

CONSTRUCCIONES METÁLICAS Y DE MADERA

GUÍA 10 Versión 1.0

CONEXIONES DE LAS PIEZAS DE MADERA

- } *Uniones madera a madera*
- } *Uniones encoladas*
- } *Clavos, tornillos y agujas*
- } *Pernos y barras o pasadores*
- } *Conectores y llaves*

Ing. DANIEL A. GARCÍA GEI
2004

TEMA 10: CONEXIONES DE LAS PIEZAS DE MADERA

A) Del programa analítico temático

- Objetivos:
- a) Conocer e investigar los medios de unión para maderas
 - b) Reconocer, interpretar y diseñar conexiones entre piezas de madera
- 10.1. Formas de conexión. Capacidad de carga y rigidez. Determinación de la carga resistente.
 - 10.2. Uniones tradicionales: Empalmes, ensambles y acoples. Cubrejuntas, tacos y elementos de sujeción.
 - 10.3. Uniones a clavija: pernos o tornillos, pasadores, tirafondos, grapas, clavos. Descripción y Características. Comportamiento resistente. Diseño y disposiciones constructivas.
 - 10.4. Uniones encoladas: tipos de colas. Resistencia de la unión: axial y corte. Capacidad de carga axial y al corte. Dimensionamiento y detalles de construcción.
 - 10.5. Uniones con conectores: Formas de conectores, comportamiento de la unión, cargas admisibles. Dimensionamiento, distribución de conectores.

TP10 a) Resolver conexiones entre piezas de madera con tornillos, clavos, colas, conectores

B) Problemas a resolver

- ¿Cómo se conectan las piezas de madera?
- ¿Cómo se resuelven estructuras continuas?
- ¿Qué influencia tienen los medios de unión en la capacidad de las piezas?

C) BIBLIOGRAFÍA

- LA MODERNA TÉCNICA DE LA COSTRUZIONE IN LEGNO – G. Giordano
- MADERAS DE CONSTRUCCIÓN - Froment
- CALCULO DE ESTRUCTURAS DE MADERA – Argüelles Alvarez
- ESTRUCTURAS DE MADERA - Diseño y cálculo - (Eurocódigo 5) – IAITIM – dirigido por Argüelles Alvarez
- LA ESTRUCTURA EN LA ARQUITECTURA MODERNA – A. Arcángeli – Capítulo XI
- LE COSTRUZIONI IN LEGNO – A. Arcángeli
- DISEÑO SIMPLIFICADO DE ESTRUCTURAS DE MADERA – Parker
- OBRAS DE FABRICA Y METÁLICAS – P. Galabré – Tomo 2 – Capítulo LIV y ss.
- MANUAL DEL INGENIERO – Tomo III – Hütte –
- Construcción - CARPINTERÍA – F. Cassinello – Ed. Rueda – Madrid – 1973 -
- Guía de estudio – MADERAS – E.Japaz y D. García Gei – UNCuyo - 1985
- Normas DIN 1052, 4074, EUROCÓDIGO 5 y Normas IRAM pertinentes

10.1. Introducción

10.1.1. Formas de conexión

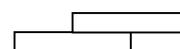
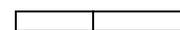
Las construcciones de madera se conforman con piezas independientes de dimensiones limitadas que deben unirse para obtener formas definitivas y adecuadas a la función.

Las uniones o ensambles constituyen la parte más delicada de la construcción,. Deben ser eficaces y duraderos a pesar de los cambios que se producen en las piezas de madera durante la vida útil, sean por el grado de humedad ambiente o por las deformaciones bajo cargas.

La trabajabilidad de la madera permite la organización de las diferentes uniones mediante cortes y elementos auxiliares que aseguran la transmisión de esfuerzos y la permanencia en el tiempo.

