, debe ser eficaz, resistente y duradera sin importar que se cambien las piezas de madera durante su vida útil, ya sea que las piezas de madera fallen por humedad o por deformación debido a las cargas. En la mayoría de las conexiones se emplea algún elemento sujetador de acero: Clavos, tornillos, anillos y accesorios especiales. La elección del tipo de sujetador y la forma de su uso es de la responsabilidad del proyectista estructural al diseñar los detalles de las conexiones.

En el caso de ensamblajes en madera, se debe controlar la resistencia en función de los posibles modos de ruptura. La resistencia del ensamblaje en compresión es en general de 10 a 15 % más grande que su resistencia a la tensión. La resistencia y la rigidez de la pieza dependen del material y no de la dirección de la carga.

La resistencia a la ovalización, la fisuración y al corte depende de la especie de madera, de su clasificación, de la geometría. Su comportamiento varía según la posible concentración local de esfuerzos. La resistencia paralela a las fibras, las tensiones locales dependen de la especie, de su clasificación, de la geometría y de las perforaciones.

En conclusión, los modos de ruptura pueden ser: Por corte del perno, por plastificación en flexión, por exceso de la resistencia a la presión lateral por ovalización, por corte longitudinal.

En la construcción en madera se distingue entre ensamblajes flexibles, mecánicos y ensamblajes de madera - madera. Las fuerzas transmitidas por estos ensamblajes pueden ser de tensión o de compresión, de corte o de momento de flexión. En ensamblajes flexibles una cierta tolerancia u holgura acompaña la transmisión de fuerzas. De esta tolerancia depende en gran medida la rigidez de los sistemas portadores de carga y de secciones compuestas. Es la razón por la cual se debe tomar en cuenta el comportamiento de los ensamblajes de secciones compuestas cuando se verifica la deformación del sistema. No se recomienda combinar medios de ensamblaje de diferente rigidez como es el caso de pegamento y de medios mecánicos debido a que cada sistema proporciona una respuesta diferente en cuanto a las deformaciones.

I. Introducción

El trabajo de graduación consiste en determinar los diferentes medios de fijación para realizar conexiones de madera. Ya sea uniones con medios metálicos, uniones encoladas, o uniones madera a madera. Utilizando como base las Normas Europeas EN 1075, EN 1380, EN 1381 para determinar el valor de la capacidad de carga, y la rigidez mediante ensayos.

Se elaborará un manual basado en el Euro Código 5 versión para España 2006, para adaptarse al tipo de construcción de Guatemala, según AGIES. Con el objetivo de ampliar el uso de la madera estructural, ya que es uno de los recursos más sostenibles, con alta proporción de esfuerzos comparado con el peso; es capaz de transmitir fuerzas de compresión y tensión, y naturalmente adecuado para esfuerzos a flexión. También se debe tomar en cuenta que es un material de construcción con alta durabilidad si se le aplica un buen tratamiento, y tiene buenas propiedades para aislar el calor y el sonido.

El manual busca reducir el punto de falla de las construcciones de madera estructural sobre la conexión. Introduciendo las normas y códigos utilizados en Europa. Además se busca que el usuario logre reducir costos al utilizar el método de unión de acuerdo a los esfuerzos que va a sufrir la estructura.

También se busca que el usuario vea cómo se deben realizar los ensamblajes en campo y el cuidado que se debe tener en la dirección y la penetración del medio de unión, así como elegir el medio de unión adecuado para el tipo de esfuerzo, las características y dimensiones apropiadas.

II. Objetivos

A. Generales

Crear un manual para el uso de diferentes tipos de conexiones de madera.

B. Específicos

1. Conocer e investigar los diferentes medios de unión para maderas, que se pueden usar a nivel estructural.
2. Determinar según el tipo de esfuerzo que va a afectar el área de unión, que método es el más adecuado para realizar la conexión.
3. Incrementar el conocimiento para el uso de la madera estructural en Guatemala

III. Metodología

El trabajo de graduación es de carácter investigativo por lo que no se realizará ninguna observación en campo. Se utilizará como base el Eurocódigo 5 Proyecto de estructuras de madera, además de otras fuentes adicionales obtenidas de internet, o en libros así como también información adicional otorgada por mi asesor.

Se identificarán los tipos de madera existentes en Guatemala que se asemejan a las condiciones y características de los tipos de madera listados del EC5, para poder realizar las mismas consideraciones de la norma y que sea válido.

Identificar y clasificar los diferentes tipos de unión según su efectividad a diferentes tipos de esfuerzos.

Calcular la capacidad de carga y la rigidez de las conexiones.

Se realizará un manual que facilite la elección del tipo de unión que se va a realizar considerando el tipo de esfuerzo al cual se va a encontrar expuesta la estructura de madera.

IV. Marco teórico

A. Introducción general de las conexiones de madera

Las estructuras de madera se conforman de piezas prefabricadas, independientes, con dimensiones establecidas y limitadas que deben ensamblarse en el sitio, para generar una forma adecuada para su función.

También es importante considerar que el punto de falla no sea en la conexión, que la conexión permita que el elemento fluencia sea la viga.

“El mayor problema en el diseño de las estructuras de madera es la solución de aquellos puntos en que convergen dos o más piezas (nudos), de modo que se puedan transmitir adecuadamente sus esfuerzos. Estas uniones deben ser lo suficientemente rígidas como para que la deformación total de la estructuras no exceda ciertos valores estimados como admisibles. Es así, como los elementos que se usan para materializar las uniones se los condiciona tanto en cuanto a su capacidad de transmisión de carga como al monto del corrimiento que experimentan al quedar sometidos a carga. Tradicionalmente se distinguen dos comportamientos opuestos: uno totalmente rígido representado por las colas y otro sumamente flexible presentando grandes deformaciones y que corresponde al caso de los pernos. En un plano, intermedio se sitúan clavos.” (Rubi, Diseño de Uniones de madera, 2009)

1. **Esfuerzos que resiste la madera.** La acción de carga somete a la madera a los siguientes esfuerzos:

a. **Compresión:** Este esfuerzo se produce cuando una fuerza tiende a comprimir o aplastar un miembro. Este esfuerzo se presenta en las columnas de edificaciones, así como en algunas barras que conforman distintos tipos de armaduras, en este caso particular para estructuras de madera. La compresión puede actuar en las siguientes direcciones:

- Paralela a las fibras, $\theta = 0^\circ$.
- Perpendicular a las fibras, $\theta = 90^\circ$.
- Inclínadas a la fibra, $0^\circ < \theta < 90^\circ$.

Ilustración 1 Dirección de la fibra, dirección de la carga

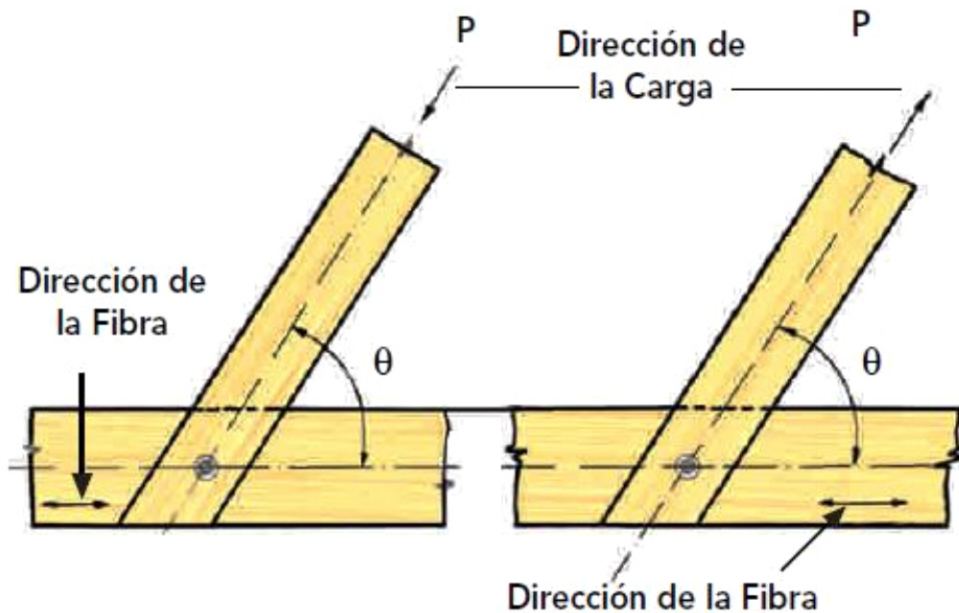


Ilustración 2 Carga paralela a la fibra

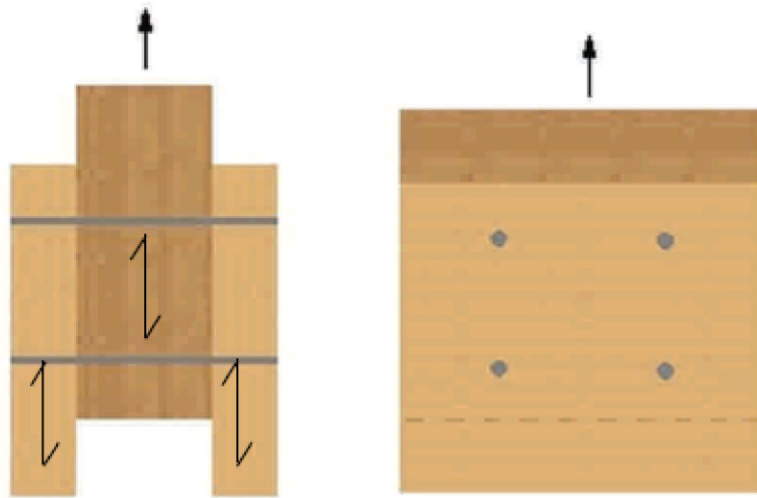


Ilustración 3 Carga perpendicular a la fibra

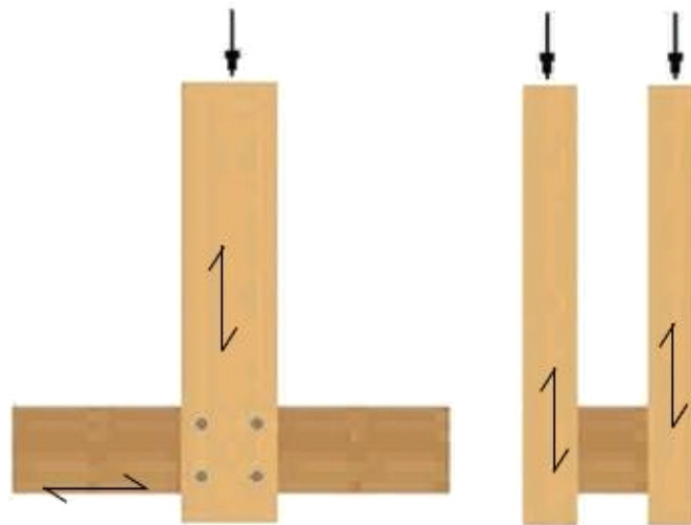
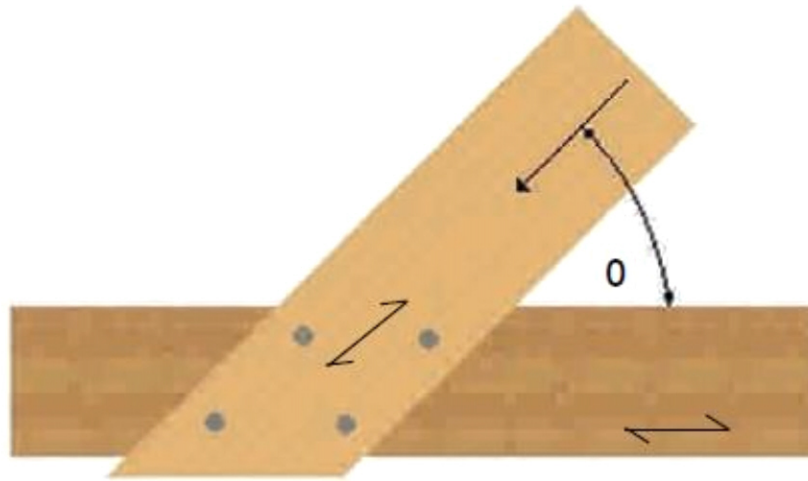


Ilustración 4 Carga inclinada a la fibra



b. Tracción: Es un esfuerzo que se produce cuando una fuerza tiende a estirar o alargar un miembro. La cuerda inferior y ciertas almas de miembros de armaduras y cambios atirantados trabajan a tracción. Si se conoce la fuerza total de tracción axial (denotado por P) es un miembro, así como el área de su sección transversal (denotado por A), la tracción puede actuar:

- Paralela a la fibra

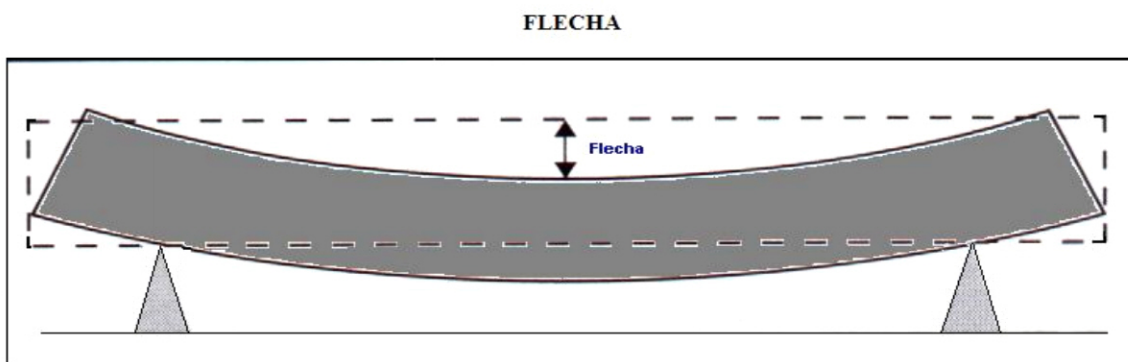
c. Flexión: Este tipo de esfuerzos por lo común se genera por la aplicación de momentos llamados momentos flexionantes (principalmente en vigas), combinando esfuerzos de tensión y compresión en la sección.

d. Corte: Se produce un esfuerzo cortante cuando dos fuerzas iguales, paralelas y de sentido contrario tienden a hacer resbalar, una sobre otra, las superficies continuas del miembro. Este esfuerzo se presenta en la mayoría de los elementos estructurales, también se debe tomar en cuenta que existen esfuerzos cortantes verticales y horizontales, por lo general las fallas por cortante en vigas de madera se deben al esfuerzo cortante horizontal y no al vertical.

e. Deformación: La deformación es el cambio de tamaño o forma que siempre sufre un cuerpo que está sometido a una fuerza. Cuando las fuerzas son de compresión y de tracción axial, las deformaciones son acortamientos o alargamientos, respectivamente. Cuando una fuerza actúa en un miembro flexionándolo, la deformación se llama flecha.

- La flecha es un fenómeno extremadamente peligroso para las maderas.
(Rubi, Métodos de diseño y análisis de estructuras de madera, 2009)

Ilustración 5 Flecha de una viga

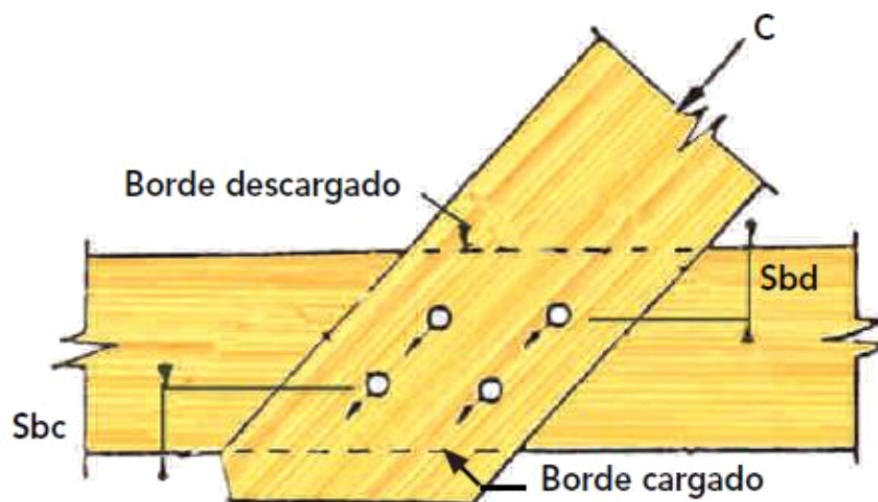


2. Requisitos de los medios de fijación. El valor de la capacidad de carga y la rigidez de las uniones se debe determinar según los resultados obtenidos de ensayos de acuerdo con las Normas Europeas EN 1075 “Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Uniones realizadas con conectores metálicos de placa dentada”, EN 1380 “Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Uniones estructurales con clavos, tornillos, clavijas y pernos”, EN 1381 “Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Uniones estructurales grapadas”, EN 26891 “Estructuras de madera. Uniones realizadas con elementos de fijación mecánicos. Principios generales para la determinación de las características de resistencia y deslizamiento (ISO 6891:1983)” y EN 28970 “Estructuras de madera. Ensayos de uniones realizadas con elementos de fijación mecánicos. Requisitos para la densidad de la madera. (ISO 8970:1989).”. También se debe considerar que si las normas correspondientes exigen ensayos de tracción y compresión, para determinar el valor de la capacidad de carga los ensayos se deben realizar en tracción.

3. Uniones con múltiples medios de fijación

a. El tamaño de los medios de fijación en una unión, la separación entre los medios de fijación, la distancia hacia la testa y a los bordes se debe elegir para que se alcance la resistencia y rigidez esperada.

Ilustración 6 Borde cargado y descargado



b. Se debe tomar en cuenta que la capacidad de carga de una unión con múltiples medios de fijación, con medios de fijación del mismo tipo y tamaño, va a ser igual o menor a la suma de la capacidad de carga de cada medio de fijación.

c. Si una unión está conformada por diferentes tipos de medios de fijación, o si la rigidez de las uniones en los planos de corte de una unión de múltiple cortadura es diferente, se debe comprobar la compatibilidad de los diferentes tipos de unión.

d. En una fila de medios de fijación que es paralela a la dirección de la fibra, el valor eficaz de la capacidad de carga paralela a la fila, $F_{v,ef,Rk}$ se debe calcular con la siguiente expresión:

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} F_{v,Rk} \quad (1.1)$$

Donde:

$F_{v, ef, Rk}$ es el valor de la capacidad de carga de una fila de medios de fijación paralelos a la fibra.

N_{ef} es el número de medios de fijación alineados paralelamente a la fibra.

$F_{v, Rk}$ es el valor de la capacidad de carga de cada medio de fijación en dirección paralela a la fibra.

NOTA – Los valores de N_{ef} para filas paralelas a la fibra se dan en el párrafo (8) de la sección de Generalidades de Uniones Clavadas y el párrafo (4) de la sección de Generalidades de Uniones Con Pernos.

e. Si la fuerza actúa con un ángulo respecto a la dirección de la fila, debería comprobarse que la componente de la fuerza paralela a la fibra es menor o igual que la capacidad de carga calculada de acuerdo con la expresión (1.1). (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006)

4. Uniones con múltiples planos de cortadura

a. En uniones donde hay varios planos de cortadura, la resistencia de cada plano de cortadura se determina suponiendo que cada plano de cortadura se conforma de uniones de tres piezas.

b. Para combinar la resistencia de cada plano individual de corte en una unión con múltiples planos de corte, el modo de falla crítico de los medios de fijación debe ser compatible con cada uno de los otros planos de corte, y no debe consistir en una combinación de los modos de fallo (a), (b), (g) y (h) o de los modos (e), (f) y (j/l) de la Ilustración 2, con los otros modos de fallo. (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006)

5. Uniones con fuerzas que forman un ángulo con la dirección de la fibra

a. Cuando actúa una fuerza en la unión con un ángulo respecto a la fibra (ver Ilustración 1.1), se debe tener en cuenta la posibilidad de hienda causada por la fuerza de tracción perpendicular a la fibra, $F_{Ed, \text{sen } \alpha}$.

b. Para tener en cuenta la posibilidad de hienda causada por la fuerza de tracción perpendicular a la fibra $F_{Ed, \text{sen } \alpha}$, se debe cumplir la siguiente condición:

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,Rd} \quad (1.2) (8.2)$$

Con

$$F_{v,Ed} = \text{máx.} \begin{cases} F_{v,Ed,1} \\ F_{v,Ed,2} \end{cases} \quad (1.3) (8.3)$$

Donde:

$F_{90,Rd}$ es el valor de cálculo de la capacidad de carga a la hienda, el valor de cálculo R_d de una resistencia (capacidad de carga) debe calcularse de acuerdo con la expresión siguiente:

$$R_d = k_{\text{mod}} \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (1.4) (8.4)$$

Donde:

R_k es el valor de la capacidad de carga.

γ_M es el coeficiente parcial para la propiedad del material.

K_{mod} es un factor de modificación que tiene en cuenta el efecto de la duración de la carga y el contenido de humedad.