Los ensambles o conexiones se denominan:

1. NODALES, piezas colocadas en ángulo $\perp \wedge \sphericalangle$
 - 1.1. De caja
 - } Simple entalladura
 - } Doble entalladura
 - } Media madera
 - } Testa oculta
 - } De doble caja
 - } En cola de milano: simple por tabla, doble por tabla, doble y por testa, simple y por canto
 - } En inglete
 - } Por arista
 - } En cruz
 - } En cruz de san Andrés
 - } De corte a pluma. Normal, con rebajo a pluma matada
 - 1.2. De caja y espiga
 - } Recta
 - } Tronco – piramidal
 - } En cola de milano
 - } A inglete
 - } Por arista
 - 1.3. De quijera
 - } Simple y recta
 - } En cola de milano: tabla simple, canto simple, testa simple, canto múltiple
 - } A inglete
 - } Por arista
 - 1.4. De barbilla
 - } Pasantes: simple o pico de pájaro, con rebajo (chaflán para evitar el ángulo cóncavo del corte)
 - } A tope o de talón: simple, con rebajo, oblicuo
 - 1.5. De espera
2. EMPALMES, las piezas se unen por testa
3. ACOPLES, piezas unidas por sus caras



10.1.2. Medios de unión . Capacidad de carga y rigidez. Usos.

Medios de unión empleados:

- MADERA - MADERA
- COLAS
- CLAVIJAS: PERNOS, PASADORES, TORNILLOS, CLAVOS y AGUJAS
- CONECTORES o LLAVES

La efectividad de las conexiones se evalúan tanto por resistencia como por rigidez. Como regla general cuanto mayor es la superficie de contacto ofrecida por el medio de unión, tanto más rígida resulta la conexión.

- Por resistencia:

$$\text{CARGA DE SERVICIO} = \text{CARGA DE ROTURA} / 3$$

- Por rigidez

$$\text{CARGA DE SERVICIO} = \text{CARGA QUE DEFORMA HASTA 1.5 mm}$$

Usos, conforme el tipo de esfuerzo a transmitir:

- FLEXIÓN Clavos y pernos
- COMPRESIÓN Llaves y clavijas
- CORTE Conectores y llaves
- ADHERENCIA Colas

Capacidad de carga

En esta guía se aplican las prescripciones de la norma DIN 1052, que estipula la verificación de capacidad de los elementos estructurales por esfuerzos admisibles, considerando las acciones en condiciones de servicio.

Indicamos con subíndice (d) los valores de esfuerzos o tensiones d disponibles, en este caso se tratarán de los esfuerzos o tensiones *admisibles*.

10.2. CONEXIONES MADERA - MADERA

Se efectúan conectando madera con madera sin utilizar piezas metálicas salvo como enlace o refuerzo.

Características:

- La penetración mutua de las secciones produce deformaciones superiores a las elásticas admisibles
- Exige el empleo de secciones muy superiores a las necesarias normalmente por los esfuerzos transmitidos
- Requieren mano de obra especializada
- Hay pocas soluciones para transmitir esfuerzos de tracción. Por ello la organización de la estructura se diseña con barras en compresión.

Formas:

- EMPALMES: uniones de piezas por los extremos
 - Para esfuerzos de tracción: Cola de milano
Rayo de Júpiter
Redientes recto u oblicuo
 - Para esfuerzos de compresión: Media madera recto
Media madera oblicuo
- ENSAMBLES: unión de piezas que forman un ángulo entre ellas
 - A caja y espiga
 - Con espera: oblicuo a media madera con o sin caja y espiga
 - A media madera
 - Por encepado

Usos:

Cada vez son menos utilizadas. El advenimiento de las secciones compuestas, las formas compensadas y los medios de unión modernos han modificado los criterios de diseño de la composición de las estructuras y de las uniones de sus miembros.

10.3. UNIONES ENCOLADAS

10.3.1. Colas o adhesivos

Las uniones encoladas presentan mucha más rigidez que los otros sistemas de unión. Consiste en unir las piezas mediante adhesivos o colas extendidos entre las superficies en contacto y con posterior prensado mientras el material fragua y endurece.

Colas naturales, de origen vegetal o animal: celulósicas, a la caseína, de albúmina de sangre, ictiocola.