$F_{v,Ed1}$ $F_{v,Ed2}$ son los valores de cálculo de los cortantes a ambos lados de la unión (ver Ilustración 1.1).

c. Para maderas coníferas, el valor de la capacidad de carga a la hienda para la disposición mostrada en la Ilustración 1.1, se debe calcular mediante la siguiente expresión:

$$F_{90,Rk} = 14 b w \sqrt{\frac{h_e}{(1-\frac{h_e}{h})}} \quad (1.5)$$

Donde:

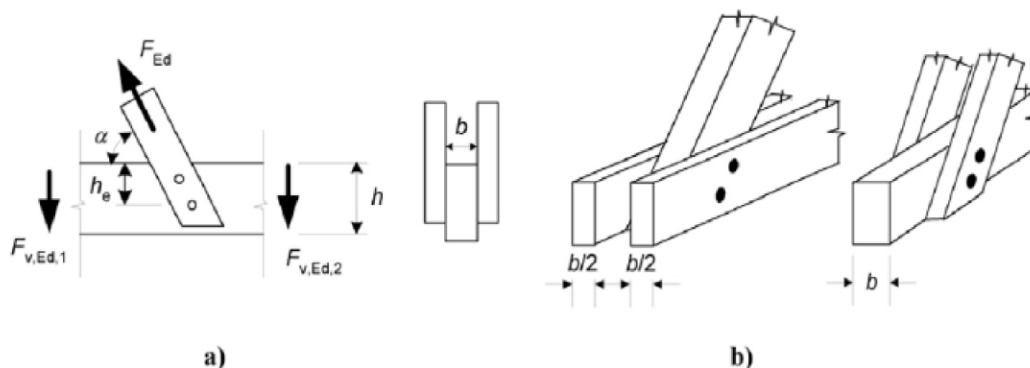
$$w = \begin{cases} \max \left\{ \left(\frac{w_{pl}}{100} \right)^{0.35} \right. & \text{para placas metálicas dentadas} \\ 1 & \end{cases} \quad (1.6)$$

para otros tipos de herrajes

y:

- $F_{90,Rk}$ es el valor de la capacidad de carga a la hienda, en N;
- w es un factor de modificación;
- h_e es la distancia desde el borde cargado al centro del medio de fijación más lejano o al borde de la placa metálica dentada, en mm;
- h es la altura de la pieza de madera, en mm;
- b es el espesor de la pieza, en mm;
- w_{pl} es la anchura de la placa metálica dentada en dirección paralela a la fibra, en mm.

Ilustración 7 Fuerza inclinada transmitida en una unión



(Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006).

6. Uniones con fuerzas alternas

a. El valor de la capacidad de carga de una unión se debe reducir si la unión está sometida a fuerzas alternas internas debidas a acciones de larga o media duración.

b. El efecto en la resistencia de una unión bajo acciones de larga o media duración, que alternan entre una fuerza de tracción $F_{t,ED}$ y una fuerza de compresión $F_{c,Ed}$, se toma en cuenta dimensionando la unión para $(F_{t,Ed} + 0,5F_{c,Ed})$ y $(F_{c,Ed} + 0,5F_{t,Ed})$. (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006)

B. Capacidad de carga lateral de medios de fijación de tipo pasador

Las uniones con pasadores se diferencian conforme a la función de los pasadores en la unión de piezas sueltas.

- Unión con pasadores de fijación: consiste en la fijación de dos piezas sin arrastre de fuerza, por ejemplo para la fijación de dos ruedas dentadas sobre el eje, cuando se transmiten solamente momentos de giro muy reducidos.

- Unión con pasadores de arrastre: consiste en el arrastre de una pieza de una maquina a través de otra, por ejemplo: en engranajes conmutables o en embragues que se conmutan en estado de quietud.

- Unión con pasador de sujeción: es cuando simplemente una pieza fija con otra, se emplean principalmente pasadores cilíndricos y pasadores estriados.

- Unión con pasadores de articulación: es cuando hay una unión movable o giratoria de dos piezas, se emplean pasadores cilíndricos, pasadores estriados cilíndricos y pasadores estriados cilíndricos centrales. (Rubi, Diseño de Uniones de madera, 2009)

- Para determinar el valor de la capacidad de carga de uniones con medios de fijación de tipo pasador, se debe considerar las contribuciones de la plastificación del medio de fijación, la resistencia al aplastamiento de la madera y la resistencia al arranque del medio de fijación.

1. Uniones madera-madera y tablero-madera

a. El valor de la capacidad de carga para los clavos, grapas, pernos, pasadores y tirafondos por plano de corte y por medio de fijación, debe tomarse con el valor mínimo de los obtenidos en las siguientes expresiones:

– Para medios de fijación en corte simple (ecuación 1.7):

$$\begin{aligned}
F_{v,Rk} = & \\
& \left\{ \begin{array}{l}
f_{h,1,k} t_1 d \quad (a) \\
f_{h,2,k} t_2 d \quad (b) \\
\frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (c) \\
1.05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (d) \\
1.05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (e) \\
1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (f)
\end{array} \right. \\
(1.7)
\end{aligned}$$

- Para medios de fijación en corte doble:

$$\begin{aligned}
F_{v,Rk} = \min & \left\{ \begin{array}{l}
f_{h,1,k} t_1 d \quad (a) \\
0.5 f_{h,2,k} t_2 d \quad (b) \\
1.05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (d) \\
1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (f)
\end{array} \right. \\
(1.8)
\end{aligned}$$

Con

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} \quad (1.9)$$

Donde:

$F_{v,Rk}$ es el valor característico de la capacidad de carga por plano de cortadura y por medio de fijación.

t_i es el espesor de la madera o del tablero o la profundidad de penetración, siendo i igual a 1 ó 2, véanse también los apartados C a F .

$f_{h,i,k}$ es el valor característico de la resistencia al aplastamiento en la pieza de madera i .

d es el diámetro del medio de fijación.

$M_{y,Rk}$ es el valor característico del momento plástico del medio de fijación.

β es la relación entre las resistencias al aplastamiento de las piezas.

$F_{ax,Rk}$ es el valor característico de la capacidad de carga al arranque del medio de fijación.

NOTA – La plastificación de las uniones se puede garantizar si se utilizan medios de fijación relativamente esbeltos, en tales casos los modos de falla (f) y (k) son determinantes.

b. En las expresiones (1.7) y (1.8), el primer término del lado derecho es la capacidad de carga de acuerdo con la teoría de plastificación de Johansen, mientras que el segundo término $F_{ax, Rk}/4$ es la contribución del efecto sogá. La contribución a la capacidad de carga debida al efecto sogá debe limitarse a los siguientes porcentajes de la parte de Johansen:

– Clavos de sección circular	15%
– Clavos de sección cuadrada y ranurados	25%
– Otros tipos de clavos	50%
– Tirafondos	100%
– Pernos	25%
– Pasadores	0%

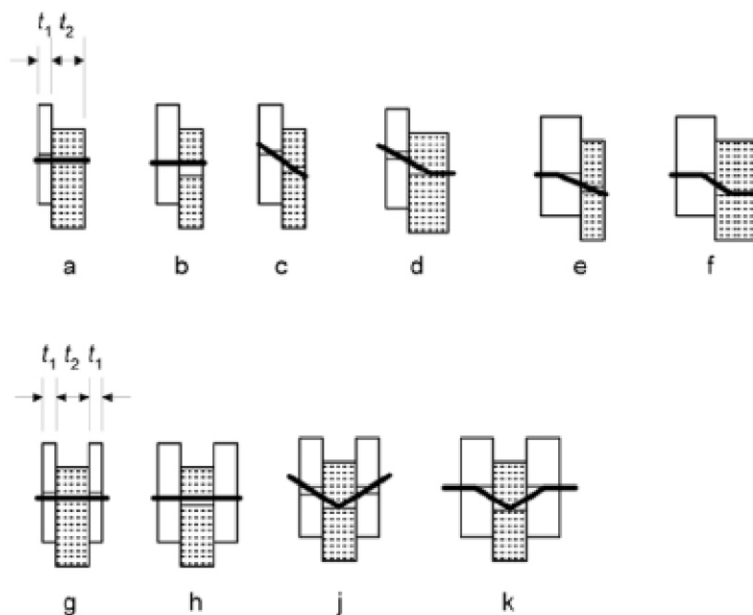
Si no se conoce $F_{ax, Rk}$, la contribución del efecto sogá se considera como cero.

En medios de fijación a cortadura simple, la capacidad de carga al arranque, $F_{ax, Rk}$, se toma la menor de las capacidades de ambas piezas. Los diferentes modos de fallo se muestran en la Ilustración 1.2. Para la capacidad de arranque de los pernos, $F_{ax, Rk}$, se puede tener en cuenta la resistencia aportada por las arandelas.

c. En el caso de que no se especifiquen reglas de cálculo, el valor de la resistencia al aplastamiento, $f_{h,k}$, se debe determinar de acuerdo a las Normas Europeas EN 383 y EN 14358.

d. En el caso de que no se especifiquen reglas de cálculo, el valor del momento plástico M_Y , R_k se debe determinar de acuerdo con las Normas Europeas EN 409 y EN 14358.

Ilustración 8 Modos de fallo para uniones con madera y tablero



(1) Corte simple

(2) Corte doble

NOTA – Las letras corresponden a las referencias de las expresiones (1.7) y (1.8).
(Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006)

2. Uniones acero-madera

a. El valor de la capacidad de carga de una unión acero-madera depende del espesor de las placas de acero. Las placas que tienen un espesor menor o igual a $0.5d$ se clasifican placas delgadas, y las placas con espesor mayor o igual a d , con una tolerancia de los diámetros de los agujeros menor a $0.1d$ se clasifican como placas gruesas. El valor de la capacidad de carga de las uniones con placas de acero de espesor intermedio entre las delgadas y las gruesas calcula interpolando linealmente los valores de la placa gruesa y la placa delgada.

b. Se debe de comprobar la resistencia de la placa de acero.

c. El valor de la capacidad de carga para los clavos, pernos, pasadores y tirafondos, por plano de cortadura y por medio de fijación, debe tomarse igual al valor mínimo de los obtenidos en las siguientes expresiones:

- Para placa delgada en corte simple:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0.4 f_{h,k} t_1 d & \text{(a)} \\ 1.5 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(b)} \end{cases} \quad (1.10)$$

- Para placa gruesa en corte simple:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(c)} \\ 2.3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(d)} \\ f_{h,k} t_1 d & \text{(e)} \end{cases} \quad (1.11)$$

- Para placa de acero de cualquier espesor como pieza central de una unión a cortadura doble:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{n,1,k} t_1 d & \text{(f)} \\ f_{h,1,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(g)} \\ 2.3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(h)} \end{cases} \quad (1.12)$$

- Para placas de acero delgadas como piezas exteriores de una unión a cortadura doble:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0.5 f_{h,2,k} t_2 d & \text{(j)} \\ 1.15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(k)} \end{cases} \quad (1.13)$$

- Para placas de acero gruesas como piezas exteriores en una unión a cortadura doble:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0.5 f_{h,2,k} t_2 d & \text{(l)} \\ 2.3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(m)} \end{cases} \quad (1.14)$$

Donde:

$F_{v,Rk}$ es el valor característico de la capacidad de carga por plano de cortadura y por medio de fijación.

$F_{h,k}$ es el valor característico de la resistencia al aplastamiento en la pieza de madera.

t_1 es el menor valor entre el espesor de la pieza lateral de madera y la profundidad de penetración.

t_2 es el espesor de la pieza central de madera.

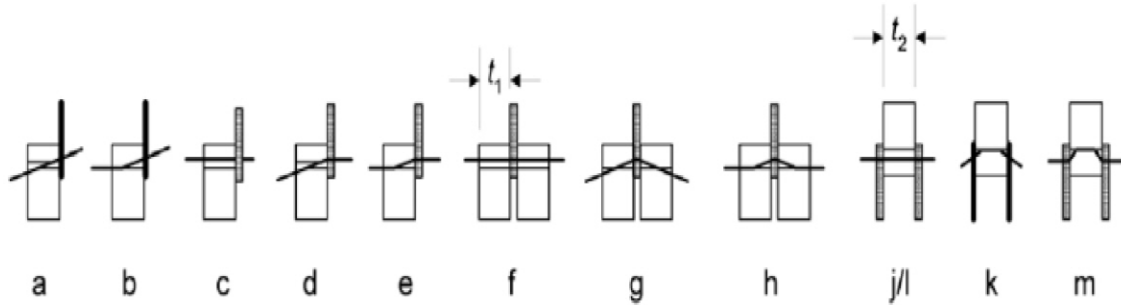
d es el diámetro del medio de fijación.

$M_{y,Rk}$ es el valor característico del momento plástico del medio de fijación.

$F_{ax,Rk}$ es el valor característico de la capacidad de arranque del medio de fijación.

NOTA 1 – Los diferentes modos de fallo se muestran en la Ilustración 3.

Ilustración 9 Modos de falla para uniones de acero-madera



d. Se aplican las limitaciones del efecto sogá en $F_{ax, Rk}$ indicadas en el párrafo (2) del apartado B.1 Uniones madera-madera y tablero-madera.

e. Debe tenerse en cuenta que la capacidad de carga de las uniones de acero-madera con una testa cargada puede quedar reducida por un fallo perimetral del grupo de medios de fijación. (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006)

C. Uniones clavadas

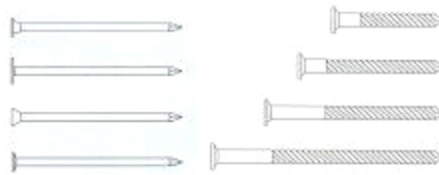
Se han desarrollado diferentes tipos de ensamblajes en los últimos años entre ellos nuevos tipos de clavos y asociados con placas metálicas que generan ensamblajes más seguros. El medio tradicional de ensamblaje es el clavo liso, clavos con roscas de mayor resistencia a la tensión. Los clavos constituyen el sistema más común de los elementos entramados de madera, generalmente se utilizan como conexión estructural sin considerar su factor de apariencia con excepción de los casos de revestimiento y acabado. Como los clavos se sujetan por fricción contra el arranque se debe utilizar únicamente cuando trabajen con cargas de extracción, por lo que se recomienda que se fijen oblicuamente y que los esfuerzos de arranque se reduzcan al mínimo. Los clavos desempeñan una mejor unión cuando trabajan con esfuerzos laterales.

<< Por lo general las uniones clavadas son las más económicas y son muy usadas en especial para viviendas y edificaciones pequeñas construidas en base a entramados. Los

clavos se fabrican en un amplio intervalo de tamaños y formas según el uso que se quiera dar. Varían en un tamaño desde las pequeñas tachuelas a gigantes escarpas. Los clavos se clavan con un martillo, sin embargo para clavar muchos clavos, actualmente se cuenta con una gran variedad de dispositivos mecánicos para clavar.

Todas las especies del grupo estructural C y muchas del grupo B pueden clavarse fácilmente, sobre todo cuando la madera se encuentra en condición verde; las maderas más densas y/o secas son por lo general más difíciles de clavar. Si se clavan maderas del grupo estructural A es conveniente hacer un pre-taladro con un diámetro del orden de 0.8 veces el diámetro del clavo del clavo, esto es a menos que se usen clavos de alta resistencia, clavados mediante dispositivos mecánicos especiales. Se debe tomar en cuenta que cualquier unión debe tener como mínimo dos clavos.>> (Rubi, Diseño de Uniones de madera, 2009).

Ilustración 10 Clavo lis y clavo con rosca

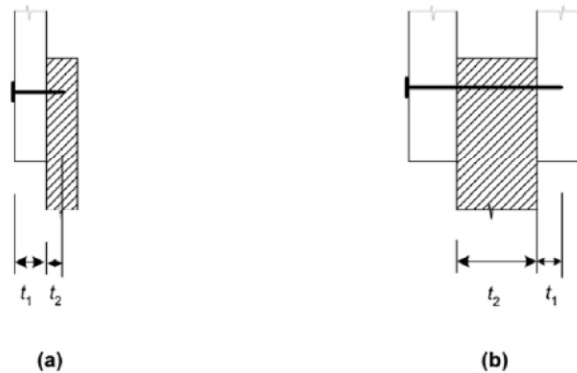


La nomenclatura para los gruesos en uniones de cortadura simple y doble (ver Ilustración 5) se define a continuación:

T1 – En cortadura simple es la sección pegada a la cabeza del clavo, y en cortadura doble es la sección más pequeña entre la pieza de la punta y la sección pegada a la cabeza del clavo.

T2 – En cortadura simple es la sección pegada a la punta que realiza una penetración, en cortadura doble es la sección del medio en las uniones. (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006)

Ilustración 11 Definición de t_1 y t_2 (a) unión corte simple, (b) unión corte doble



1. Clavos con carga lateral

a. Se debe realizar un pretaladro en la madera cuando:

- La densidad de la madera es mayor que 500 kg/m^3 ;
- el diámetro “d” del clavo es mayor a 8 mm.

b. En los clavos de sección cuadrada o ranurada, se debería tomar como diámetro del clavo d la dimensión del lado de la sección.

c. Para clavos lisos fabricados de alambre con una resistencia mínima a tracción de 600 N/mm^2 , se deben realizar los siguientes cálculos para determinar el momento plástico:

$$M_{y,Rk} = \begin{cases} 0.3f_u d^{2,6} & \text{para clavos de sección circular} \\ 0.45f_u d^{2,6} & \text{para clavos de sección cuadrada y ranurados} \end{cases} \quad (1.15)$$

Donde:

- $M_{y,Rk}$ es el valor característico del momento plástico, en Nmm;
- d es el diámetro del clavo definido según la Norma Europea EN 14592, en mm;
- f_u es la resistencia a tracción del alambre, en N/mm^2 .

d. Para clavos con un diámetro hasta 8 mm, se determina el valor de la resistencia al aplastamiento en madera y madera microlaminada (LVL):

Sin pretaladros:

$$f_{h,k} = 0.082\rho_k d^{-0.3} \text{ N/mm}^2 \quad (1.16)$$

– Con pretaladros:

$$f_{h,k} = 0.082(1 - 0.01d)\rho_k \text{ N/mm}^2 \quad (1.17)$$

Donde:

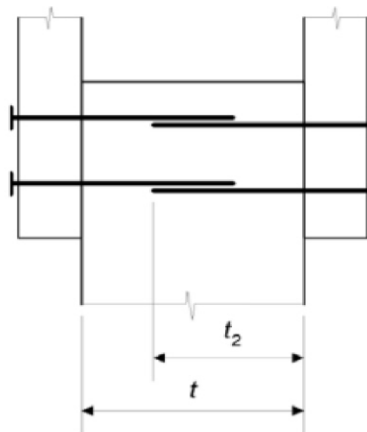
ρ_k es el valor de la densidad de la madera, en kg/m³;

d es el diámetro del clavo, en mm.

e. Para clavos con diámetros superiores a 8 mm, se determina el valor de la resistencia al aplastamiento de los pernos, que se define en la sección E (uniones con pernos).

f. Para uniones de tres piezas, los clavos se pueden solapar en la pieza central si y solo si $(t-t_2)$ es mayor que $4d$ (ver Ilustración 6).

Ilustración 12 Clavos solapados



g. En una fila de n clavos colocados paralelamente a la dirección de la fibra, con la excepción en que los clavos de esa fila estén distribuidos al tresbolillo con una separación perpendicular a la fibra de mínimo $1d$ (ver Ilustración 7), la capacidad de la carga paralela a la fibra debe calcularse utilizando el numero eficaz de medios de fijación n_{ef} , donde:

$$n_{ef} = n^{k_{ef}} \quad (1.18)$$

Donde:

N_{ef} es el número eficaz de clavos en la fila.

n es el número de clavos en una fila.

K_{ef} se define en la Tabla 1.

Tabla 1 Valores de K_{ef}

Separación	K_{ef}	
	Sin pretaladro	Con pretaladro
$a_1 \geq 14 d$	1.0	1.0
$a_1 \geq 10 d$	0.85	0.85
$a_1 \geq 7 d$	0.7	0.7
$a_1 \geq 4 d$	-	0.5
Para separaciones intermedias, se permite la interpolación lineal K_{ef}		

Ilustración 13 Clavo en una fila paralela a la fibra distribuidos al tresbolillo con una separación perpendicular a la fibra igual a d



1 Clavo

2 Dirección de la fibra

h. Como mínimo debe haber dos clavos en una unión.

2. Uniones clavadas madera-madera

a. Para los clavos lisos la longitud de la punta debe penetrar mínimo una longitud de 8d.

b. Para otros tipos de clavos que no sean lisos la longitud de la punta debe penetrar mínimo 6d, como se define en la Norma Europea EN 14592.

c. Los clavos colocados en la testa no deben considerarse con capacidad de transmitir cargas laterales.

d. Como alternativa al párrafo anterior, para clavos en la testa se aplican las siguientes reglas:

- Se pueden colocar clavos lisos en estructuras secundarias, pero los valores para el cálculo de la capacidad de carga deben considerarse igual a 1/3 del valor para los clavos colocados perpendicularmente a la dirección de la fibra.
- Para los clavos que no sean lisos, según la definición de la Norma Europea EN 14592, se pueden utilizar en estructuras que no sean secundarias, pero los valores para el cálculo de la capacidad de carga se deben considerar 1/3 del valor correspondiente a un clavo liso con diámetro equivalente colocado perpendicularmente a la fibra, siempre y cuando:
 - Los clavos únicamente estén cargados lateralmente.
 - La unión tenga un mínimo de 3 clavos.
 - La longitud de penetración en la punta sea de mínimo 10d.
 - Se cumplan las separaciones y distancias a los bordes establecidas en la Tabla 1.2.
 - La unión no esté expuesta a condiciones de servicio 3.

NOTA – Una pieza clavada a las testas de los pares como remate, se puede considerar como una estructura secundaria.

e. Las separaciones y distancias a los bordes y a la testa mínimas se especifican en la Tabla 2, donde (ver Ilustración 8):

- a1 es la separación entre los clavos de una fila, medida en dirección paralela a la fibra;
- a2 es la separación entre las filas de clavos, medida en dirección perpendicular a la fibra;
- a3,c es la distancia entre el clavo y la testa no cargada;
- a3,t es la distancia entre el clavo y la testa cargada;
- a4,c es la distancia entre el clavo y el borde no cargado;
- a4,t es la distancia entre el clavo y el borde cargado;
- α es el ángulo entre la dirección de la fuerza y la dirección de la fibra.

Tabla 2 Separación mínima a los bordes y a la testa para los clavos

Separación o distancia (ver Ilustración 8)	Ángulo α	Separación o distancias mínimas a la testa o al borde		
		Sin pretaladro		Con pretaladro
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
Separación a1 (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	D < 5 mm: (5+5 cos α) d D \geq 5 mm: (5+7 cos α) d	(7+8 cos α) d	(4 + sen α) d
Separación a2 (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	5d	7 d	(3 + sen α) d
Distancia a3,t (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	(10 + 5 cos α) d	(15 + 5 cos α) d	(7 + 5 cos α) d
Distancia a3,c (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	10 d	15 d	7 d
Distancia a4,t (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	D < 5 mm: (5 + 2 sen α) d D \geq 5 mm: (5 + 5 sen α) d	D < 5 mm: (7 + 2 sen α) d D \geq 5 mm: (7 + 5 sen α) d	D < 5 mm: (3 + 2 sen α) d D \geq 5 mm: (3 + 4 sen α) d
Distancia a4,c (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	5 d	7 d	3 d

f. Se debe pretaladrar la madera si el espesor de la pieza de madera es menor

a:

$$t = \text{máx.} \left\{ \begin{array}{l} 7d \\ (13d - 30) \frac{\rho_k}{400} \end{array} \right. \quad (1.19)$$

Donde:

t es el espesor mínimo de la pieza de madera que no requiere pretaladrado, en mm.

ρ_k es el valor característico de la densidad, en kg/m³.

d es el diámetro del clavo, en mm.

g. La madera sensible a la hienda se debe pretaladrar cuando el espesor de la pieza de madera es menor a:

$$t = \text{máx.} \left\{ \begin{array}{l} 14d \\ (13d - 30) \frac{\rho_k}{200} \end{array} \right. \quad (1.20)$$

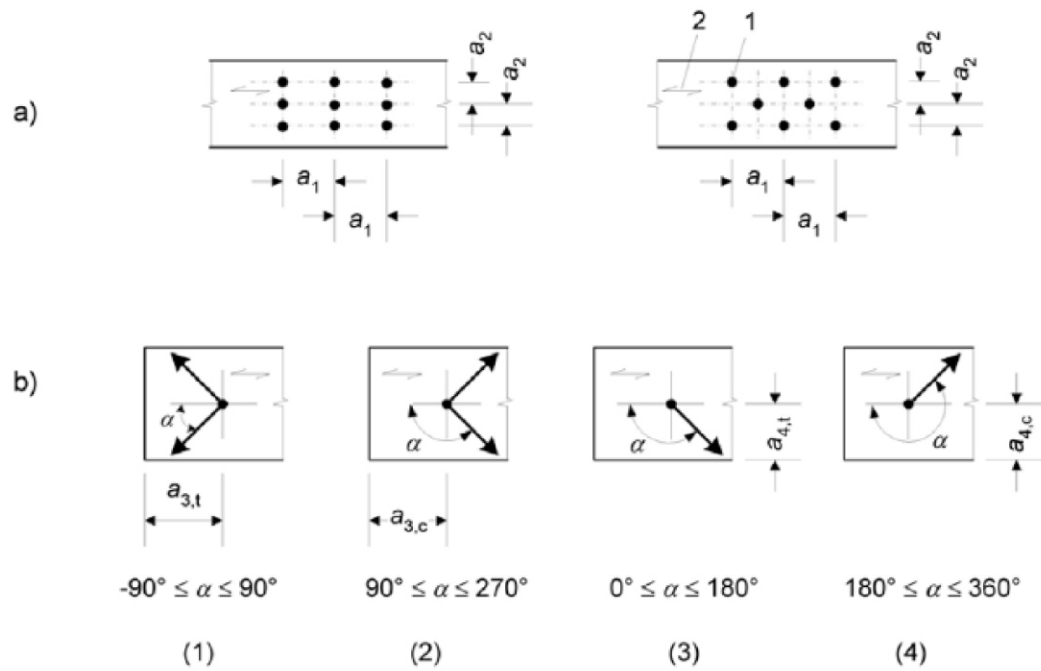
La expresión (1.20) puede sustituirse por la expresión (1.19) para distancias a los bordes dadas por:

$$a_4 \geq 10 d \quad \text{para } \rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$$

$$a_4 \geq 14 d \quad \text{para } 420 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3.$$

NOTA – El abeto, pino oregón, y el falso abeto son ejemplos de especies sensibles a la hienda, para los cuales se pueden tomar las consideraciones establecidas en la sección C.2.G

Ilustración 14 Separación y distancias a la testa y a los bordes (a) Separación paralela a la fibra en un fila y perpendicular a la fibra entre filas, (b) Distancia al borde y a la testa



- | | |
|----------------------|-------------------------|
| (1) Testa cargada | (4) Borde no cargado |
| (2) Testa no cargada | 1 medio de fijación |
| (3) Borde cargado | 2 Dirección de la fibra |

3. Uniones clavadas tablero-madera

a. Para toda unión clavada tablero-madera la separación mínima se debe consultar en la Tabla 1.2, y multiplicarla por un factor de 0.85. Las distancias a la testa/borde para los clavos permanecen sin modificaciones a menos de que se establezca más adelante.

b. La distancia mínima al borde y a la testa en una pieza de tablero contrapachado se debe tomar como $3d$ para un borde o testa no cargado, y $(3 + 4 \operatorname{sen} \alpha) d$ para un borde o testa cargado, en donde α es el ángulo entre la dirección de la carga y el borde cargado.

c. Para clavos con un diámetro de cabeza menor de $2d$, el valor de la resistencia al aplastamiento se obtiene de la siguiente expresión:

- Para tableros contrachapados:

$$f_{h,k} = 0.11\rho_k d^{-0.3} \quad (1.21)$$

Donde:

$f_{h,k}$ es el valor característico de la resistencia al aplastamiento, en N/mm².

ρ_k es el valor característico de la densidad del tablero contrachapado, en kg/m³.

d es el diámetro del clavo, en mm.

- Para tableros de fibras duros de según la Norma Europea EN 622-2:

$$f_{h,k} = 30d^{-0.3}t^{0.6} \quad (1.22)$$

Donde:

$f_{h,k}$ es el valor característico de la resistencia al aplastamiento, en N/mm².

d es el diámetro del clavo, en mm.

t es el espesor del tablero, en mm.

- Para tableros de partículas y de virutas orientadas (OSB):

$$f_{h,k} = 65d^{-0.7}t^{0.1} \quad (1.23)$$

Donde:

$f_{h,k}$ es el valor característico de la resistencia al aplastamiento, en N/mm².

d es el diámetro del clavo, en mm.

t es el espesor del tablero, en mm.

4. Uniones clavadas acero-madera.

En relación a las distancias mínimas a los bordes y a la testa se aplica lo indicado en la Tabla 2, Las separaciones mínimas entre clavos son las definidas en la Tabla 2, multiplicadas por un factor de 0.7.

5. Clavos con carga axial

a. Los clavos lisos no se deben utilizar para resistir cargas de duración larga o permanente.

b. Para los clavos corrugados únicamente se debe tomar en cuenta la parte corrugada para transmitir carga axial.

c. Los clavos en la testa se consideran incapaces de transmitir carga axial.

d. El valor de la capacidad de carga para arrancar un clavo F_{ax} , R_k , con el clavo perpendicular a la fibra (ver Ilustración 9 (a)) y para los clavos con ángulo (ver Ilustración 9 (b)), se debe tomar el mínimo valor obtenido de las siguientes expresiones:

- Para clavos diferentes a los clavos lisos, como se definen en la Norma Europea EN 14592:

$$F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,h} d t_{pen} & \text{(a)} \\ f_{head,k} d_h^2 & \text{(b)} \end{cases} \quad (1.24)$$

- Para clavos lisos:

$$F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,h} d t_{pen} & \text{(a)} \\ f_{ax,k} d t + f_{head,k} d_h^2 & \text{(b)} \end{cases} \quad (1.25)$$

Donde:

- $f_{ax,k}$ es la resistencia al arranque en la pieza de punta.
 $f_{head,k}$ es la resistencia al punzonamiento de la cabeza del clavo.
 d es el diámetro del clavo de acuerdo con el apartado C (Uniones Clavadas)
 t_{pen} es la longitud de penetración en la pieza de punta o la longitud de la parte corrugada en la pieza de punta.
 t es el espesor de la pieza de cabeza.
 d_h es el diámetro de la cabeza del clavo.

e. Las resistencias $f_{ax,k}$ y $f_{head,k}$ debe determinarse mediante ensayos de acuerdo con las Normas Europeas EN 1382, EN 1383 y EN 14358 a menos de que se determine con las siguientes ecuaciones.

f. En clavos lisos con una penetración en la pieza de punta de al menos $12d$, las resistencias al arranque y al punzonamiento de la cabeza deben obtenerse mediante las expresiones siguientes:

$$f_{ax,k} = 20 \times 10^{-6} \rho_k^2 \quad (1.26)$$

$$f_{head,k} = 70 \times 10^{-6} \rho_k^2 \quad (1.27)$$

Donde:

ρ_k es el valor característico de la densidad de la madera, en kg/m³.

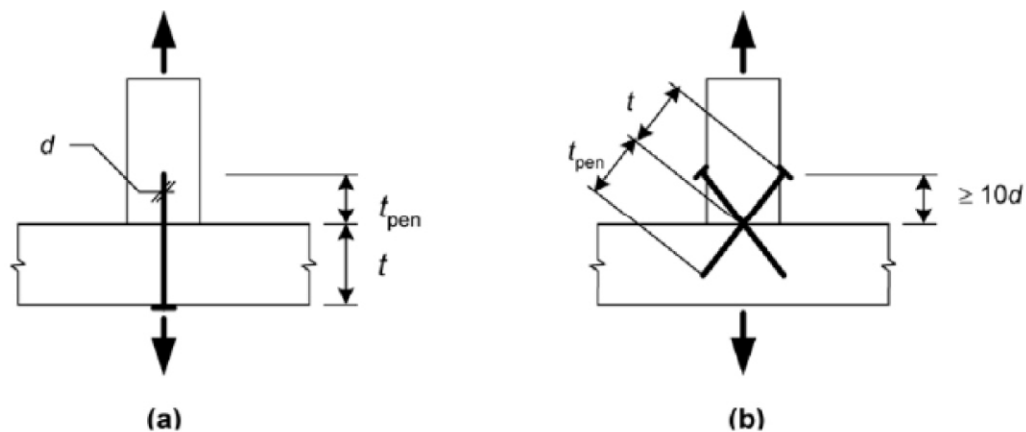
g. En clavos lisos, la penetración en la pieza de punta, t_{pen} , debe ser al menos $8d$. En clavos con una penetración en la pieza de punta inferior a $12d$, la capacidad de arranque debe multiplicarse por $(t_{pen}/4d - 2)$. En clavos corrugados, la penetración en la pieza de punta debe ser al menos $6d$. En clavos con una penetración en la pieza de punta inferior a $8d$, la capacidad de arranque debe multiplicarse por $(t_{pen}/2d - 3)$.

h. En el caso de madera estructural que se instale en o cerca del punto de saturación de las fibras, y que probablemente vaya a secarse bajo carga, los valores de $f_{ax,k}$ y $f_{head,k}$ debe multiplicarse por $2/3$.

i. Las separaciones, las distancias a la testa y al borde para clavos con carga lateral son de aplicación a los clavos de carga axial.

j. En los clavos oblicuos, la distancia al borde cargado debe ser al menos $10d$ (ver Ilustración 9 (b)). Al menos, debería haber dos clavos oblicuos en una unión.

Ilustración 15 (a) Clavado perpendicular a la fibra (b) Clavado oblicuo



6. Clavos sometidos a una combinación de carga lateral y axial. En uniones sometidas a una combinación de carga axial ($F_{ax, Ed}$) y carga lateral ($F_{v, Ed}$) se deben cumplir las condiciones siguientes:

- En clavos lisos:

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \quad (1.28)$$

- En clavos que no sean lisos, como se definen en la Norma Europea EN 14592:

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1 \quad (1.29)$$

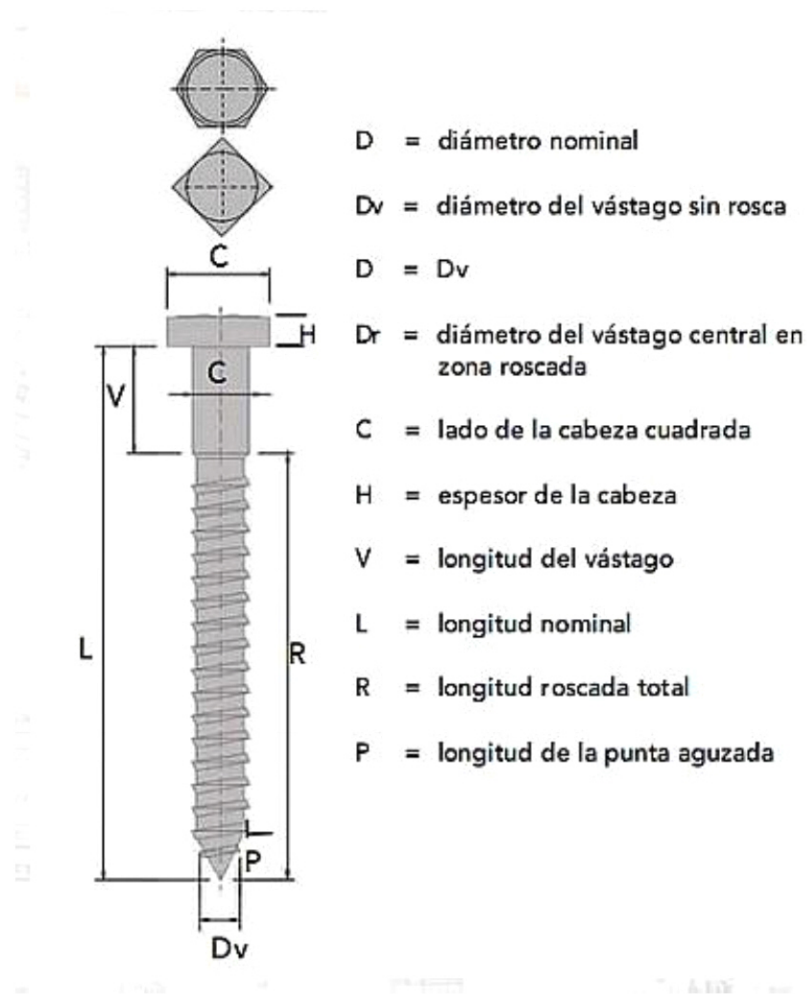
Donde:

$F_{ax, Rd}$ y $F_{v, Rd}$ son los valores de cálculo de las capacidades de carga de la unión cargada con la carga axial o la carga lateral respectivamente.

D. Uniones con tirafondos

Un tirafondo es un elemento de unión intermedio entre el tornillo para madera y el perno: es un tornillo con rosca cónica, por lo general de mayor tamaño y con la cabeza cuadrada o hexagonal. Se utiliza en sitios donde es difícil colocar un perno o donde la cabeza de un tornillo en la superficie no se vea muy estética. La norma española se aplica a tirafondos sometidos a extracción directa y a extracción lateral en cizalle de una unión con dos elementos.

Ilustración 16 Tirafondo



1. Tirafondos con carga lateral

a. Se debe tomar en cuenta para la determinación de la capacidad de carga el efecto de la parte roscada del tirafondo, utilizando un diámetro eficaz d_{ef} .

b. Para tirafondos de caña lisa donde el diámetro exterior de la rosca es igual al diámetro de la caña, se aplican las reglas indicadas en la sección B Capacidad de carga lateral y medios de fijación de tipo pasador, siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- El diámetro eficaz d_{ef} es igual al diámetro de la caña lisa.

- La caña lisa penetre en la pieza que contiene la punta del tirafondo mínimo una longitud de $4d$.

c. Si las condiciones definidas anteriormente no se cumplen, se debe determinar la capacidad de carga del tirafondo utilizando el diámetro eficaz def igual al diámetro interior de la parte roscada multiplicado por un factor de 1.1.

d. Para tirafondos de caña lisa con un diámetro $d > 6$ mm, se deben aplicar las reglas que se definen en la sección E Uniones con pernos, Pernos con carga lateral.

e. Para tirafondos de caña lisa con un diámetro menor o igual a 6 mm, se deben aplicar las reglas que se definen en la sección C Uniones clavadas, Clavos con carga lateral.

2. Tirafondos con carga axial

a. Para determinar la capacidad de carga con tirafondos con carga axial se deben evaluar los siguientes modos de fallo:

- la capacidad de carga al arranque de la parte roscada del tirafondo.
- La resistencia a tracción del tirafondo.
- La resistencia al punzonamiento de la cabeza del tirafondo.
- Para combinación de tirafondos con placas de acero, la capacidad de arranque de la cabeza del tirafondo debe ser mayor a la resistencia de tracción del tirafondo.
- Para tirafondos combinados con placas de acero, se debe evaluar el corte que rodea la circunferencia de los tirafondos.

b. Los valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes para los tirafondos con carga axial deben tomarse de la Tabla 3.

Tabla 3 Valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes para tirafondos con carga axial

Tirafondos introducidos	Separación mínima	Distancia mínima al borde
Con ángulo recto respecto a la fibra	4 d	4 d
En la testa	4 d	2.5 d

c. La longitud mínima de penetración de la parte roscada en la pieza de punta debe ser $6d$.

d. La capacidad de arranque de las uniones con tirafondos con carga axial se determina como:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef}(\pi dl_{ef})^{0.8} f_{ax,\alpha,k} \quad (1.29)$$

Donde:

$f_{ax,\alpha,Rk}$ es la capacidad de carga al arranque de la unión con un ángulo α respecto a la fibra.

n_{ef} es el número eficaz de tirafondos;

d es el diámetro exterior medido en la parte roscada;

l_{ef} es la longitud de penetración en la pieza de punta de la parte roscada menos un diámetro del tirafondo;

$f_{ax,\alpha,k}$ es el valor característico de la resistencia al arranque con un ángulo α respecto a la fibra.

e. La resistencia al arranque con un ángulo α respecto a la fibra se determina como:

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1.5 \cos^2 \alpha} \quad (1.30)$$

con

$$f_{ax,k} = 3.6 \times 10^{-3} \rho_k^{1.5} \quad (1.31)$$

Donde:

$F_{ax, \alpha, k}$ es el valor de la resistencia al arranque con un ángulo α respecto a la fibra.
 $F_{ax, k}$ es el valor de la resistencia al arranque perpendicular a la fibra;
 ρ_k es la densidad, en kg/m³.

NOTA – Los modos de falla en el acero o en la madera cercana al tirafondo tienen una deformación última, por lo tanto son frágiles y por lo tanto una limitada redistribución de tensiones.

f. La capacidad al punzonamiento en la cabeza del tirafondo se debe determinar mediante ensayos, según la Norma Europea EN 1383.

g. En una unión con varios tirafondos cargados con una fuerza en conjunto y paralela a la caña, se debe determinar el número eficaz de tirafondos con la siguiente expresión:

$$n_{ef} = n^{0.9} \quad (1.32)$$

Donde:

n_{ef} es el número eficaz de tirafondos.
 n es el número de tirafondos que actúan en conjunto en una unión.

3. **Tirafondos cargados con una combinación de carga lateral y axial.** Para uniones con tirafondos sometidos a una combinación de carga axial y carga lateral, se debe cumplir la condición (1.29).