Adhesivos sintéticos: sobre la base de resinas sintéticas tales como urea formaldehído (ureicas) o resorcinolformaldehído (fenólicas).

Elementos unidos con colas a la caseína deben permanecer siempre protegidos de la humedad y la intemperie.

Con colas ureicas, sólo se admiten eventuales y ocasionales humedecimientos, no estarán expuestos a intemperie.

Elementos y piezas expuestos a la humedad o clima húmedo y templado serán ejecutadas exclusivamente con colas en base a fenoles.

El prensado será uniforme. Se emplearán prensas mecánicas, hidráulicas, neumáticas. Las prensas de carpintero se podrán utilizar si se colocan travesaños de suficiente grosor como para distribuir la acción localizada de aquellas.

Si se emplea prensado por clavado, se seguirán las siguientes reglas:

- El espesor de las tablas a unir será a ≤ 30 mm;
- Se utilizarán clavos 34x90 y se colocarán en cada tabla unida;
- La disposición de los clavos será a tresbolillo, en función del ancho de las tablas
- Durante el clavado se constatará que aparezcan perlas o gotas de adhesivo, cuando ello no ocurra se aumentará el número de clavos en esa zona

La temperatura del recinto de trabajo, de la madera a encolar y de las colas será de 20°C. Se suspenderá el trabajo si la temperatura del local es inferior de 18°C.

Ancho de tabla (mm)	Separación entre clavos	Número de filas de clavos	Distancia de filas al borde	Distancia a testa
100	100	2	5 d _{cl}	12 d _{cl}
120	85	2		
140	70	3		
160	60	3		
180	55	3		

Los elementos expuestos a exigencias climatológicas serán cuidadosamente protegidos.

El tratamiento con sistemas preservantes se hará con posterioridad al encolado y cuidando que el sistema preservante no afecte la unión encolada.

No se admite efecto conjunto de la unión encolada con otras formas de unión.

Las maderas a encolar estarán secas, es decir con una humedad menor que el 15%.

Tipo de cola	Maderas	Cortante admisible MPa	Usos
Caseína	Blanda y húmeda	4	Ebanistería
	Blanda y seca	1	Carpintería
	Dura y húmeda	7	
	Dura y seca	1,5	
Urea formaldehído	Blanda y húmeda	3	Carpintería estructural
	Blanda y seca	6	Tableros
	Dura y húmeda	4	Contrachapados
	Dura y seca	8	
Fenol - formol	Blanda y húmeda	2,5	Carpintería estructural
	Blanda y seca	3	Tableros
	Dura y húmeda	4	Contrachapados
	Dura y seca	5	

10.3.2. Calidad de la madera

Las exigencias de calidad para el elementos completo no se aplicarán a las partes excepto en los siguientes casos:

- Las tablas ubicadas en zonas traccionadas serán de la misma calidad que la pieza completa;
- Las tablillas de secciones laminadas encoladas ubicadas en los bordes superior e inferior, hasta el 15% del canto o las dos primeras como mínimo, serán de la calidad especificada.

Las superficies de encolado serán trabajadas con cepillos, fresas o sierras circulares que entreguen una superficie perfectamente alisada.

Los extremos (testas) de las tablas se colocarán con endentado o cortes al sesgo con inclinaciones relativas entre el ancho de la tabla y la longitud de corte de 1/10 hasta 1/14.

10.3.3. Capacidad resistente

La capacidad resistente de las conexiones encoladas se establece considerando en la superficie "húmeda" el esfuerzo disponible a corte en las maderas unidas.

$$N_{cd} = A_H \cdot f_{vd}$$

A_H	(mm ²)	Área de superficie húmeda de contacto,
N_{cd}	(N)	Capacidad de carga de la junta encolada
f_{vd}	(MPa)	Esfuerzo disponible de diseño a cortante de la madera

10.4. UNIONES CON CLAVIJAS

10.4.1. Alcances

Los elementos de fijación de tipo **clavija** son medios de unión de tipo mecánico. Clavos, pernos, pasadores, grapas y tirafondos atraviesan las piezas de madera que unen, generando esfuerzos de aplastamiento localizadas en las fibras de madera y flexiones y cortante en el vástago de las clavijas.