E. Uniones grapadas

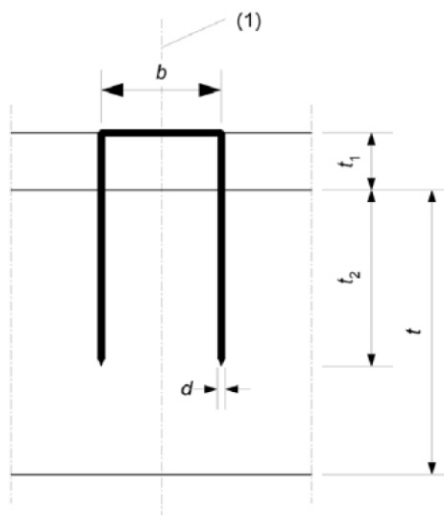
Las grapas son piezas metálicas de alambre que sirven para sujetar o realizar empalmes de alta resistencia en correas transportadoras de servicio pesado, las grapas tienen en sus extremos dobleces en forma de U, sus patas suelen estar afiladas en la punta, la sección del perfil puede ser rectangular, cuadrada y ovalada. La grapa está formada por un cuerpo central (corona), y por dos verticales, denominados patas.

1. Las reglas definidas en la sección C Uniones Clavadas, excepto el párrafo e y f establecidos en la sección C.1 Clavos con carga lateral y el párrafo g establecido en la sección C.2 Uniones clavadas madera-madera. Se pueden aplicar a grapas redondas, casi redondas, o a grapas rectangulares con puntas biseladas o simétricas y agudas.

2. Para grapas con secciones transversales rectangulares, el diámetro d debe ser igual a la raíz cuadrada del producto de ambos lados.

3. El ancho b de la corona de la grapa debe ser mínimo $6d$, y la longitud de penetración en la punta t_2 , debe ser mínimo $14d$, ver Ilustración 11.

Ilustración 17 Dimensiones de la grapa



(1) Centro de la grapa

4. Debe haber mínimo dos grapas por unión.

5. La capacidad de carga lateral por grapa y por plano de corte se debe considerar equivalente a dos clavos con el diámetro de la grapa, siempre que el ángulo entre la corona y la dirección de la fibra de madera bajo la corona sea mayor a 30° , ver Ilustración 12. Si el ángulo entre la corona y la dirección de la fibra es menor o igual a 30° , la capacidad de carga lateral se debe multiplicar por un factor de 0,7.

6. Si las grapas son fabricadas con un alambre de una resistencia mínima a tracción de 800 N/mm^2 , se debe determinar el momento plástico de cada pata con la siguiente ecuación:

$$M_{y,Rk} = 240d^{2.6} \quad (1.33)$$

Donde:

$M_{y,Rk}$ es el valor característico del momento plástico, en Nmm.

d es el diámetro de la pata de la grapa, en mm.

7. Para una fila con n grapas paralelas a la fibra, la capacidad de carga en esa dirección se determina utilizando el número eficaz de medios de fijación n_{ef} , de acuerdo al párrafo h establecido en la sección C.1 Clavos con carga lateral

8. Los valores mínimos de la separación y la distancia a los bordes y a las testas se determinan en la Tabla 4, y se pueden ver en la Ilustración 12 donde Θ es el ángulo entre la corona de la grapa y la dirección de la fibra.

Ilustración 18 Definición de las separaciones en las grapas

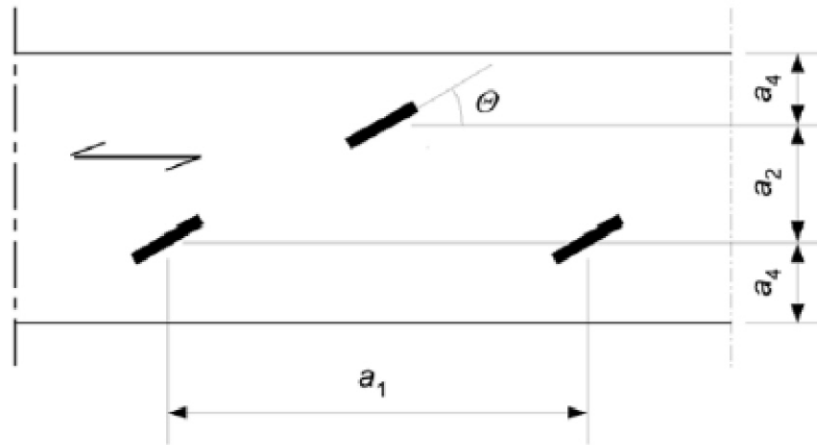


Tabla 4 Valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes y a las testas en las grapas

Separación y distancias al borde/testa (ver ilustración 8)	ángulo	Separación o distancia mínima al borde/testa
A1 (paralela a la fibra) Para $\theta \geq 30^\circ$ Para $\theta < 30^\circ$	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(10 + 5 \cos \alpha) d$ $(15 + 5 \cos \alpha) d$
A2 (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	15 d
A3,t (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(15 + 5 \cos \alpha) d$
A3,c (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	15 d
A4,t (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(15 + 5 \sin \alpha) d$
A3,t (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	10 d

F. Uniones con pernos

<<Las uniones con pernos son uniones desmontables de tipo puntal. El perno constituye uno de los medios de unión más antiguo y usados pese a que la capacidad de transmisión de carga en la relación al consumo de acero es bastante reducida. En el funcionamiento de una unión pernada se producen tres fases distintas en la transmisión de fuerzas:

- a) En un comienzo, y especialmente para pernos fuertemente apretados la unión trabaja por roce. Luego los pernos se ubican continuos a la madera presionando las paredes de los agujeros.
- b) Esta presión que inicialmente es uniforme en su distribución sobre la superficie del agujero, con el aumento de la carga se desuniformiza debido al efecto flector que se produce en el perno, generándose concentraciones localizadas de tensiones en los bordes de la madera. El perno deformado se incrusta en la madera.
- c) Finalmente, esta deformación del perno es tal que los corrimientos que ha experimentado la unión superan ampliamente las deformaciones admisibles en uniones estructurales.

Para efectos de cálculo las uniones apernadas se considera la segunda fase. Las uniones con pernos deben realizarse de manera que exista contacto efectivo entre las piezas unidas. Si el contenido de humedad es alto, al efectuarse el montaje de la estructura en cuestión deberán hacerse inspecciones a intervalos no superiores a seis meses hasta verificar que los movimientos por contracciones han dejado de ser significativos. En cada inspección deben apretarse los elementos de unión hasta lograr un contacto efectivo entre las caras de las piezas unidas. Además se recomienda que todos los elementos metálicos utilizados con madera húmeda tengan un tratamiento anticorrosivo.

Las uniones apernadas son particularmente eficientes con maderas de los grupos estructurales A y B, pero puede utilizarse con maderas del grupo C. Cuando se utilicen piezas metálicas de unión, los agujeros correspondientes en las piezas de madera, se colocará una arandela entre la cabeza o la tuerca del elemento de unión y la madera para evitar esfuerzos de aplastamiento excesivos. Las arandelas podrán omitirse cuando la cabeza o la tuerca del elemento se apoyen directamente sobre una placa de acero. Las cargas admisibles están basadas en resultados de ensayos efectuados a uniones con pernos según la norma ASTM D 1767 – 74, sometidos a doble cizallamiento. Estos resultados corresponden a 46 especies, con uniones cargadas paralelamente al grano o en dirección perpendicular al gran del elemento central y con relaciones entre el espesor del elemento central y el diámetro del perno.>> (Rubi, Diseño de Uniones de madera, 2009)

1. Pernos con carga lateral

a. Al utilizar pernos se debe determinar el momento plástico con la siguiente expresión:

$$M_{y,Rk} = 0.3f_{u,k}d^{2.6} \quad (1.34)$$

Donde:

$M_{y,Rk}$ es el momento plástico, en Nmm;
 $F_{u,k}$ es la resistencia a tracción, en N/mm²;
 d es el diámetro del perno, en mm.

b. Para pernos con diámetros de hasta 30 mm, se debe utilizar el siguiente valor de la resistencia al aplastamiento en madera y madera microlaminada (LVL), con un ángulo α respecto a la dirección de la fibra:

$$f_{h,a,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90}\sin^2\alpha + \cos^2\alpha} \quad (1.35)$$

$$f_{h,0,k} = 0.082(1 - 0.01d)\rho_k \quad (1.36)$$

Donde:

$$k_{90} = \begin{cases} 1.35 + 0.015d & \text{para coníferas} \\ 1.30 + 0.015d & \text{para maderas microlaminada (LVL)} \\ 0.90 + 0.015d & \text{para frondosas} \end{cases} \quad (1.37)$$

Y

$f_{h,0,k}$ es el aplastamiento paralelo a la fibra, en N/mm²;

ρ_k es la densidad de la madera, en kg/m³;

α es el ángulo formado entre la dirección de la carga y la fibra;

d es el diámetro del perno, en mm.

c. La separación y la distancia a los bordes o testas mínima se obtiene de la Tabla 5, con la simbología de la Ilustración 8.

Tabla 5 Valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes y a las testas para los pernos

Separación y distancias al borde/testa	Ángulo	Separación o distancia mínima
A1 (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) d$
A2 (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	4 d
A3,t (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	Máx. (7 d. 80 mm)
A3,c (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	Máx. [(1 + 6 sen α) d, 4d]
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	4 d
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	Máx. [(1 + 6 sen α) d, 4d]
A4,t (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	Máx. [(2 + 2 sen α) d, 3d]
A4,c (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	3 d

d. Para una fila de n pernos paralela a la dirección de la fibra, la capacidad de carga paralela a la fibra, ver el párrafo d de la sección A.3 secciones con múltiples medios de fijación, se debe calcular utilizando el número eficaz de pernos en donde n_{ef} se determina según la siguiente expresión:

$$n_{ef} = \min \left\{ n, n^{0.94} \sqrt{\frac{a_1}{13d}} \right\} \quad (1.38)$$

Donde:

- a_1 es la separación entre pernos en la dirección de la fibra.
- d es el diámetro del perno.
- n es el número de pernos en la fila.

Para cargas perpendiculares a la fibra, el número eficaz de medios de fijación debe determinarse según la siguiente expresión:

$$n_{ef} = n \quad (1.39)$$

Para ángulos $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ entre la carga y la dirección de la fibra, n_{ef} puede determinarse mediante una interpolación lineal entre las expresiones (1.38) y (1.39). (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006)

2. Uniones con pernos entre tablero y madera

a. Para el tablero contrachapado, se debe utilizar el siguiente valor de la resistencia al aplastamiento en N/mm^2 , para cualquier ángulo con la dirección de la fibra:

$$f_{h,k} = 0.11(1 - 0.01d)\rho_k \quad (1.40)$$

Donde:

ρ_k es el valor característico de la densidad del tablero contrachapado, en kg/m³;

d es el diámetro del perno, en mm.

b. Para tableros de partículas y tableros de virutas orientadas (OSB), se debe utilizar el siguiente valor de la resistencia al aplastamiento en N/mm², para cualquier ángulo con la dirección de la fibra:

$$f_{h,k} = 50d^{-0.6}t^{0.2} \quad (1.41)$$

Donde:

d es el diámetro del perno, en mm;

t es el espesor del tablero, en mm.

(Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006)

3. Uniones con pernos entre acero y madera. Se deben aplicar las reglas ya establecidas en la sección B.2 Uniones acero-madera. (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006)

4. Pernos con carga axial

a. La capacidad de carga axial y la capacidad de arranque de un perno se debe tomar del mínimo valor obtenido de los siguientes:

- la capacidad de tracción del perno;
- la capacidad de carga de anclaje de la arandela o (para uniones acero-madera) la placa metálica.

b. La capacidad de carga de anclaje de una arandela se debe determinar suponiendo un valor de resistencia a compresión en el área de contacto igual a $3,0 f_{c,90,k}$.

c. La capacidad de carga de anclaje por perno en una placa metálica no debe exceder la capacidad de carga de una arandela circular con un diámetro determinado del mínimo de las siguientes dos condiciones:

- $12t$, donde t es el espesor de la placa;
- $4d$, donde d es el diámetro del perno.

(Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006)

G. Uniones con pasadores

1. Para los tipos de pasadores descritos en la sección B, se aplican las reglas ya determinadas en la sección F.1 Pernos con carga lateral con excepción del párrafo C, la separación y la distancia a los bordes o testas mínima.
2. El diámetro del pasador debe ser mayor a 6 mm y menor de 30 mm.
3. Los valores mínimos de las separaciones y las distancias a los bordes y a las testas se determinan según la tabla 6, usando la simbología representada en la Ilustración 8.

Tabla 6 Valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes y a las testas para pasadores

Separación y distancias al borde/testa	Ángulo	Separación o distancia mínima
A1 (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3 + 2 \cos \alpha) d$
A2 (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	3 d
A3,t (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	Máx. (7 d, 80 mm)
A3,c (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	Máx. ($a_{3,t} \sin \alpha d$, 3d)
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	3 d
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	Máx. ($a_{3,t} \sin \alpha d$, 3d)
A4,t (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	Máx. [(2 + 2 $\sin \alpha$) d, 3d]
A4,c (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	3 d

(Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006)

H. Uniones con placas metálicas dentadas (placas-clavos)

Se entiende por placa dentada, uniones a base de placas de pequeño calibre en las que la transferencia de carga se efectúa por medio de dientes formados en las placas o por medio de clavos. Las placas deben ser de lámina galvanizada con las propiedades mínimas indicadas en la Norma NMX-B-009 “Láminas de acero al carbón galvanizadas por el proceso de inmersión en caliente para uso general”.

Se debe indicar correctamente si se trata de una unión con clavos o con dientes. También se debe considerar que la placa no se debe deformar durante su instalación, que los dientes sean perpendiculares a la superficie de madera, y que la madera bajo las placas no tenga defectos ni uniones de cola.

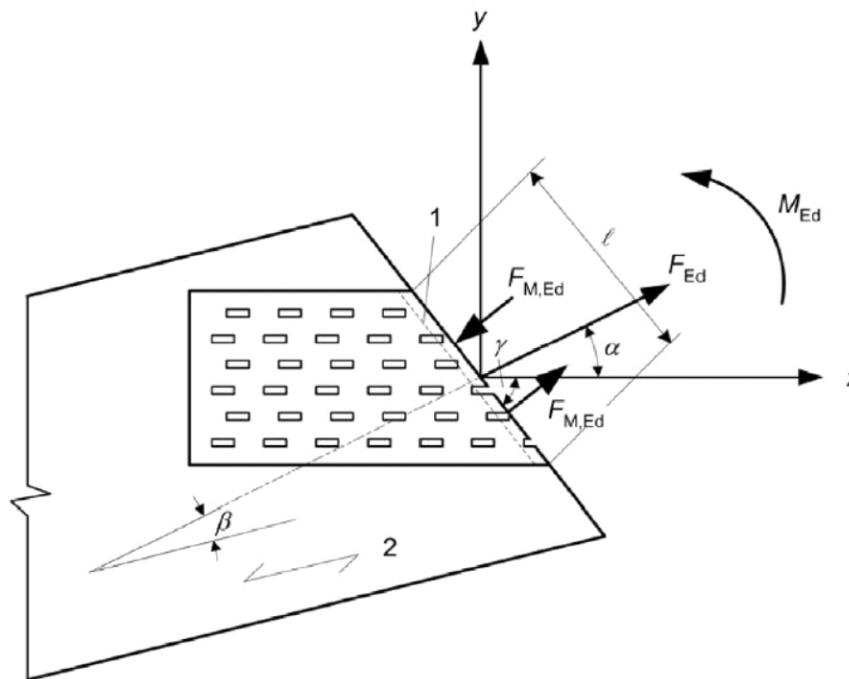
- Las uniones con placas metálicas dentadas deben estar compuestas de placas metálicas dentadas del mismo tipo, tamaño y orientación, situadas a cada lado de las piezas de madera.
- Las reglas siguientes se aplican únicamente a las placas clavo metálicas con dos direcciones ortogonales.
- El grosor mínimo de los miembros unidos debe ser el doble de la penetración de los dientes.

(Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006)

1. **Geometría de la placa.** Los símbolos utilizados para definir la geometría de una unión con placas metálicas dentadas se indican en la Ilustración 13 y se definen a continuación:

- Dirección x dirección principal de la placa;
- Dirección y perpendicular a la dirección principal de la placa;
- α ángulo entre la dirección x y la fuerza (tracción: $0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$, compresión: $90^\circ \leq \alpha < 180^\circ$);
- β ángulo entre la dirección de la fibra y la fuerza.
- γ ángulo entre la dirección x y la línea de la unión.
- A_{ef} área de la superficie total de contacto entre la placa y la madera, reducida en 5 mm en los bordes de la madera y en una distancia en la dirección de la fibra a partir de la testa de la madera igual a 6 veces el espesor nominal del herraje;
- l dimensión de la placa medida a lo largo de la línea de la unión.

Ilustración 19 Geometría de una unión con placas metálicas dentadas cargadas con una fuerza F_{Ed} y un momento M_{Ed}



- 1 Borde del área eficaz
- 2 Dirección de la fibra

(Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006)

2. Propiedades de resistencia de la placa. Deben conocerse los valores característicos de la placa para las siguientes propiedades, determinados de acuerdo con la Norma Europea EN 14545 a partir de ensayos realizados de acuerdo con la Norma Europea EN 1075:

$f_a, 0, 0$	la capacidad de anclaje por unidad de área para $\alpha = 0^\circ$ y $\beta = 0^\circ$.
$f_a, 90, 90$	la capacidad de anclaje por unidad de área para $\alpha = 90^\circ$ y $\beta = 90^\circ$.
$f_t, 0$	la capacidad de tracción por unidad de anchura de la placa para $\alpha = 0^\circ$.
$f_c, 0$	la capacidad de compresión por unidad de anchura de la placa para $\alpha = 0^\circ$.
$f_v, 0$	la capacidad de cortante por unidad de anchura de la placa en la dirección x.
$f_t, 90$	la capacidad de tracción por unidad de anchura de la placa para $\alpha = 90^\circ$.
$f_c, 90$	la capacidad de compresión por unidad de anchura de la placa para $\alpha = 90^\circ$.
$f_v, 90$	la capacidad de cortante por unidad de anchura de la placa en la dirección y.
k_1, k_2, α_0	constantes.

3. Resistencia de anclaje de la placa. La resistencia de anclaje por placa $f_{a, \alpha, \beta, k}$ debe obtenerse por ensayos o por cálculo a partir de las siguientes ecuaciones:

$$f_{a, \alpha, \beta, k} = \max \left\{ \begin{array}{l} f_{a, \alpha, 0, k} - (f_{a, \alpha, 0, k} - f_{a, 90, 90, k}) \frac{\beta}{45^\circ} \\ f_{a, \alpha, \beta, k} - (f_{a, 0, 0, k} - f_{a, 90, 90, k}) \sin(\max(\alpha, \beta)) \end{array} \right. \quad \text{para } \beta \leq 45^\circ, 0 \quad (1.42)$$

$$f_{a, \alpha, \beta, k} = f_{a, 0, 0, k} - (f_{a, 0, 0, k} - f_{a, 90, 90, k}) \sin(\max(\alpha, \beta)) \quad \text{para } 45^\circ \leq \beta \leq 90^\circ \quad (1.43)$$

La resistencia de anclaje por placa paralela a la fibra debe obtenerse a partir de la siguiente ecuación:

$$f_{a, \alpha, 0, k} \begin{cases} f_{a, 0, 0, k} + k_1 \alpha & \text{si } \alpha \leq \alpha_0 \\ f_{a, 0, 0, k} + k_1 \alpha_0 + k_2 (\alpha - \alpha_0) & \text{si } \alpha_0 < \alpha \leq 90^\circ \end{cases} \quad (1.44)$$

Las constantes k_1 , k_2 , y α_0 deben determinarse a partir de ensayos de anclaje de acuerdo con la Norma Europea EN 1075 y obtenidos de acuerdo con el procedimiento indicado en la Norma Europea EN 14545, para el tipo de placa concreto.

4. Comprobación de la resistencia de la unión

a. Capacidad de anclaje de la placa

(1) La tensión de anclaje $T_{F,d}$ en una placa metálica simple debida a una fuerza F_{Ed} , y el cálculo de la tensión de anclaje $T_{M,d}$, debido a un momento M_{Ed} , se determinan con las siguientes expresiones:

$$T_{F,d} = \frac{F_{A,Ed}}{A_{ef}} \quad (1.45)$$

$$T_{M,d} = \frac{M_{A,Ed}}{W_p} \quad (1.46)$$

$$W_p = \int_{A_{ef}} r \, dA \quad (1.47)$$

Donde:

$F_{A,Ed}$ es el valor de la fuerza que actúa sobre una placa simple en el centroide del área eficaz (la mitad de la fuerza de la fuerza total en la pieza de madera).

$M_{A,Ed}$ es el valor del momento que actúa sobre una placa simple en el centroide del área eficaz.

d_A es el diferencial del área de la placa metálica dentada.

r es la distancia desde el centro de la gravedad de la placa al elemento diferencial del área dA .

A_{ed} es el área eficaz de la placa.

(2) Como alternativa a la ecuación 1.47, W_p se puede aproximar de forma conservadora mediante la siguiente ecuación:

$$W_p = \frac{A_{ef}d}{4} \quad (1.48)$$

Con:

$$d = \sqrt{\left(\frac{A_{ef}}{h_{ef}}\right)^2 + h_{ef}^2} \quad (1.49)$$

Donde:

h_{ef} es la altura máxima del área eficaz de anclaje perpendicular al lado mas largo.

(3) La presión de contacto entre las piezas de madera puede tenerse en cuenta para reducir el valor de F_{Ed} en compresión siempre que la holgura entre las piezas tenga un valor medio que no sea superior a 1,5 mm y con un máximo de 3 mm, en esos casos la unión se debe determinar con un valor mínimo de fuerza de compresión igual a $F_{A,Ed}/2$.

(4) La presión de contacto entre las piezas de madera en los empalmes de los cordones de compresión puede tenerse en cuenta calculando la placa simple para un valor de cálculo de la fuerza $F_{A,Ed}$, y un valor del momento $M_{A,Ed}$, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$F_{A,Ed} = \sqrt{\left(\frac{F_{ed} \cos \beta}{2} - \frac{3|M_{Ed}|}{2h}\right)^2 + (F_{ed} \sin \beta)^2} \quad (1.50)$$

$$M_{A,Ed} = \frac{M_{Ed}}{2} \quad (1.51)$$

Donde:

F_{Ed} es el valor del axial en el cordón actuando sobre una placa simple (compresión o nulo).

M_{Ed} es el valor del momento en el cordón actuando sobre una placa simple.

H es la altura de la sección del cordón.

(5) Se debe cumplir la siguiente condición:

$$\left(\frac{T_{Fd}}{f_{a,\alpha,\beta,d}}\right)^2 + \left(\frac{T_{Md}}{f_{a,0,0,d}}\right)^2 \leq 1 \quad (1.52)$$

b. Capacidad de la placa

(1) Para cada interfase de la unión, las fuerzas en las dos direcciones principales deben obtenerse de las siguientes ecuaciones:

$$F_{x,Ed} = F_{Ed} \cos \alpha \pm 2F_{M,Ed} \sin \gamma \quad (1.53)$$

$$F_{y,Ed} = F_{Ed} \sin \alpha \pm 2F_{M,Ed} \cos \gamma \quad (1.54)$$

Donde:

F_{Ed} es el valor de la fuerza en una placa simple (la mitad de la fuerza total en la pieza de madera)

$F_{M,Ed}$ es el valor de la fuerza, como consecuencia del momento en una placa simple ($F_{M,Ed} = 2MEd/l$).

(2) Debe cumplirse la siguiente condición:

$$\left(\frac{F_{x,Ed}}{f_{x,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{y,Ed}}{f_{y,Rd}}\right)^2 \leq 1 \quad (1.55)$$

Donde:

$F_{x,Ed}$ y $F_{y,Ed}$ Son los valores de las fuerzas que actúan en las direcciones x e y, respectivamente.

$f_{x,Rd}$ y $f_{y,Rd}$ Son los valores correspondientes de las capacidades de carga de la placa. Se determinan a partir del máximo de los valores de las capacidades en secciones paralelas o perpendiculares a los ejes principales, basándose en las siguientes expresiones para los valores de las capacidades de las placas en esas direcciones.

$$F_{x,Rk} = \max. \begin{cases} |f_{n,0,k}| \sin(\gamma - \gamma_0 \sin(2\gamma)) \\ |f_{v,0,k}| \cos \gamma \end{cases} \quad (1.56)$$

$$F_{y,Rk} = \max. \begin{cases} |f_{n,90,k}| \cos \gamma \\ k |f_{v,90,k}| \sin \gamma \end{cases} \quad (1.57)$$

$$F_{N,0,k} = \begin{cases} f_{t,0,k} & \text{para } F_{x,Ed} > 0 \\ f_{c,0,k} & \text{para } F_{x,Ed} \leq 0 \end{cases} \quad (1.58)$$

$$F_{n,90,k} = \begin{cases} f_{t,90,k} & \text{para } F_{y,Ed} > 0 \\ f_{c,90,k} & \text{para } F_{y,Ed} \leq 0 \end{cases} \quad (1.59)$$

$$k = \begin{cases} 1 + k_v \sin(2\gamma) & \text{para } F_{x,Ed} > 0 \\ 1 & \text{para } F_{x,Ed} \leq 0 \end{cases} \quad (1.60)$$

Donde γ_0 y k_v son constantes determinados mediante ensayos de corte según la Norma Europea EN 1075 y obtenidos de acuerdo al procedimiento establecido en la Norma Europea EN 14545 para el tipo concreto de placa.

(3) Si la placa cubre más de dos líneas de unión en la pieza, las fuerzas en cada parte recta de la línea de unión se debe determinar de manera que se cumpla el equilibrio y que se cumpla la expresión 1.55, en cada parte recta de la línea de la unión, también es importante tomar en cuenta todas las secciones críticas. (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006)

I. Conectores de anillo y placa

1. En las uniones realizadas con conectores de anillo de tipo A o conectores de placa de tipo B según las Normas Europeas EN 912 y EN 14545, y con un diámetro no mayor de 200 mm, el valor de la capacidad de carga paralela a la fibra $F_{v,0,Rk}$ por conector y por plano de cortadura se debe calcular mediante la siguiente ecuación:

$$F_{v,0,Rk} = \min. \begin{cases} k_1 k_2 k_3 k_4 (35 d_c^{1,5}) \\ k_1 k_3 h_c (31,5 d_c) \end{cases} \quad (1.61)$$

Donde:

$F_{v,0,Rk}$ es el valor de la capacidad de carga paralela a la fibra, en N.

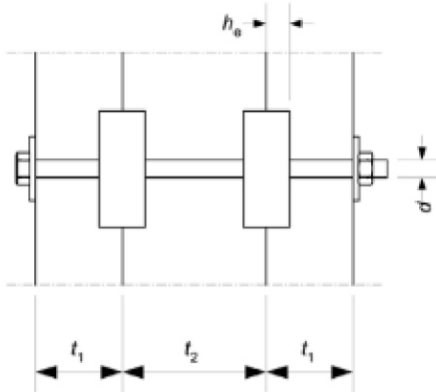
d_c es el diámetro del conector, en mm.

h_c es la profundidad de inserción, en mm.

k_i son factores de modificación, con $i = 1$ a 4, definidos más adelante.

2. El espesor mínimo de las piezas de madera exteriores debe ser igual a $2,25 h_c$ y el de la pieza interior debe ser igual a $3,75 h_c$, donde h_c es la profundidad de inserción, ver la Ilustración 14.

Ilustración 20 Dimensiones para las uniones con conectores de anillo y de placa



3. El factor k_1 debe tomarse de la siguiente ecuación:

$$k_1 = \min. \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{t_1}{3h_e} \\ \frac{t_2}{5h_e} \end{array} \right. \quad (1.62)$$

4. El factor k_2 se aplica al caso de testa cargada ($-30^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$) y debe tomarse de la siguiente ecuación:

$$k_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} k_a \\ \frac{a_{3,1}}{2d_c} \end{array} \right. \quad (1.63)$$

Donde:

$$k_a = \begin{cases} 1.25 & \text{para uniones con un conector por plano de cortadura} \\ 1.0 & \text{para uniones con más de un conector por plano de cortadura} \end{cases} \quad (1.64)$$

$a_{3,st}$ se muestra en la tabla 8

Para otros valores de α , $k_2 = 1.0$

5. El factor de k_3 de tomarse de la siguiente ecuación:

$$k_3 = \min \left\{ \frac{1.75}{\frac{\rho_k}{350}} \right\} \quad (1.65)$$

Donde ρ_k es el valor de la densidad de la madera en kg/m³.

6. El factor k_4 , que depende de los materiales conectados, debe tomarse de la siguiente condición:

$$k_4 = \begin{cases} 1.0 & \text{para uniones madera – madera} \\ 1.1 & \text{para uniones acero – madera} \end{cases} \quad (1.66)$$

7. En uniones con más de un conector por plano de cortadura cargados en una situación de testa no cargada ($150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$), la condición (a) de la ecuación 1.61 debe ser despreciada.

8. Para una fuerza con un ángulo α respecto a la dirección de la fibra, el valor de la capacidad de carga $F_{\alpha, Rk}$, por conector y por plano de corte, se debe determinar utilizando la siguiente ecuación:

$$F_{v,\alpha,Rk} = \frac{F_{v,0,Rk}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (1.67)$$

Con:

$$k_{90} = 1,3 + 0,001 d_c \quad (1.68)$$

Donde:

$F_{v,0,Rk}$ es la capacidad de carga del conector para una fuerza paralela a la fibra de acuerdo con la ecuación 1.61.

d_c es el diámetro del conector, en mm.

9. En la Tabla 7 se definen los valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes y a las testas, con los símbolos de la Ilustración 8.

Tabla 7 Valores mínimos de las separaciones de las distancias a los bordes y a las testas para conectores de anillo y de placa

Separación y distancias al borde/testa	Ángulo	Separación o distancia mínima
A1 (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1.2 + 0.8 \cos \alpha) d_c$
A2 (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1.2 d_c$
A3,t (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$1.5 d_c$
A3,c (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	$(0.4 + 1.6 \sen \alpha) d_c$
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$1.2 d_c$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0.4 + 1.6 \sen \alpha) d_c$
A4,t (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	Máx. [$(2 + 2 \sen \alpha) d, 3d$]
A4,c (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0.6 d_c$

10. Cuando los conectores se disponen desfasados al tresbolillo (ver Ilustración 14), las separaciones mínimas paralelas perpendiculares a la fibra deben cumplir con la siguiente condición:

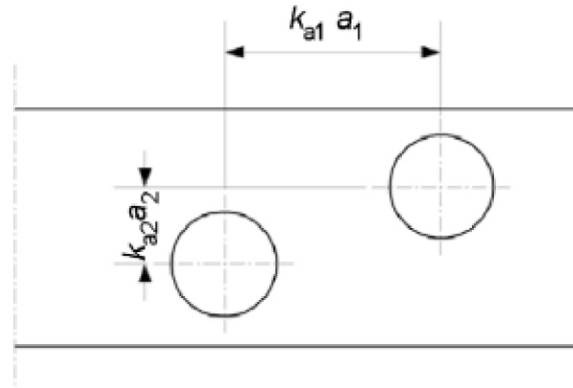
$$(k_{a1})^2 + (k_{a2})^2 \geq 1 \quad \text{con} \quad \begin{cases} 0 \leq k_{a1} \leq 1 \\ 0 \leq k_{a2} \leq 1 \end{cases} \quad (1.69)$$

Donde:

K_{a1} es un factor de reducción para la distancia mínima a1 paralela a la fibra.

K_{a2} es un factor de reducción para la distancia mínima a2 perpendicular a la fibra.

Ilustración 21 Distancias reducidas para los conectores



11. La separación paralela a la fibra $k_{a1} a_1$ puede reducirse al multiplicarla por un factor $k_{s, red}$, con $0.5 \leq k_{s, red} \leq 1.0$, siempre que la capacidad de carga se multiplique por un factor.

$$k_{R,red} = 0,2 + 0,8 k_{s,red} \quad (1.70)$$

12. Para una fila de conectores paralelos a la fibra, la capacidad de carga en esa dirección se debe determinar utilizando el número eficaz de conectores, n_{ef} donde:

$$n_{ef} = 2 + \left(1 - \frac{n}{20}\right) (n - 2) \quad (1.71)$$

Donde:

N_{ef} es el número eficaz de conectores:

n es el número de conectores en una línea paralela a la fibra.

13. Los Conectores deberán considerarse situados paralelos a la fibra $k_{a2} < 0,5 k_{a1} a_1$.

J. Conectores de placa dentada

1. El valor de la capacidad de carga de las uniones realizadas mediante conectores de placa dentada debe tomarse como la suma del valor de la capacidad de carga de los conectores por si mismos y de los pernos de conexión según la sección F Uniones con pernos.

2. El valor de la capacidad de carga $F_{v, Rk}$ por conector de placa dentada para los conectores de tipo C según las Normas Europeas EN 912 (de simple cara: tipos C2, C4, C7, C9, C11, de doble cara: tipo C1, C3, C5, C6, C8, C10) y EN 14545, se debe tomar igual a:

$$F_{v,Rk} \begin{cases} 18 k_1 k_2 k_3 d_c^{1,5} & \text{para los tipos de simple cara} \\ 25 k_1 k_2 k_3 d_c^{1,5} & \text{para los tipos de doble cara} \end{cases} \quad (1.72)$$

Donde:

$F_{v, Rk}$ Es el valor de la capacidad de carga por conector de placa dentada, en N.

K_i son los factores de modificación, con $i = 1$ a 3, definidos más adelante.

d_c es:

- el diámetro del conector de placa dentada, para los tipos C1, C2, C6, C7, C10 Y C11, en mm.
- La longitud del lado del conector de placa dentada, para los tipos C5, C8 y C9, en mm.
- La raíz cuadrada del producto de las dos longitudes de los lados, para los tipos C3 y C4, en mm.

3. Se aplica el párrafo b de la sección I Conectores de anillo y placa.

4. El factor k_1 debe determinarse igual a:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{t_1} \\ \frac{1}{3h_e} \\ \frac{1}{t_2} \\ \frac{1}{5h_e} \end{array} \right. \quad (1.73)$$

Donde:

T_1 es el espesor de la pieza latera.

T_2 es el espesor de la pieza central.

h_c es la penetración de los dientes, en mm.

5. El factor k_2 se debe determinar igual a:

Para los tipos C1 a C9:

$$k_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{a_{3,t}} \\ \frac{1}{1,5 d_c} \end{array} \right. \quad (1.74)$$

Con:

$$a_{3,t} = \text{máx.} \left\{ \begin{array}{l} 1,1 d_c \\ 7d \\ 80 \text{ mm} \end{array} \right. \quad (1.75)$$

Donde:

d es el diámetro del perno en mm.

d_c según lo definido anteriormente en el párrafo b.

Para los tipos C10 y C11:

$$k_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{a_{3,t}} \\ \frac{1}{2,0 d_c} \end{array} \right. \quad (1.76)$$

Con:

$$a_{3,t} = \text{máx.} \begin{cases} 1,5 d_c \\ 7d \\ 80 \text{ mm} \end{cases} \quad (1.77)$$

Donde:

- d es el diámetro del perno en mm.
 dc según lo definido en el párrafo b.

6. El factor k_3 debe tomarse igual a:

$$k = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \\ \frac{\rho}{350} \end{array} \right. \quad (1.78)$$

Donde ρ_k es el valor de la densidad de la madera, en kg/m^3 .

7. Para los conectores de placa dentada de tipos C1 a C9, los valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes y a las testas deben tomarse de la tabla 8, con los símbolos representados en la Ilustración 8.

8. Para los conectores de la placa dentada de tipos C10 y C11, los valores mínimos de las separaciones y de las testas deben tomarse de la Tabla 9, con los símbolos representados en la Ilustración 8.

9. Cuando los conectores de tipos C1, C2, C6 Y C7 de forma circular están colocados con un desfase al tresbolillo, se aplica el párrafo j de la sección I Conectores de anillo y placa.

Tabla 8 Valores mínimos de las separaciones y distancias a los bordes y a las testas para conectores de placa dentada de tipos C1 a C9

Separación y distancias al borde/testa (ver Ilustración 8)	Ángulo respecto a la fibra	Separación y distancias mínimas al borde/testa
A1 (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1.2 + 0.3 \cos \alpha) d_c$
A2 (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1.2 d_c$
A3,t (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$2.0 d_c$
A3,c (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	$(0.9 + 0.6 \sin \alpha) d_c$
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$1.2 d_c$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0.9 + 0.6 \sin \alpha) d_c$
A4,t (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0.6 + 0.2 \sin \alpha) d_c$
A4,c (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0.6 d_c$

Tabla 9 Valores de las separaciones y distancias a los bordes y a las testas para conectores de placa dentada de tipos C10 y C11

Separación y distancias al borde/testa (ver Ilustración 8)	Ángulo respecto a la fibra	Separación y distancias mínimas al borde/testa
A1 (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1.2 + 0.8 \cos \alpha) d_c$
A2 (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1.2 d_c$
A3,t (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$2.0 d_c$
A3,c (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	$(0.4 + 1.6 \sin \alpha) d_c$
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$1.2 d_c$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0.4 + 1.6 \sin \alpha) d_c$
A4,t (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0.6 + 0.2 \sin \alpha) d_c$
A4,c (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0.6 d_c$

K. Uniones coladas

Las uniones encoladas son uniones rígidas de efecto resistente superficial proveniente de acciones mecánicas y químicas. Su rigidez es tal que generalmente falla antes la madera vecina a la unión. Corresponden al medio de unión de maderas más nuevo y se proyecta el de mayores posibilidades para el futuro. Los pegamentos dieron origen a la construcción pegada de madera laminada. Las condiciones de fabricación deben ser precisas y sometidas a un control de calidad estricto.

Se debe utilizar únicamente pegamentos a base de resinas sintéticas cuando:

- Los elementos están directamente expuestos a la intemperie.
- Los elementos interiores como exteriores están expuestos a variaciones hidrométricas importantes.
- Los elementos están expuestos a temperaturas que puede llegar a 50 grados centígrados.

Los pegamentos que se usan por lo general son a base de resorcina o de melanina. Se utiliza resina epóxica para pegar elementos de madera mas gruesos o pegar madera con acero. Se debe controlar el grado de humedad de la madera y la compatibilidad entre el pegamento y los productos de preservación de la madera.

Los ensamblajes pegados producen uniones prácticamente indeformables. Existen varias formas de empalmar las piezas o láminas: los empalmes planos, los empalmes biselados o los empalmes dentados. Los empalmes planos se usan en elementos comprimidos ya que no presentan resistencia a la tensión.

Los empalmes biselados ofrecen una buena resistencia a la compresión como a la tensión, la resistencia aumenta cuando su inclinación disminuye. Los empalmes dentados se clasifican en corta y larga dentadura, la diferencia proviene que el aumento de la dentadura ofrece mayor área efectiva de empalme y consecuentemente mayor resistencia.

Sus principales ventajas se detallan a continuación:

- Posibilitan la ejecución de secciones de piezas no limitadas por las del material original.
- La efectividad de las secciones transversales compuestas encoladas es completa, no se producen corrimientos relativos entre los componentes.
- Facilita la industrialización en la producción, ya que se puede prefabricar.
- Permiten un consumo económico de la madera, con el uso de tablas y tablonés.
- Neutralizan las fallas naturales de la madera.
- Las uniones endentadas y en bisel permiten la construcción de uniones no visibles originando piezas de considerable longitud.
- Las estructuras encoladas poseen una alta resistencia al fuego, e incluso se puede determinar su resistencia al fuego, pero este tema no se tomará en cuenta para el desarrollo de esta tesis.
- Se materializan sin debilitar las piezas a unir como sucede con los otros medios de unión.
- La construcción de estructuras laminado encoladas permite solucionar óptimamente los requisitos estáticos arquitectónicos.
- Poseen excelente resistencia a los ataques químicos.
- Abren posibilidades de ampliación, reparación en obra, modificaciones y desmontajes sin grandes dificultades.

(Rubi, Diseño de Uniones de madera, 2009).

L. Ejemplos de aplicaciones reales

Ilustración 22 Viga de 26.50 metros de cubierta de piscina en Porto Moniz. Madeira. Portugal (2004)



Ilustración 23 Cercha lucernario tridimensional de 42m, madera microlaminada. Kerto soportando vigas de madera laminada de 20m. Tenerife



Ilustración 24 Cúpula de 50 metros de luz. Valladolid. Arquitectos Doblas & Fonseca.