10.4.2. Características de los medios de unión

- ♣ Clavos: Se utilizan para unir piezas de madera entre sí, madera a contrachapado y madera con acero
Diámetro entre 1.2 y 8 mm – Longitudes entre 40 y 200 mm
Son de acero, acero inoxidable y aluminio
El fuste: liso, helicoidal, con resaltos, de sección circular, cuadrada, poligonal
Tratamiento de protección: sin tratamiento, galvanizados, pasivados
La punta: París, roma, sin punta, aguda
Pretaladrado: en maderas de alta densidad y para diámetros mayores de 4 mm se hace perforación guía o pretaladro de diámetro $\leq 0.80 d_{cl}$
- ♣ Tirafondos o tornillos para madera: Se utilizan para mantener en posición otros conectores de superficie, para anclar otras piezas o para sostener herrajes en tracción. Tienen elevada capacidad para resistir esfuerzos de tracción.
Constan de cabeza y vástago o fuste, con un tramo liso (caña) y la zona roscada desde el extremo (cuerda). Es recomendable utilizar arandelas entre la cabeza y la madera de modo que esta no resulte dañada ni hendida.
Diámetro entre 2 y 20 mm – Longitudes entre 25 a 300 mm.
Son de acero, acero inoxidable y aluminio
Tratamiento de protección: sin tratamiento, galvanizados, pasivados
Pretaladrado: con tornillos de diámetros mayores de 4 mm se debe practicar una perforación tal que donde aloja la caña sea del mismo diámetro que ella y donde aloja la cuerda sea no mayor de $0.70 d_{caña}$
- ♣ Pernos: Se utilizan para unir piezas de madera entre sí, madera a contrachapado y madera con acero
Diámetro entre 10 y 30 mm. Son de acero dulce, no menor que F24.
Cabeza cuadrada o hexagonal, tuerca y arandelas. Las dimensiones de las arandelas serán: $d_{ar} \geq 3 d_{per}$ y espesor $t_{ar} \geq d_{per} / 3$.
También pueden ajustarse mediante chavetas y cuñas.
Tratamiento de protección: sin tratamiento, galvanizados, pasivados
Se aloja en agujero de diámetro $\leq d_{per} + 0.5$ mm
Esta holgura disminuye las posibilidades de uso en aquellas estructuras en las que las deformaciones deben controlarse ya desde la construcción. En estos casos se recurre a los pasadores, barras y conectores.
- ♣ Pasadores: Se utilizan para unir piezas de madera entre sí. Se colocan a presión o encoladas
Diámetro desde 8 mm –
Son de acero, acero inoxidable y aluminio
El fuste: liso, helicoidal, con resaltos, de sección circular, cuadrada, poligonal, ranuradas o estriadas
Tratamiento de protección: sin tratamiento, galvanizados, pasivados
La punta: roma, sin punta.
Taladrado: se hace perforación guía o pretaladro de diámetro $\leq 0.80 d_{cl}$
- ♣ Grapas

10.4.3. Clavos, tornillos y agujas

10.4.3.1. Capacidad resistente

La capacidad de carga de un clavo, para UNA superficie de cizalla, sin tener en cuenta la relación entre la dirección de la fibra y la de la carga, se determina:

$$N_1 = \frac{f_{ld} \cdot d_{cl}^2}{1 + d_{cl}}$$

Para coníferas:

$$N_1 = \frac{500 \cdot d_{cl}^2}{10 + d_{cl}} \Rightarrow [N]$$

Si se utiliza perforación guía con diámetro $d_{pg} \leq 0.85 d_{cl}$, se puede incrementar el 25% la carga admisible.

Las uniones clavadas en cabezales o testas (paralelo a la dirección de la fibra) no pueden considerarse estructurales.