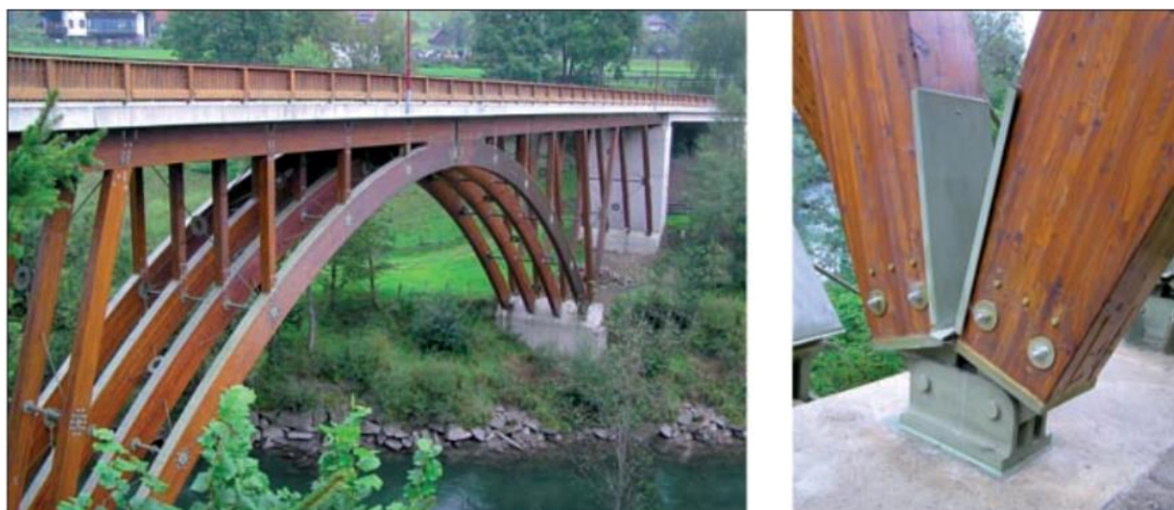
Ilustración 25 Conexión de placas de acero con pernos



Ilustración 26 Edificio residencial de 7 niveles. Berlin (2007)



Ilustración 27 Puente de Saint Georgen. Austria.



M. Problemas Resueltos.

1. **Unión con clavo de carpintero.** Se diseñó una unión clavada con clavo liso de sección circular, y con un diámetro menor a 8 mm, para una viga tipo T invertida de madera de pino con una longitud de 1.2m (4 pies).

En este caso particular como el diámetro es igual a 3 mm se aplicaran las reglas ya definidas en la sección C clavos con carga lateral. También se debe considerar que para uniones de madera – madera con clavo liso la longitud de penetración mínima de 8d.

Longitud de la viga = 1.2 m

Área transversal de la viga = 135.48 cm²

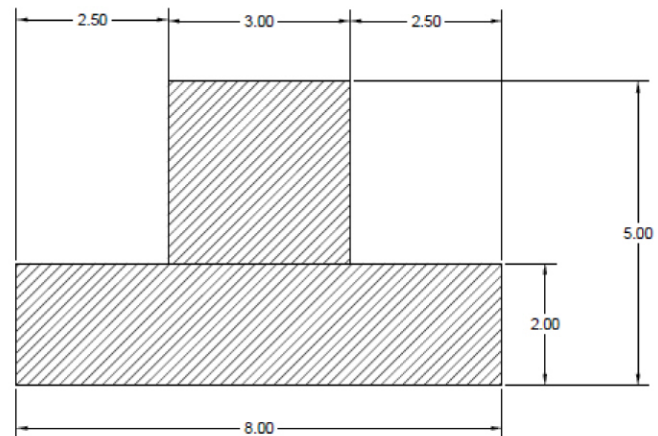
Inercia de la viga = 1458.30 cm⁴

Diámetro del clavo = 3 mm

Longitud de penetración = 76 mm

T1 = 50 mm

T2 = 26 mm



Los siguientes datos se asumen para el diseño

Axil de cálculo = 18,282 N fuerza de carga

$F_u = 200 \text{ N/mm}^2$ resistencia a tracción del alambre

$\rho_k = 560.8 \text{ kg/m}^3$ densidad de la madera

$\beta = 1$

La separación mínima paralela y perpendicular a la fibra se determinan de la Tabla 2.

$A_1 = (7 + 8 \cos \alpha) d = 45 \text{ mm}$ paralela a la fibra

$A_2 = 7d = 21 \text{ mm}$ perpendicular a la fibra

La resistencia al arranque de la punta del clavo se determina de la ecuación 1.26

$$f_{ax,k} = 20 \times 10^{-6} \rho_k^2 = 6.29 \text{ N.}$$

La resistencia al punzonamiento de la cabeza del clavo se determina de la ecuación 1.27

$$f_{head,k} = 70 \times 10^{-6} \rho_k^2 = 22.02 \text{ N}$$

El efecto de sogá se determina según la teoría de Johansen, se puede consultar en la página 16. Como en la unión se utilizan clavos de sección circular se considera la contribución a la capacidad de carga de un 15%.

La resistencia al aplastamiento va cambiando según el tipo de madera, tablero, o unión. En este caso particular se diseñó la conexión de madera – madera con pretaladro se determina de la ecuación 1.17

$$f_{h,k} = 0.082 \rho_k d^{-0.3} = 44.61 \text{ N/mm}^2$$

Momento plástico del medio de fijación se determina dependiendo del tipo de conector se va a utilizar, en este caso al ser un clavo de sección circular se utiliza la ecuación 1.34:

$$M_{y,RK} = 0.3 f_u d^{2.6} \text{ Nmm} = 1043.92 \text{ N.mm}$$

La capacidad de carga se determinar escogiendo el valor mínimo de las siguientes condiciones, tomando el efecto de la sogá, para la capacidad de arranque.

- a) $44.61 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 50 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} = 6,690.96 \text{ N}$
- b) $44.61 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 26 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} = 3,479.30 \text{ N}$
- c) $\frac{6.690.96 \text{ N}}{1+1} \left[\sqrt{1 + 2(1)^2 \left[1 + \frac{26 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} + \left(\frac{26 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} \right)^2 \right]} + 1 \right]^3 \left(\frac{26 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} \right)^2 - 1 \left(1 + \frac{26 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} \right) \right] + \frac{6.29 \text{ N} (0.15)}{4} = 2,283.67 \text{ N}$
- d) $1.05 \frac{6.690.96 \text{ N}}{2+1} \left[\sqrt{2(1)(1+1) + \frac{4(1)(2+1) 1,043.92 \text{ Nmm}}{(44.61 \text{ N/mm}^2 (3 \text{ mm}) 50 \text{ mm}^2)} - 1} \right] + \frac{6.29 \text{ N} (0.15)}{4} = 7,478.90 \text{ N}$
- e) $1.05 \frac{3,479.30 \text{ N}}{2+1} \left[\sqrt{2(1)^2(1+1) + \frac{4(1)(2+1) 1,043.92 \text{ Nmm}}{(44.61 \text{ N/mm}^2 (3 \text{ mm}) 25 \text{ mm}^2)} - 1} \right] + \frac{6.29 \text{ N} (0.15)}{4} = 7,478.90 \text{ N}$

$$f) \quad 1.15 \sqrt{\frac{2(1)}{1+1}} \sqrt{2 \left(1,043.92 \text{ Nmm} \right) \left(44.61 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) (3 \text{ mm}) + \frac{6.29 \text{ N} (0.15)}{4}} = 608.10 \text{ N}$$

El valor mínimo es el de la condición (f), 608.10 N.

Con el valor de la capacidad de carga por clavo, y el axial de cálculo se determina el número de clavos necesarios para realizar una conexión efectiva con clavos.

$$\text{Cantidad de Clavos por fila} = \frac{\text{Axial de Calculo}}{\text{Capacidad de carga}} = \frac{18,282 \text{ N}}{608.10 \text{ N}} = 30$$

Como es un número par, no se agrega un clavo más. El número eficaz de clavos se determina de la ecuación 1.32, basándose en un valor k_{ef} obtenido de la Tabla 1 de la página 24.

Tabla 1 Valores de K_{ef}

Separación	K_{ef}	
	Sin pretaladro	Con pretaladro
$a_1 \geq 14 d$	1.0	1.0
$a_1 \geq 10 d$	0.85	0.85
$a_1 \geq 7 d$	0.7	0.7
$a_1 \geq 4 d$	-	0.5
Para separaciones intermedias, se permite la interpolación lineal K_{ef}		

$$k_{ef} = 1$$

$$n_{ef} = n^{k_{ef}} = 30$$

Ilustración 28 Viga unida con clavo de carpintero



Ilustración 29 Ensayo de Viga unida con clavo de carpintero



Ilustración 30 Fallo de viga unida con clavo de carpintero



Tabla 10 Resultados unión con clavos de carpintero

Esfuerzo (PSI)	Carga Puntual (lb)	δ Viga (mm)	ϵ Unitaria
0	0.00	0	0.00000
300	368.16	5	0.00410
600	736.31	10	0.00820
900	1,104.47	15	0.01230
1,200	1,472.62	18	0.01475
1,500	1,840.78	21	0.01721
1,800	2,208.93	27	0.02213
2,100	2,577.09	33	0.02705
2,400	2,945.24	37	0.03033
2,600	3,190.68	45	0.03689
2,800	3,436.12	60	0.04918

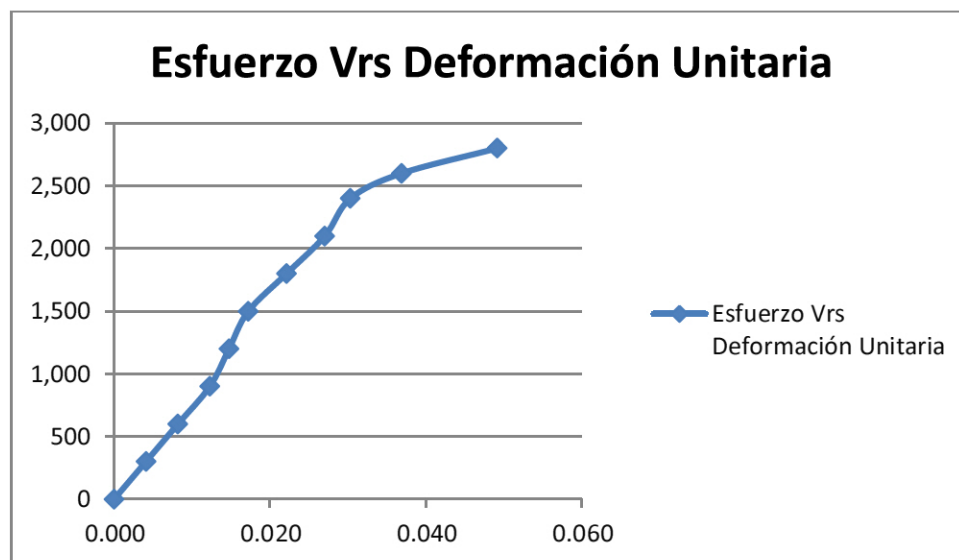
$$\delta \text{ Viga} = \frac{PL^3}{48EI} \quad \sigma = \frac{P}{A}$$

La carga puntual aplicada de falla fue de 1561.87 kg (3,436.12 lb).

El E de la viga obtenido es de 1,022.94 MPa.

σ longitudinal obtenido es de 1,129 MPa (163.62 lb/in²)

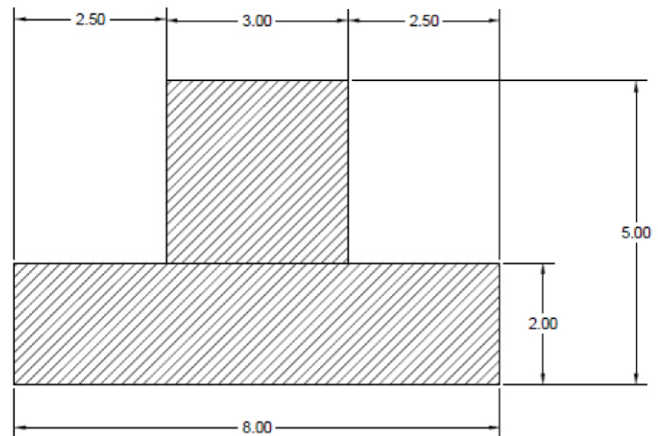
Ilustración 31 Gráfica esfuerzo vrs deformación unitaria unión con clavo de carpintero



2. **Unión con clavo acerado.** Se diseñó una unión clavada con clavo liso de sección circular, y con un diámetro menor a 8 mm, para una viga tipo T invertida de madera de pino con una longitud de 1.2m (4 pies).

En este caso particular como el diámetro es igual a 4 mm se aplicaran las reglas ya definidas en la sección C clavos con carga lateral. También se debe considerar que para uniones de madera – madera con clavo liso la longitud de penetración mínima de $8d$.

Longitud de la viga = 1.20 m
 Área transversal de la viga = 135.48 cm^2
 Inercia de la viga = 1458.30 cm^4
 Diámetro del clavo = 4.00 mm
 Longitud de penetración = 76.00 mm
 $T1 = 50.00$ mm
 $T2 = 26.00$ mm



Los siguientes datos se asumen para el diseño

Axial de cálculo = 18,282 N fuerza de carga
 $F_u = 330 \text{ N/mm}^2$ resistencia a tracción del alambre
 $\rho_k = 560.8 \text{ kg/m}^3$ densidad de la madera
 $\beta = 1$

La separación mínima paralela y perpendicular a la fibra se determinan de la Tabla 2.

$A1 = (7 + 8 \cos \alpha) d = 45$ mm paralela a la fibra
 $A2 = 7d = 21$ mm perpendicular a la fibra

La resistencia al arranque de la punta del clavo se determina de la ecuación 1.26

$$f_{ax,k} = 20 \times 10^{-6} \rho_k^2 = 6.29 \text{ N.}$$

La resistencia al punzonamiento de la cabeza del clavo se determina de la ecuación 1.27

$$f_{head,k} = 70 \times 10^{-6} \rho_k^2 = 22.02 \text{ N}$$

Como en la unión se utilizan clavos de sección circular se considera la contribución a la capacidad de carga de un 15%.

La resistencia al aplastamiento va cambiando según el tipo de madera, tablero, o unión. En este caso particular se diseñó la conexión de madera – madera con pretaladro se determina de la ecuación 1.17

$$f_{h,k} = 0.082\rho_k d^{-0.3} = 44.15 \text{ N/mm}^2$$

Momento plástico del medio de fijación se determina dependiendo del tipo de conector se va a utilizar, en este caso al ser un clavo de sección circular se utiliza la ecuación 1.34:

$$M_{y,RK} = 0.3 f_u d^{2.6} \text{ Nmm} = 3,639.08 \text{ N. mm}$$

La capacidad de carga se determinar escogiendo el valor mínimo de las siguientes condiciones, tomando el efecto de la sogá, para la capacidad de arranque.

- a) $44.15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 50 \text{ mm} \times 4 \text{ mm} = 8,830.00 \text{ N}$
- b) $44.15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 26 \text{ mm} \times 4 \text{ mm} = 4,591.60 \text{ N}$
- c) $\frac{8,830.00 \text{ N}}{1+1} \left[\sqrt{1 + 2(1)^2 \left[1 + \frac{26 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} + \left(\frac{26 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} \right)^2 \right]} + 1 \right]^3 \left(\frac{26 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} \right)^2 - 1 \left(1 + \frac{26 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} \right) \right] + \frac{6.29 \text{ N} (0.15)}{4} = 3,013.43 \text{ N}$
- d) $1.05 \frac{8,830.00 \text{ N}}{2+1} \left[\sqrt{2(1)(1+1) + \frac{4(1)(2+1) 3,639.08 \text{ Nmm}}{(44.15 \text{ N/mm}^2 (4 \text{ mm}) 50 \text{ mm}^2)} - 1} \right] + \frac{6.29 \text{ N} (0.15)}{4} = 10,242.93 \text{ N}$
- e) $1.05 \frac{4,591.24 \text{ N}}{2+1} \left[\sqrt{2(1)^2(1+1) + \frac{4(1)(2+1) 3,639.08 \text{ Nmm}}{(44.15 \text{ N/mm}^2 (4 \text{ mm}) 25 \text{ mm}^2)} - 1} \right] + \frac{6.29 \text{ N} (0.15)}{4} = 5,792.96 \text{ N}$
- f) $1.15 \sqrt{\frac{2(1)}{1+1}} \sqrt{2 \left(3,639.08 \text{ Nmm} \right) \left(44.15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) (4 \text{ mm})} + \frac{6.29 \text{ N} (0.15)}{4} = 1,303.96 \text{ N}$

El valor mínimo es el de la condición (f), 1,303.96 N.

Con el valor de la capacidad de carga por clavo, y el axial de cálculo se determina el número de clavos necesarios para realizar una conexión efectiva con clavos.

$$\text{Cantidad de Clavos por fila} = \frac{\text{Axial de Calculo}}{\text{Capacidad de carga}} = \frac{18,282 \text{ N}}{1,303.96 \text{ N}} = 14$$

Como es un número par, se deja la cantidad de clavos igual. El número eficaz de clavos se determina de la ecuación 1.32, basándose en un valor k_{ef} obtenido de la Tabla 1 de la página 24.

Tabla 1 Valores de K_{ef}

Separación	K_{ef}	
	Sin pretaladro	Con pretaladro
$a_1 \geq 14 d$	1.0	1.0
$a_1 \geq 10 d$	0.85	0.85
$a_1 \geq 7 d$	0.7	0.7
$a_1 \geq 4 d$	-	0.5
Para separaciones intermedias, se permite la interpolación lineal K_{ef}		

$$k_{ef} = 1$$

$$n_{ef} = n^{k_{ef}} = 14$$

Ilustración 32 Viga unida con clavo acerado



Ilustración 33 Fallo de viga con clavo acerado



Tabla 11 Resultados unión clavos acerados

Esfuerzo (PSI)	Carga Puntual (lb)	δ Viga (mm)	ϵ Unitaria
0	0.00	0	0.00000
300	368.16	5	0.00410
600	736.31	10	0.00820
900	1,104.47	13	0.01066
1,200	1,472.62	17	0.01393
1,500	1,840.78	23	0.01885
1,800	2,208.93	27	0.02213
2,100	2,577.09	37	0.03033
2,200	2,699.81	50	0.04098
2,300	2,822.52	55	0.04508

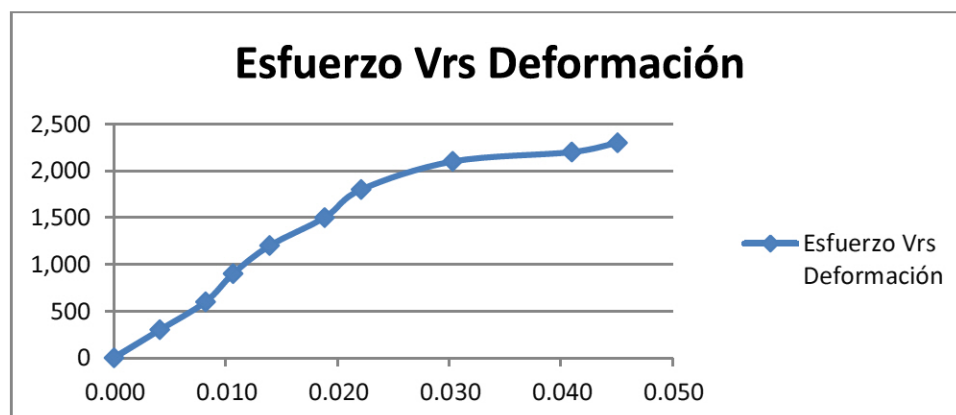
$$\delta \text{ Viga} = \frac{PL^3}{48EI} \quad \sigma = \frac{P}{A}$$

La carga puntual aplicada de falla fue de 1282.97 kg (2822.52 lb).

El E de la viga obtenido es de 916.66 MPa.

σ longitudinal obtenido es de 927.40 MPa (134.41 lb/in²)

Ilustración 34 Gráfica esfuerzo vrs deformación unitaria unión con clavo acerado



3. Uniones con tirafondo Xpac. Se diseñará una unión con tirafondos con un diámetro menor o igual a 6 mm, para aplicar las reglas que se definen en la sección C Uniones clavadas, clavos con carga lateral, para una viga con área transversal cuadrada de madera de pino con una longitud de 1.2m (4 pies).

En este caso particular como el diámetro es igual a 4 mm por lo tanto la longitud mínima de penetración debe ser igual a 4d, establecida en la sección D.1. Párrafo b, tirafondos con carga lateral.

Longitud de la viga = 1.20 m

Área transversal de la viga = 58.06 cm²

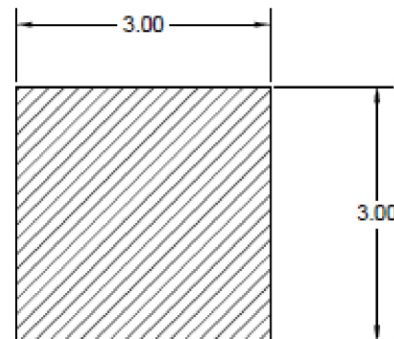
Inercia de la viga = 281.25 cm⁴

Diámetro del tirafondo = 4.00 mm

Longitud de penetración = 76.20 mm

T1 = 38.10 mm

T2 = 38.10 mm



Los siguientes datos se asumen para el diseño

Axial de cálculo = 19,620 N fuerza de carga

Fu = 400 N/mm² resistencia a tracción del alambre

pk = 560.80 kg/m³ densidad de la madera

$\beta = 1$

La separación mínima paralela y perpendicular a la fibra se determinan de la Tabla 3.

La resistencia al arranque de la punta del clavo se determina de la ecuación 1.31

$$f_{ax,k} = 3.6 \times 10^{-3} \rho_k^{1.5} \quad 469.02 \text{ N/mm}^2$$

Como en la unión se utilizan tirafondos se considera la contribución a la capacidad de carga de un 100%.