Mnemotécnicamente, se puede simplificar y asumir:

Capacidad:
$$N_1 = 40 \cdot d_{cl}^2$$

d_{cl} (mm)	diámetro de la clavija
N_1 (N)	Capacidad de carga de una sección de cizalla y por cada clavo
f_{ld} (MPa)	Tensión admisible de diseño al aplastamiento de la madera
a (mm)	menor espesor de las maderas a unir

10.4.3.2. Elección del diámetro del clavo y del espesor de la madera

Para evitar el peligro de hendidura en la madera clavada sin perforación guía, el espesor de la madera será:

$$a \geq (3 + 8 d_{cl}) d_{cl} \geq 24 \text{ mm}$$

El espesor mínimo de chapas de acero será:

$$a \geq 2 \text{ mm}$$

El espesor mínimo de chapas de madera compensada (contrachapados) será:

$$a \geq 0.5 (3 + 8 d_{cl}) d_{cl} \geq 10 \text{ mm}$$

El diámetro se elegirá del **menor** tamaño posible.

En maderas blandas y húmedas se adoptan diámetros mayores, en maderas duras y secas serán menores.

La norma francesa especifica:

Naturaleza y humedad de la madera	Espesor $a < 30$ mm	Espesor $a > 30$ mm
Blandas y reciente aserrado	$d_{cl} \leq a / 7$	$d_{cl} \leq a / 9$
Duras y secas	$d_{cl} \leq a / 9$	$d_{cl} \leq a / 11$

Si se utiliza perforación guía con diámetro $d_{pg} \leq 0.85 d_{cl}$, se pueden admitir espesores de madera $a \geq 6 d_{cl}$. Para espesores menores se reducirá la capacidad en proporción a la relación $a / 6 d_{cl}$

En general se puede admitir: $d_{cl} \leq a/10$ $a \geq 10 d_{cl}$

10.4.3.3. Selección de la longitud de los clavos

Para admitir al 100% la capacidad de carga del clavo, la punta del clavo debe penetrar una profundidad s :

$s > s_1 = 12 d_{cl}$ uniones de cizalla simple

$s > s_1 = 8 d_{cl}$ uniones de cizalla múltiple

Si $s < s_1/2$ la superficie de cizalla más cercana a la punta del clavo NO será tenida en cuenta para el cómputo de la capacidad de carga

Si $s_1/2 \leq s < s_1$ la superficie de cizalla más cercana a la punta del clavo será considerada con capacidad reducida: $N_{red} = N_1 \cdot s / s_1$

Por lo tanto, la longitud del clavo resulta: $L_{cl} \geq \sum a_i + s$

10.4.3.4. Distribución y colocación de clavos

Separación entre clavos

		En dirección paralela a la dirección de la fuerza	
		Sin perforación guía	Con perforación guía
Entre clavos	// dirección de la fibra	10 d_{cl} 12 d_{cl} $d_{cl} > 4$ mm	5 d_{cl}
	⊥ dirección de la fibra	5 d_{cl}	5 d_{cl}
Al borde cargado	// dirección de la fibra	15 d_{cl}	10 d_{cl}
	⊥ dirección de la fibra	7 d_{cl} 10 d_{cl} $d_{cl} > 4$ mm	5 d_{cl}
Al borde descargado	// dirección de la fibra	7 d_{cl} 10 d_{cl} $d_{cl} > 4$ mm	5 d_{cl}
	⊥ dirección de la fibra	5 d_{cl}	5 d_{cl}

- ♣ Si los clavos se disponen a ambos lados de un madero, se admite la superposición si la distancia de la punta del clavo a la superficie de cizalla opuesta es $\geq 8 d_{cl}$, si esta dis-

tancia no se cumple deberá respetarse las distancias entre clavos dada en la tabla anterior.

- ♣ Si la penetración (s) de clavos ubicados en caras opuestas de una junta, atraviesa el espesor (a_c) de un madero intermedio, la separación entre clavos se ajustará a las distancias prescritas en la tabla.
- ♣ Si se disponen más de 10 clavos consecutivos por hilera, se disminuirá la capacidad en 10% y si deben disponerse más de 20 se disminuirá la capacidad en el 20%-
- ♣ Las reglas anteriores conforman una grilla o reticulado en cuyos vértices se colocan las clavijas. Sin embargo, los clavos se dispondrán contrapeados, se desplazarán alternadamente a lo largo de las líneas de la grilla, para evitar la rotura de la madera en el mismo acto de clavado
- ♣ Para mantener la presión de la junta, los clavos se deben clavar con una ligera inclinación respecto de la cara de la madera siempre distinta unos de otros
- ♣ La cabeza de los clavos debe quedar al ras de la madera, de modo que al pasar los dedos por encima se noten las estrías de las cabezas
- ♣ Si se espera remachar las puntas por el revés, la longitud del clavo será tal que sobresalga por lo menos $3 d_{cl}$. En general se evita el remachado o doblado del resto pues, aunque aumenta la fuerza de retención, daña y estropea la fibra de madera.

10.4.4. Pernos, pasadores, tirafondos y tornillos (con tuerca)

10.4.4.1. Capacidad resistente

La capacidad de carga de un perno o pasador viene condicionada por el aplastamiento en la pared del agujero, por la hendidura en la madera y por la flexión en el vástago del perno. Para una superficie de cizalla y **esfuerzos en la dirección de la fibra**:

$$N_{p00d} = f_{ld} \cdot a \cdot d_p \leq C_{pd} \cdot d_p^2$$

- d_p** (mm) diámetro del perno o barra
- N_{p00d}** (N) Capacidad de carga disponible del perno en dirección de las fibras para una sección de cizalla
- f_{ld}** (MPa) Tensión nominal de diseño al aplastamiento de la madera
- a** (mm) menor espesor de las maderas a unir
- C_{pd}** (MPa) Esfuerzo nominal en flexión del conjunto perno - madera

Para esfuerzos normales a la dirección de la fibra:

$$N_{p90d} = 0.75 N_{p00d}$$

Para esfuerzos inclinados un ángulo α respecto de la dirección de la fibra, el valor de **N_{p α d}**

$$N_{p\alpha d} = \left(1 - 0.25 \frac{\alpha(^{\circ})}{90} \right) \cdot N_{p00d}$$

Si se utilizan piezas de metal, como placas y platabandas, se admite una capacidad 25% mayor que la dada en las expresiones anteriores.

Si se utilizan placas de empalme de contrachapado o madera compensada, se considerará para esos elementos como tensión de aplastamiento la admisible a compresión para esas placas.

El diámetro de pernos, tornillos o tirafondos será mayor de 12 mm y el de barras o pasadores mayor de 8 mm.

Se colocarán por los menos 2 pernos o 4 barras pasadores.

Valores de **f_{ld}** y **C_p** (MPa)

Tipo de junta	Madera	Pernos o Tornillos		Barras o Pasadores		
		f_{ld}	C_p	f_{ld}	C_p	
CIZALLA SIMPLE	Coníferas	4	17	4	23	
	Haya y Encina	5	20	5	27	
CIZALLA DOBLE	Central	Coníferas	8,5	38	8,5	51
		Haya y Encina	10	45	10	60
	Lateral	Coníferas	5,5	26	5,5	33
		Haya y Encina	6,5	30	6,5	39

10.4.4.2. Distribución y colocación de pernos y pasadores

Separación mínima		Pernos o Tornillos	Barras o pasadores
Entre sí	// dirección de la fibra	7 d _p ≥100 mm	5 d _p
	⊥ dirección de la fibra	5 d _p	3 d _p
Al borde cargado	// dirección de la fibra	7 d _p ≥100 mm	6 d _p
	⊥ dirección de la fibra	4 d _p	3 d _p
Al borde descargado	// dirección de la fibra	3 d _p	3 d _p
	⊥ dirección de la fibra	3 d _p	3 d _p