Resistencia al aplastamiento se determinó a partir de la ecuación con pretaladro 1.17

$$f_{h,k} = 0.082(1 - 0.01d)\rho_k = 44.15 \text{ N/mm}^2$$

Momento plástico del medio de fijación se determina dependiendo del tipo de conector se va a utilizar, en este caso al ser un clavo de sección circular se utiliza la ecuación 1.34:

$$M_{y,RK} = 0.3 f_u d^{2.6} \text{ Nmm} = 4,411.00 \text{ N. mm}$$

La capacidad de carga se determina escogiendo el valor mínimo de las siguientes condiciones, tomando el efecto de la sogá, para la capacidad de arranque.

- a) $44.15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 38.10 \text{ mm} \times 4.00 \text{ mm} = 6,727.93 \text{ N}$
- b) $44.15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 38.10 \text{ mm} \times 4.00 \text{ mm} = 6,727.93 \text{ N}$
- c) $\frac{6,727.93 \text{ N}}{1+1} \left[\sqrt{1 + 2(1)^2 \left[1 + \frac{38.10 \text{ mm}}{38.10 \text{ mm}} + \left(\frac{38.10 \text{ mm}}{38.10 \text{ mm}} \right)^2 \right]} + 1 \right]^3 \left(\frac{38.10 \text{ mm}}{38.10 \text{ mm}} \right)^2 - 1 \left(1 + \frac{38.10 \text{ mm}}{38.10 \text{ mm}} \right) \right] + \frac{469.02 \text{ N} (1)}{4} = 2,904.06 \text{ N}$
- d) $1.05 \frac{6,727.93 \text{ N}}{2+1} \left[\sqrt{2(1)(1+1) + \frac{4(1)(2+1) 4,411 \text{ Nmm}}{(44.15 \text{ N/mm}^2 (4 \text{ mm}) 38.10 \text{ mm}^2)} - 1} \right] + \frac{469.02 \text{ N} (1)}{4} = 8,251.64 \text{ N}$
- e) $1.05 \frac{6,727.93 \text{ N}}{2+1} \left[\sqrt{2(1)^2(1+1) + \frac{4(1)(2+1) 4,411.00 \text{ Nmm}}{(44.15 \text{ N/mm}^2 (4 \text{ mm}) 38.10 \text{ mm}^2)} - 1} \right] + \frac{469.02 \text{ N} (1)}{4} = 8,251.64 \text{ N}$
- f) $1.15 \sqrt{\frac{2(1)}{1+1}} \sqrt{2 \left(4,411.00 \text{ Nmm} \right) \left(44.15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) (4 \text{ mm})} + \frac{469.02 \text{ N} (1)}{4} = 1,552.61 \text{ N}$

El valor mínimo es el de la condición (f), 1,552.61 N.

Con el valor de la capacidad de carga por tirafondo, y el axil de cálculo se determina el número de tirafondos necesarios para realizar la conexión.

$$\text{Cantidad de Tirafondos} = \frac{\text{Axial de Calculo}}{\text{Capacidad de carga}} = \frac{19,620 \text{ N}}{1,552.61 \text{ N}} = 13$$

Para determinar la cantidad de tirafondos que trabajan en conjunto con la unión se utiliza la ecuación 1.32

$$n_{ef} = n^{0.9} = 10$$

Ilustración 35 Viga una con tirafondo Xpac



Ilustración 36 Deformación de viga unida con tirafondo Xpac





Tabla 12 Resultados unión con tirafondo Xpac

Esfuerzo (PSI)	Carga Puntual (lb)	δ Viga (mm)	ϵ Unitaria
0	0.00	0.00	0.00000
300	368.16	8.00	0.00389
400	490.87	19.00	0.00923
500	613.59	35.00	0.01700
600	736.31	51.00	0.02477

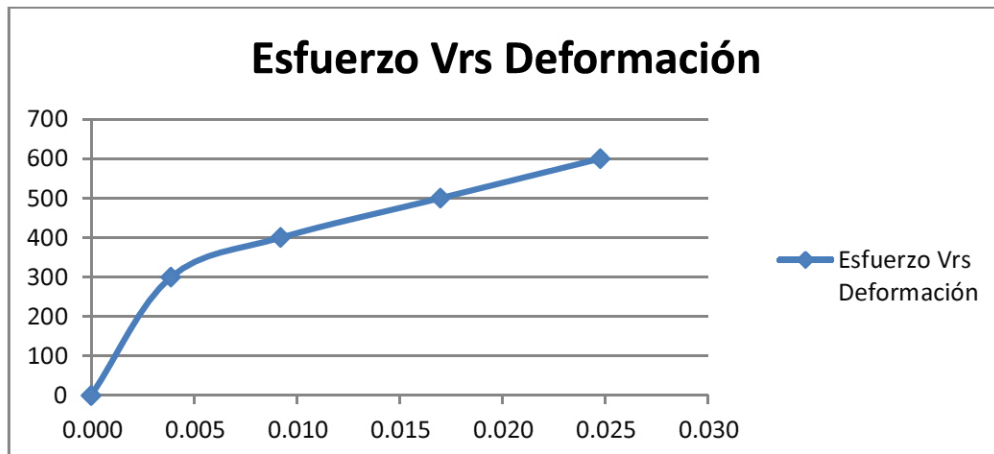
$$\delta \text{ Viga} = \frac{PL^3}{48EI} \quad \sigma = \frac{P}{A}$$

La carga puntual aplicada de falla fue de 357 kg (736.31 lb).

El E de la viga obtenido es de 1,338.71 MPa.

σ longitudinal obtenido es de 564.50 MPa (134.41 lb/in²)

Ilustración 38 Gráfica esfuerzo vrs deformación unitaria unión con tirafondo Xpac



4. Uniones con tirafondo acerado. Se diseñará una unión con tirafondos con un diámetro menor o igual a 6 mm, para aplicar las reglas que se definen en la sección C Uniones clavadas, clavos con carga lateral, para una viga con área transversal cuadrada de madera de pino con una longitud de 1.2m (4 pies).

En este caso particular como el diámetro es igual a 6.4 mm por lo tanto la longitud mínima de penetración debe ser igual a $4d$, establecida en la sección D.1. Párrafo b, tirafondos con carga lateral.

Longitud de la viga = 1.20 m

Área transversal de la viga = 58.06 cm^2

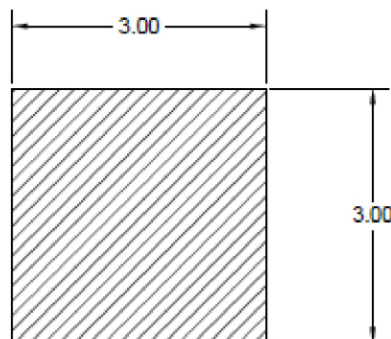
Inercia de la viga = 281.25 cm^4

Diámetro del tirafondo = 6.40 mm

Longitud de penetración = 76.20 mm

T1 = 38.10 mm

T2 = 38.10 mm



Los siguientes datos se asumen para el diseño

Axial de cálculo = 19,620 N fuerza de carga

$F_u = 450 \text{ N/mm}^2$ resistencia a tracción del alambre

$\rho_k = 560.80 \text{ kg/m}^3$ densidad de la madera

$\beta = 1$

La separación mínima paralela y perpendicular a la fibra se determinan de la Tabla 3.

La resistencia al arranque de la punta del clavo se determina de la ecuación 1.31

$$f_{ax,k} = 3.6 \times 10^{-3} \rho_k^{1.5} \quad 469.02 \text{ N/mm}^2$$

Como en la unión se utilizan tirafondos se considera la contribución a la capacidad de carga de un 100%.

Resistencia al aplastamiento se determinó a partir de la ecuación con pretaladro 1.17

$$f_{h,k} = 0.082(1 - 0.01d)\rho_k = 43.04 \text{ N/mm}^2$$

Momento plástico del medio de fijación se determina dependiendo del tipo de conector se va a utilizar, en este caso al ser un clavo de sección circular se utiliza la ecuación 1.34:

$$M_{y,RK} = 0.3 f_u d^{2,6} \text{ Nmm} = 16,842.31 \text{ N.mm}$$

La capacidad de carga se determina escogiendo el valor mínimo de las siguientes condiciones, tomando el efecto de la sogá, para la capacidad de arranque.

- a) $43.04 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 38.10 \text{ mm} \times 6.40 \text{ mm} = 10,495.57 \text{ N}$
- b) $43.04 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 38.10 \text{ mm} \times 6.40 \text{ mm} = 10,495.57 \text{ N}$
- c) $\frac{10,495.57 \text{ N}}{1+1} \left[\sqrt{1 + 2(1)^2 \left[1 + \frac{38.10 \text{ mm}}{38.10 \text{ mm}} + \left(\frac{38.10 \text{ mm}}{38.10 \text{ mm}} \right)^2 \right]} + 1 \right]^3 \left(\frac{38.10 \text{ mm}}{38.10 \text{ mm}} \right)^2 - 1 \left(1 + \frac{38.10 \text{ mm}}{38.10 \text{ mm}} \right) \right] + \frac{469.02 \text{ N}(1)}{4} = 4,347.41 \text{ N}$
- d) $1.05 \frac{10,495.57 \text{ N}}{2+1} \left[\sqrt{2(1)(1+1) + \frac{4(1)(2+1) 4,411 \text{ Nmm}}{(43.04 \text{ N/mm}^2)(6.4 \text{ mm}) 38.10 \text{ mm}^2} - 1} \right] + \frac{469.02 \text{ N}(1)}{4} = 13,749.17 \text{ N}$
- e) $1.05 \frac{10,495.57 \text{ N}}{2+1} \left[\sqrt{2(1)^2(1+1) + \frac{4(1)(2+1) 16,842.31 \text{ Nmm}}{(43.04 \text{ N/mm}^2)(6.4 \text{ mm}) 35 \text{ mm}^2} - 1} \right] + \frac{469.02 \text{ N}(1)}{4} = 13,749.17 \text{ N}$
- f) $1.15 \sqrt{\frac{2(1)}{1+1}} \sqrt{2 \left(16,842.31 \text{ Nmm} \right) \left(43.04 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) (4 \text{ mm})} + \frac{469.02 \text{ N}(1)}{4} = 3620.37 \text{ N}$

El valor mínimo es el de la condición (f), 3,620.37 N.

Con el valor de la capacidad de carga por tirafondo, y el axil de cálculo se determina el número de tirafondos necesarios para realizar la conexión.

$$\text{Cantidad de Tirafondos} = \frac{\text{Axial de Calculo}}{\text{Capacidad de carga}} = \frac{19,620 \text{ N}}{3,620.37 \text{ N}} = 5.42 \rightarrow 6$$

Para determinar la cantidad de tirafondos que trabajan en conjunto con la unión se utiliza la ecuación 1.32

$$n_{ef} = n^{0.9} = 5$$

Ilustración 39 Viga unida con tirafondo acerado



Ilustración 40 Deformación de viga unida con tirafondo acerado



Ilustración 41 Fallo de viga unida con clavo acerado



Tabla 13 Resultados unión con tirafondos acerados

Esfuerzo (PSI)	Carga Puntual (lb)	δ Viga (mm)	ϵ Unitaria
0	0.00	0.00	0.00000
300	368.16	5.00	0.00243
400	490.87	10.00	0.00486
500	613.59	15.00	0.00729
600	736.31	55.00	0.02672

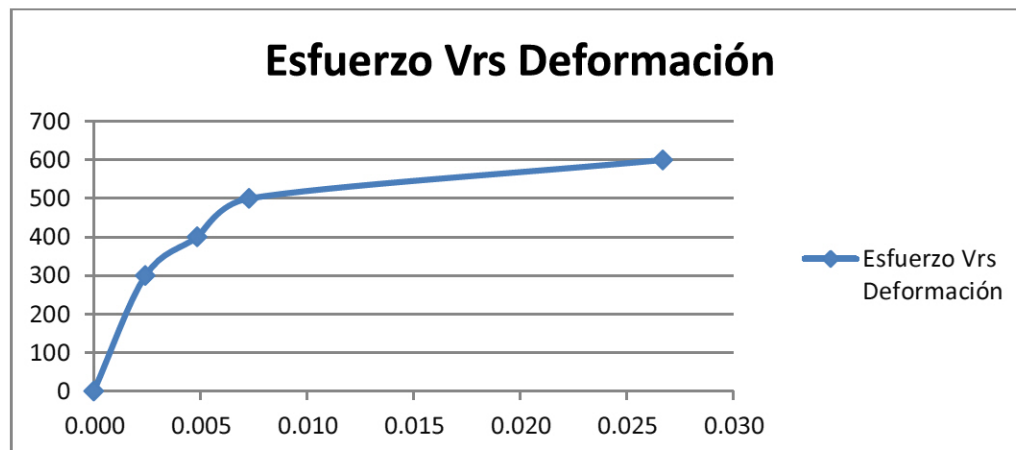
$$\delta \text{ Viga} = \frac{PL^3}{48EI} \quad \sigma = \frac{P}{A}$$

La carga puntual aplicada de falla fue de 357 kg (736.31 lb).

El E de la viga obtenido es de 1,241.36 MPa.

σ longitudinal obtenido es de 564.50 MPa (134.41 lb/in²)

Ilustración 42 Gráfica esfuerzo vrs deformación unitaria unión con tirafondos acerados



5. Uniones con pernos HAS-E5.8 3/8". Se diseñará una unión con pernos con un diámetro de 9.52 mm aplicando las reglas que se definen en la sección F.1 Pernos con carga lateral al ser un diámetro menor a 30 mm, para una viga con área transversal cuadrada de madera de pino con una longitud de 1.2m (4 pies).

Longitud de la viga = 1.20 m

Área transversal de la viga = 58.06 cm²

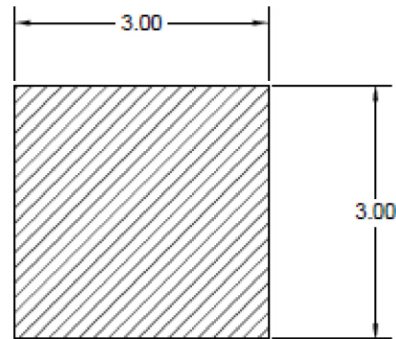
Inercia de la viga = 281.25 cm⁴

Diámetro del perno = 9.52 mm

Longitud de penetración = 76.20 mm

T1 = 38.10 mm

T2 = 38.10 mm



Los siguientes datos se asumen para el diseño

Axil de cálculo = 19,620 N fuerza de carga

Fu = 3,000.00 N/mm² resistencia a tracción del alambre

pk = 560.80 kg/m³ densidad de la madera

$\beta = 1$

La separación mínima paralela y perpendicular a la fibra se determinan de la Tabla 5.

La resistencia al arranque del perno se determina de la ecuación 1.31

$$f_{ax,k} = 3.6 \times 10^{-3} \rho_k^{1.5} = 469.02 \text{ N/mm}^2$$

Como en la unión se utilizan pernos se considera la contribución a la capacidad de carga de un 25%.

Resistencia al aplastamiento se determinó a partir de la ecuación con pretaladro 1.36

$$f_{h,k} = 0.082(1 - 0.01d)\rho_k = 41.61 \text{ N/mm}^2$$

Momento plástico del medio de fijación se determina dependiendo del tipo de conector se va a utilizar, en este caso al ser un clavo de sección circular se utiliza la ecuación 1.34:

$$M_{y,RK} = 0.3 f_u d^{2,6} Nmm = 315,712.28 N.mm$$

La capacidad de carga se determina escogiendo el valor mínimo de las siguientes condiciones, tomando el efecto de la soga, para la capacidad de arranque.

- a) $41.61 \frac{N}{mm^2} \times 38.10 \text{ mm} \times 9.52 \text{ mm} = 15,098.85 \text{ N}$
- b) $41.61 \frac{N}{mm^2} \times 38.10 \text{ mm} \times 9.52 \text{ mm} = 15,098.85 \text{ N}$
- c) $\frac{15,098.85 \text{ N}}{1+1} \left[\sqrt{1 + 2(1)^2 \left[1 + \frac{38.10 \text{ mm}}{38.10 \text{ mm}} + \left(\frac{38.10 \text{ mm}}{38.10 \text{ mm}} \right)^2 \right]} + +1^3 \left(\frac{38.10 \text{ mm}}{38.10 \text{ mm}} \right)^2 - 1 \left(1 + \frac{38.10 \text{ mm}}{38.10 \text{ mm}} \right) \right] + \frac{469.02 \text{ N} (0.25)}{4} = 17,578.37 \text{ N}$
- d) $1.05 \frac{15,098.85 \text{ N}}{2+1} \left[\sqrt{2(1)(1+1) + \frac{4(1)(2+1) 315,712.28 \text{ Nmm}}{(41.61 \text{ N/mm}^2 (9.53 \text{ mm}) 38.10 \text{ mm}^2)} - 1} \right] + \frac{469.02 \text{ N} (0.25)}{4} = 29,444.80 \text{ N}$
- e) $1.05 \frac{15,098.85 \text{ N}}{2+1} \left[\sqrt{2(1)^2(1+1) + \frac{4(1)(2+1) 315,712.28 \text{ Nmm}}{(41.61 \text{ N/mm}^2 (9.53 \text{ mm}) 38.10 \text{ mm}^2)} - 1} \right] + \frac{469.02 \text{ N} (0.25)}{4} = 29,444.80 \text{ N}$
- f) $1.15 \sqrt{\frac{2(1)}{1+1}} \sqrt{2 (315,712.28 \text{ Nmm}) \left(41.61 \frac{N}{mm^2} \right) (4 \text{ mm})} + \frac{469.02 \text{ N} (0.25)}{4} = 18,220.80 \text{ N}$

El valor mínimo es el de la condición (a) y el (b), 15,098.85 N.

Con el valor de la capacidad de carga por perno, y el axial de cálculo se determina el número de pernos necesarios para realizar la conexión.

$$\text{Cantidad de Tirafondos} = \frac{\text{Axial de Calculo}}{\text{Capacidad de carga}} = \frac{19,620 \text{ N}}{15,098.85 \text{ N}} = 1.30 \rightarrow 2$$

Para determinar la cantidad de pernos que trabajan en conjunto con la unión se utiliza la ecuación 1.32

$$n_{ef} = n^{0.9} = 1.27 \rightarrow 2$$

Ilustración 43 Viga unida con pernos



Ilustración 44 Deformación de viga unida con pernos



Tabla 14 Resultados viga unida con pernos

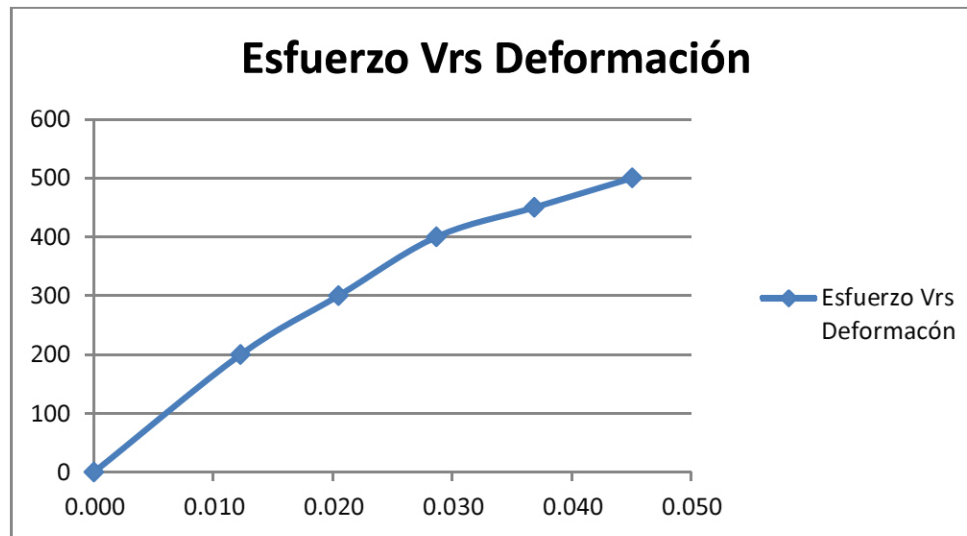
Esfuerzo (PSI)	Carga Puntual (lb)	δ Viga (mm)	ϵ Unitaria
0	0.00	0.00	0.00000
200	245.44	15.00	0.01230
300	368.16	25.00	0.02049
400	490.87	35.00	0.02869
450	552.23	45.00	0.03689
500	613.59	55.00	0.04508

$$\delta \text{ Viga} = \frac{PL^3}{48EI} \quad \sigma = \frac{P}{A}$$

La carga puntual aplicada de falla fue de 278.91 kg (613.59 lb).

El E de la viga obtenido es de 1,034.45 MPa.