- ♣ Las reglas anteriores conforman una grilla o reticulado en cuyos vértices se colocan los pernos o pasadores. Es aconsejable que los pasadores y barras se dispongan contrapeados, desplazándolos alternadamente a lo largo de las líneas de la grilla, para evitar la rotura de la madera por hendimiento

10.5. UNIONES CON CONECTORES, LLAVES Y PLACAS CLAVO

10.5.1. Alcances

Los elementos de fijación de tipo **CONECTOR** son medios de unión de tipo mecánico que transmiten los esfuerzos a través de una superficie mayor que los elementos tipo clavija. Se emplean cuando es necesario transmitir cargas elevadas y en elementos de madera de mayor sección. Incluyen los conectores, las llaves y las placas clavo.

Un conector o llave es un elemento de acero, madera dura o plástico, en forma de prisma, cilindro, anillo o disco que se coloca ajustado entre dos piezas de madera, un perno sirve para mantener el ajuste entre las piezas. Los esfuerzos se transmiten por aplastamiento en las fibras de madera y cortante en la pieza conector. Se usan en uniones madera – madera o madera – acero.

Las placas dentadas son elementos metálicos con una densidad elevada de puntas tronco cónicas conformadas por fundición o soldadura o estampado. El clavado se realiza con prensas hidráulicas. . Se usan en uniones madera – madera o madera – acero.

Las placas clavo son elementos metálicos de espesor delgado con una densidad elevada de puntas conformadas por estampado de la misma placa. Se emplean en la unión de elementos de pequeño espesor de estructuras prefabricadas. El clavado se realiza con prensas hidráulicas.

10.5.2. Tipos de conectores

Siguiendo los lineamientos de la norma *DIN 1052*, los conectores se clasifican de acuerdo con la forma de colocación:

A: Conectores de precisión

Se colocan en recortes y cajas realizados previamente en la madera, de modo que el conector ajuste perfectamente en la cavidad formadas.

En forma de anillo. Cerrados o abiertos. Se alojan entre las dos piezas en ranuras circulares, quedando la mitad del anillo en cada pieza.

En forma de tacos o llaves prismáticas o cilíndricas.

De madera dura ($\rho_k \geq 600 \text{ kg/m}^3$) con forma cilíndrica con perfil biselado o prismática. La dirección de la fibra es perpendicular al eje del perno y alineada con la fibra de la madera. El contenido de humedad durante la fabricación debe ser inferior al 18%.

Para la instalación se procede a ubicar la posición de los conectores, taladrar el agujero para el perno y conformar la caja o ranura para el alojamiento del conector, instalar los conectores y placas, acoplar las piezas y finalmente introducir los pernos y ajustarlos.

B Conectores a presión

Con garras, dientes o clavos que se hincan en la madera por presión, sin trabajo previo con herramientas, ni taladros ni fresado.

Placa circular o rectangular gruesa con dientes tronco cónicos o clavos en una o en ambas caras.

Placas de chapa delgada con garras o dientes triangulares (garras) conformados por estampado en una o en ambas caras.

Para la instalación se posicionan los conectores, se taladra el agujero para el perno y presenta la placa dentada entre las piezas de madera, luego se presionan ambas piezas hasta que los dientes del conector se clavan en la madera. Para el prensado se recurre a prensas hidráulicas o pernos de alta resistencia. En este último caso se deben utilizar arandelas o placas de diámetro suficiente para distribuir la presión sin aplastar la madera.

Puesto que se debe hender la madera con los dientes de la placa, la madera no puede ser dura, por lo que el uso se limita a **coníferas** de densidad característica menor que 500 kg/m³.

Luego de prensar las placas se coloca y ajusta el perno sujetador.

C Mixtos

Se colocan con ambos procedimientos, en parte de precisión y en parte a presión.

10.5.3. Comportamiento mecánico de la unión

La transmisión de carga se realiza por aplastamiento entre el conector y la madera. La sección del conector queda sometida a esfuerzos de corte o cizalla. En el caso de placas clavo y púas de chapa estampada el metal introducido en la madera trabaja a flexión. En las placas dentadas los dientes funcionan como clavijas.