σ longitudinal obtenido es de 470.42 MPa (68.18 lb/in²)



6. Tabla comparativa.

Tabla 15 Tabla comparativa diferentes tipos de unión

Tipo de viga	Carga de falla (Kg)	δ Viga (mm)	E de la sección (MPa)
Viga sola	725	39	3,792.43
Viga con pernos	278.91	55	1,034.45
Viga con tirafondos	334.69	51	1,338.71
Viga con tirafondos acerados	334.69	55	1,241.35

Como se puede observar la viga con pernos no es recomendada para esfuerzos de corte al ser un tipo de unión flexible, la unión con tirafondos es una mejor opción al ser un tipo de unión intermedio entre rígido y flexible, pero la viga que mejor soporta los esfuerzos de corte es solo la viga ya que presenta una mayor rigidez.

7. **Discusión.** Como se puede apreciar el tipo de unión de clavo de carpintero permitió que las dos secciones de madera conformaran una estructura monolítica y que ambas fallaran al mismo tiempo, y sobre el mismo punto, y principalmente lo que falla es la viga por flexión y no debido a la conexión que es lo que busca.

La unión de clavo acerado permitió que las dos secciones de madera conformaran una estructura monolítica al igual que la unión con clavos de carpintero, aunque usando una menor cantidad, aunque resistió una carga puntal menor, pero al igual que la otra sección la falla no se dio por el tipo de unión, ya que la falla se dio al mismo tiempo.

La unión con tirafondos fue evaluada a esfuerzos de corte, para el cual presento una rigidez intermedia, entre los pernos y la sección de madera sin unión. Al ser un tipo de unión intermedio entre rígido y flexible reflejó el resultado que se esperaba, al resistir más que la unión con pernos. También se puede apreciar que la unión presentó un módulo de elasticidad aceptable, y fallo debido a un nudo en la madera, y no debido a la conexión.

A diferencia de la conexión con tirafondo acerado, que fallo debido a la conexión, ya que la forma que se colocaron los tirafondos no fue adecuado, debido al diámetro de los tirafondos se debilito la madera y generando una línea de falla.

Aunque ambas vigas tuvieron la misma resistencia, la viga con tirafondos acerados tuvo una mayor deflexión, y un módulo de elasticidad menor. También se debe observar que las vigas fallaron por diferentes motivos, en uno se dio una buena conexión, y pero fallo debido a un nudo en la pieza, y la otra viga fallo debido a una mala distribución del medio de unión.

Como se puede observar las uniones con pernos no son recomendadas para esfuerzos de corte, debido a que en un tipo de unión bastante flexible, se puede mejorar su comportamiento si se utilizan placas metálicas que ayuden a rigidizar la unión. También se recomienda utilizar un mínimo de 4 pernos para limitar la flexibilidad que se da en la unión.

V. Conclusiones

Los diferentes medios de unión para madera que se recomiendan a un nivel estructural son: clavos, pernos, tirafondos, clavijas, colas estructurales, placas metálicas, combinación de placas metálicas con pernos.

A través de ejemplos de cálculo se ilustró el procedimiento para evaluar la capacidad de carga de diferentes tipos de unión.

Las uniones rígidas trabajan mejor para esfuerzos de corte, a diferencia de las uniones flexibles ya que tienen una resistencia muy baja.

Como se puede apreciar el tipo de unión de clavo tradicional permitió que las dos secciones de madera conformaran una estructura monolítica y que ambas fallaran al mismo tiempo, y sobre el mismo punto, y principalmente lo que falla es la viga por flexión y no debido a la conexión que es lo que busca.

El tirafondo al ser un tipo de unión intermedio entre rígido y flexible reflejó el resultado que se esperaba, al resistir más que la unión con pernos. También se puede apreciar que la unión presentó un módulo de elasticidad aceptable, y fallo debido a un nudo en la madera, y no debido a la conexión.

El manual incentiva a los diseñadores estructurales a utilizar la madera como material estructural de construcción porque se presentan los tipos de diseños de uniones de una manera fácil de aplicar al cálculo.

En Guatemala existe un gran potencial ya que la madera es un material disponible en el medio, y las uniones no deben ser una limitante para el diseño de la estructura.

VI. Recomendaciones

Se recomienda realizar un análisis previo del comportamiento que va a tener la sección que se desea unir, o el tipo de esfuerzo el cual va a afectar la unión, para poder escoger el tipo de unión más adecuado.

Las uniones rígidas son más recomendables para esfuerzos de corte, a diferencia de las uniones flexibles ya que tienen una resistencia muy baja.

Es importante que tanto la madera estructural, como los medios de unión no se expongan innecesariamente a condiciones climáticas más severas que las determinadas para la estructura ya instalada.

Se recomienda que la madera estructural y los medios de unión se deban evitar sobretensionar durante el almacenaje, el transporte o elevación, ya que algunas piezas se pueden dañar, alabear, o pandear y, o no lograr generar la unión esperada. Por lo tanto cualquier pieza que sea dañada previa o durante el montaje debe ser sustituida.

Previo a realizar el montaje se debe revisar que la madera tenga un grado de humedad adecuado a las condiciones climáticas de su lugar de instalación, en algunos casos especiales se puede utilizar la madera húmeda pero el grado de humedad debe estar por debajo del porcentaje máximo permisible.

En el caso de que se monten pórticos y arcos de madera se debe tomar la precaución de evitar la distorsión de la posición horizontal y vertical de la madera.

Se debe evitar o buscar tener la menor cantidad de gemas, fendas, nudos y otros tipos de defectos en el área de unión para no reducir la capacidad de carga de la unión.

Si la resistencia del adhesivo exige un requisito para los estados límite último, se debe realizar un control de calidad en la fabricación de las uniones, para poder garantizar la fiabilidad y calidad de la unión según las especificaciones técnicas. Así como seguir las recomendaciones del fabricante del adhesivo para elaborar la mezcla, las condiciones ambientales y el curado, y todos los factores relevantes para garantizar el uso adecuado del adhesivo o encolado.

Se recomienda tener conocimiento de madera estructural previo a usar este manual.

VII. Bibliografía

- Arangua, R. A. (Julio de 2003). *Diseño y ensayo de uniones para cerchas de madera*. Valdivia, Chile.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2006). *Proyecto de estructuras de madera*. En Eurocódigo 5 (págs. 66-98). Madrid: AENOR.
- Breyer, D. (1988). *Design of wood structures*. New York: McGraw-Hill.
- Breyer, D. (2001). *Design of Wood structures ASD/LRFD*. New York: McGraw-Hill.
- Construction, A. (2005). *Timber construction manual*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Durán, A. (2007). *la construcción de viviendas en madera*. Chile: CORMA.
- EN 1194 - *Estructuras de madera. Madera laminada encolada. Clases resistentes y determinación de valores característicos*. (s.f.).
- EN 338 - *Madera Estructural. Clases resistentes*. (s.f.).
- Engineers, A. (1989). *Classic wood structures*. New York: American Society of Civil Engineers.
- Eurocode 5. (EN 1995-1-1:2004). *Design of timber structures. Technical Committee CEN*. Editoria Aenor.
- Eurocode 0. (EN 1990:2002, 2002). *Basis of structural design. Technical Committee CEN*. Editorial AENOR.
- Eurocode 1. (EN 1995 - 1- 2002. 2002). *General Actions - Densities, self-weight and imposed loads for buildings. Technical Committee CEN*. Editorial Aenor.
- Herzoh, T. a. (2004). *Timber Construction Manual*. Basel, Boston: Birkhäuser.
- Johnson, W. (1988). *Adhesively , Bonded Joints: Testing, Analysis and Design*. Philadelphia: ASTM.
- Porteus J., K. A. (s.f.). *Structural Timber Design to Eurocode 5*. Blackwell Publishing.
- Rubi, M. C. (2009). *Diseño de Uniones de madera*. Bolivia.
- Rubi, M. C. (2009). *Metodos de diseño y analisis de estructuras de madera*. Bolivia.
- Yves Benoit, Bernard y Tstet, Vincent. (2008). *Calcul des structures en bois*. 2°.

VIII. Apéndice

A. Resistencia al aplastamiento de la madera

1. Clavos

a. *En madera*

Sin pretaladro $f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3} \text{ N/mm}^2$

Con pretaladro $f_{h,k} = 0,082 (1-0,01d) \rho_k \text{ N/mm}^2$

Siendo:

ρ_k la densidad característica en kg/m^3 .

d diámetro en mm.

b. *Tablero contrachapado*

$F_{h,k} = 0,11 \rho_k d^{-0,3} \text{ N/mm}^2$ (ecuación 1.21)

c. *Tablero de fibras duro*

$F_{h,k} = 30 d^{-0,3} t^{-0,6} \text{ N/mm}^2$ (ecuación 1.22)

d. *Tablero de virutas orientadas*

$F_{h,k} = 65 d^{-0,7} t^{-0,1} \text{ N/mm}^2$ (1.23)

Siendo:

T el espesor de la madera

2. **Pernos.** La resistencia al aplastamiento en uniones con pernos con diámetros no superiores a 30 mm para un ángulo α por la fibra y la dirección de la carga, puede obtenerse a partir de las expresiones siguientes:

$$f_{h,a,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

Siendo $f_{h,0,k}$ la resistencia al aplastamiento en dirección paralela a la fibra

$$f_{h,k} = 0,082 (1 - 0,01d) \rho_k \text{ N/mm}^2$$

y k_{90} un factor que depende de la clase de madera:

$$k_{90} = 1,35 + 0,0015 d \quad \text{para coníferas}$$

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

B. Momento plástico de la clavija

1. Clavos sección circular

$$M_{y,RK} = 0,3 f_u d^{2,6} \text{ Nmm} \quad (\text{Ecuación 1.34})$$

2. Clavos sección cuadrada

$$M_{y,RK} = \frac{f_u}{600} 270 d^{2,6} \text{ Nmm}$$

1. Pernos sección circular

$$M_{y,RK} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} \text{ Nmm} \quad (\text{Ecuación 1.34})$$

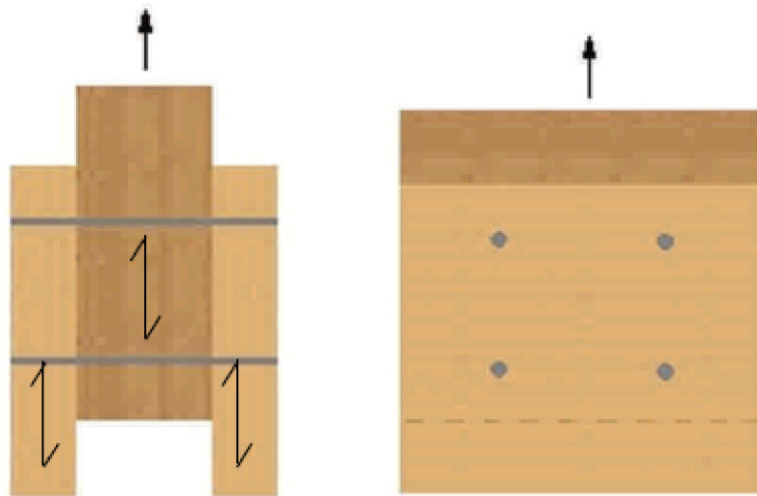
2. Grapas

$$M_{y,Rk} = 240 d^{2,6} \text{ Nmm} \quad (\text{Ecuación 1.33})$$

IX. Glosario

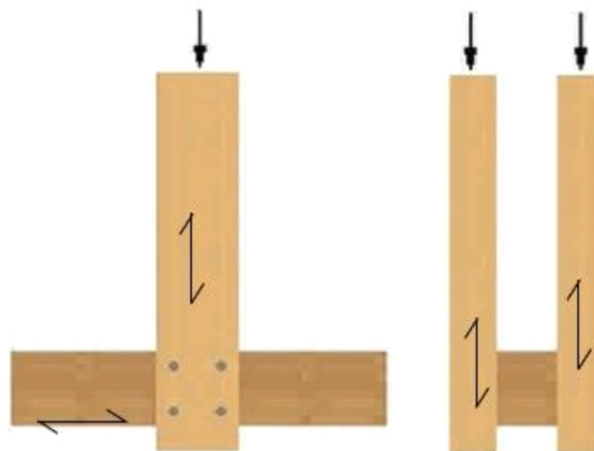
- Borde: extremos u orilla de la madera, en dirección de la fibra.
- Carga paralela a las fibras, $\theta = 0^\circ$.

Ilustración 45 Carga paralela a la fibra



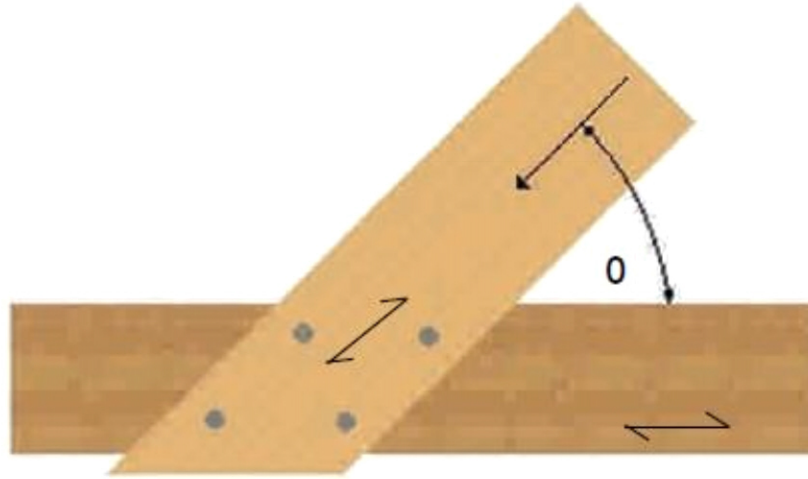
Carga perpendicular a las fibras, $\theta = 90^\circ$.

Ilustración 46 Carga perpendicular a la fibra



- Carga inclinada a la fibra, $0^\circ < \theta < 90^\circ$.

Ilustración 47 Carga inclinada a la fibra



- **Compresión:** este esfuerzo se produce cuando una fuerza tiende a comprimir o aplastar un miembro. Este esfuerzo se presenta en las columnas de edificaciones, así como en algunas barras que conforman distintos tipos de armaduras, en este caso particular para estructuras de madera. La compresión puede actuar paralela a la fibra, perpendicular a la fibra, e inclinada a la fibra.

- **Conexión de tipo clavija:** conexión mediante una barra de sección circular, normalmente de acero, con o sin cabeza, fijada de manera ajustada en agujeros pretaladrados y utilizada para transmitir cargas perpendiculares al eje de la clavija.

- **Corte:** se produce un esfuerzo cortante cuando dos fuerzas iguales, paralelas y de sentido contrario tienden a hacer resbalar, una sobre otra, las superficies continuas del miembro. Este esfuerzo se presenta en la mayoría de los elementos estructurales, también se debe tomar en cuenta que existen esfuerzos cortantes verticales y horizontales, por lo general las fallas por cortante en vigas de madera se deben al esfuerzo cortante horizontal y no al vertical.

- Deformación: La deformación es el cambio de tamaño o forma que siempre sufre un cuerpo que está sometido a una fuerza. Cuando las fuerzas son de compresión y de tracción axial, las deformaciones son acortamientos o alargamientos, respectivamente. Cuando una fuerza actúa en un miembro flexionándolo, la deformación se llama flecha.

- Flecha: es la distancia que se desplaza la línea neutra superior de la viga, al ser la viga deformada por un esfuerzo flexionante.

- Flexión: Este tipo de esfuerzos por lo común se genera por la aplicación de momentos llamados momentos flexionantes (principalmente en vigas), produciendo esfuerzos flexionantes ya sea a tensión o a compresión.

- LVL: madera microlaminada, definida de acuerdo con las Normas Europeas EN 14279 y EN 14374.

- Propiedad de rigidez: propiedad utilizada en el cálculo de las deformaciones de la estructura, tal como el módulo de elasticidad, el módulo de cortante o el módulo de deslizamiento.

- Testa: superficie de corte transversal a la dirección de la fibra en los extremos de las piezas.

- Tracción: es un esfuerzo que se produce cuando una fuerza tiende a estirar o alargar un miembro. La cuerda inferior y ciertas almas de miembros de armaduras y cables atirantados trabajan a tracción. Si se conoce la fuerza total de tracción axial (denotado por P) en un miembro, así como el área de su sección transversal (denotado por A), la tracción puede actuar paralela a la fibra

X. Nomenclatura

A	área de la sección transversal.
Aef	área eficaz de la superficie total de contacto entre una placa metálica dentada y la madera
Af	área de la sección transversal del ala.
Anet,t	área neta de la sección transversal perpendicular a la fibra.
Anet,v	área neta a cortante paralela a la fibra.
C	Coefficiente del muelle.
E0,05	valor del quinto percentil del módulo de elasticidad.
Ed	valor del cálculo del módulo de elasticidad.
Emean	valor medio del módulo de elasticidad.
Emean, fin	valor medio final del módulo de elasticidad.
F	fuerza.
FA, Ed	valor del cálculo de la fuerza mínima que actúa en una placa metálica dentada situada en el centroide del are eficaz.
FA, min, d	valor de cálculo de la fuerza mínima que actúa en una placa metálica dentada situada en el centroide del área eficaz.
Fax,Ed	valor de cálculo de la fuerza axial en el medio de fijación.
Fax, Rd	valor del cálculo de la capacidad de carga a la extracción del medio de fijación.
Fax, Rk	valor de la capacidad de carga al arranque del medio de fijación.
Fc	fuerza de compresión.
Fd	valor del cálculo de la fuerza.
Fd, ser	valor del cálculo de la fuerza en el estadio límite de servicio.
Ff,Rd	valor del cálculo de la capacidad de carga por medio de fijación en un muro diafragma.
Ft	fuerza de tracción.
Fv,0,Rk	valor de la capacidad de carga de un conector a lo largo de la fibra.
Fv,Ed	valor del esfuerzo cortante por plano y por medio de fijación.
Fv,Rd	valor del esfuerzo cortante por plano y por medio de fijación.
Fv, Rk	valor de la capacidad de carga por plano de cortadura y por medio de fijación.

F_x, E_d	valor de una fuerza en la dirección x.
F_y, E_d	valor de una fuerza en la dirección y.
F_x, R_d	valor de la capacidad de carga de una placa en la dirección x.
F_y, R_d	valor de la capacidad de carga de una placa en la dirección y.
F_x, R_k	valor de la capacidad de carga de una placa en la dirección x.
F_y, R_k	valor de la capacidad de carga de una placa en la dirección y.
I_{tor}	módulo de torsión.
I_z	momento de inercia respecto al eje débil.
K_{ser}	módulo de deslizamiento.
$K_{ser, fin}$	módulo de deslizamiento final.
L_{net}, v	longitud neta del área de rotura en cortante.
M_A, E_d	valor del momento que actúa sobre una placa metálica dentada.
M_{ap}, d	valor del momento en la zona del vértice.
M_d	valor del momento.
M_y, R_k	valor del momento plástico del medio de fijación.
N	Axil.
R_{90}, d	valor de cálculo de la capacidad de carga frente a la hienda.
R_{90}, k	valor característico de la capacidad de carga frente a la hienda.
R_{ax}, d	valor de la capacidad de carga de una conexión carga axialmente.
R_{ax}, k	valor característico de la capacidad de carga de una conexión carga axialmente.
R_{ax}, α, k	valor característico de la capacidad de carga con un ángulo respecto a la fibra.
R_d	valor de la capacidad de carga.
R_{ef}, k	valor de la capacidad de carga eficaz de una conexión.
R_k	valor característico de la capacidad de carga.
R_{sp}, k	valor característico de la capacidad de carga frente a la hienda.
R_{to}, k	valor característico de la capacidad de carga de un conector dentado.
V	esfuerzo cortante.
a	distancia.
a_l	separación, paralela a la fibra, entre medio de fijación dentro de una fila.

a2	separación, perpendicular a la fibra, entre filas de medios de fijación.
a3c	distancia entre el medio de fijación y la testa no cargada.
a3t	distancia entre el medio de fijación y la testa cargada.
a4c	distancia entre el medio de fijación y el borde no cargado.
a4t	distancia entre el medio de fijación y el borde cargado.
d1	diámetro del agujero central de un conector.
dc	diámetro de un conector.
def	diámetro eficaz.
f,h,i,k	valor de la resistencia al aplastamiento de una pieza de madera i.
fa,0,0	valor de la capacidad de carga de anclaje por unidad de superficie para $\alpha = 0^\circ$ y $\beta = 0^\circ$.
fa,90,90	valor de la capacidad de carga de anclaje por unidad de superficie $\alpha = 90^\circ$ y $\beta = 90^\circ$.
fa, α , β ,k	valor de la resistencia al anclaje.
fax, k	valor del parámetro de arranque para los clavos.
fc,0,d	valor de la resistencia a compresión paralela a la fibra.
fc,90,k	valor de la resistencia a compresión perpendicular a la fibra.
f f,t,d	valor de la resistencia a tracción del ala.
f h,k	valor de la resistencia al aplastamiento.
f head, k	valor del parámetro de incrustación de la cabeza para clavos