El perno no llega a trabajar en la práctica, sólo se utiliza para mantener las piezas en posición.

En los conectores de placa, la carga se transmite de la madera a la placa por aplastamiento, luego por contacto entre perno y placa es transmitido por cortante del perno a la placa de la otra pieza. La tolerancia entre el diámetro del perno y el taladro de la placa es de 1 mm (como en construcciones de acero)

Si el ángulo entre el esfuerzo y la fibra es $\bullet \leq 30^\circ$ en la rotura se combinan aplastamiento y agrietamiento. Inicialmente la madera se aplasta contra la pared del agujero, luego se originan grietas por tracción perpendicular a las fibras.

Para esfuerzos en los conectores que forman un ángulo $30^\circ < \bullet < 150^\circ$ respecto de la fibra, aparecen grietas generadas por tracción perpendicular a la veta.

El fallo sobreviene por:

Aplastamiento contra la pared de madera

Por cortante en la cajuela de madera conformada por la pared del conector, la penetración del conector en la madera y la distancia entre conectores o la distancia al borde testero

Por agrietamiento de la madera debida a esfuerzos de tracción perpendicular a las fibras

Eventualmente, en conectores de madera, por cortante en el cuerpo del conector

10.5.4. Capacidad de carga de los conectores

10.5.4.1. Conectores prismáticos y cilíndricos

Los conectores o llaves prismáticos o cilíndricos se preparan de madera dura o de acero. Los tacos de madera se colocan con su veta paralela a la de los maderos a unir; los de acero deben resultar propiamente en tacos, no se admite ubicar planchuelas de canto. Dicho de otro modo, debe asegurarse que los tacos no "vuelquen".

La capacidad admisible de carga de los conectores prismáticos y cilíndricos será determinada verificando las tensiones de aplastamiento en la madera. Se verificarán los esfuerzos de cizalla en el conector y en las piezas de madera. El esfuerzo permitido en la madera determinará la separación entre conectores

En la tabla se indican las tensiones admisibles para condiciones normales de humedad y combinaciones de carga H (-P- principales), y para el caso de conectores prismáticos o cilíndricos. De estos conectores sólo se permiten colocar hasta 4 en una línea.

Tabla 10 – DIN 1052 : Tensiones admisibles al aplastamiento paralelo a la fibra, Combinaciones H, en MPa

Renglón	Relación entre la longitud o	Nº de tacos en la dirección de la fuerza
---------	------------------------------	--

	diámetro del conector L_D y la profundidad de hinca t_D	N ≤ 2 Vigas compuestas	2 < N ≤ 4
1	$L_D / t_D ≥ 5$	8,5	7,5
2	$L_D / t_D < 5$	4,0	3,5

- En caso de combinaciones HZ (PS) los valores se incrementan en 1.15
- Se reducirán a 5/6 en elementos constructivos expuestos a la humedad y al agua con protección adecuada luego de elaborados y antes de montados
- Se reducirán a 2/3 en elementos expuestos a la humedad y al agua sin protección, en elementos que queden en agua permanentemente aún protegidos, en andamiajes que estén en estado semiseco durante su vida útil
- Para conectores de acero se tomarán los valores del renglón 1, cualquiera sea la relación de longitud y profundidad de hinca

Como se sabe DIN 1052 se refiere a tipos de madera determinados, que podemos encuadrar como grupos 2 y 3 conforme la densidad de la madera.

Para nuestro grupo 4 (maderas con densidad < 450 Kg/m³) adoptaremos el 75% de los valores indicados en la tabla precedente, no mayor que la resistencia a compresión paralela de la madera utilizada.

Para esfuerzos oblicuos se sugiere, por analogía, utilizar la especificación dada para esfuerzos oblicuos en pernos:

Para esfuerzos perpendiculares a la fibra ($\alpha = 90^\circ$) se considerará el 75% de la capacidad, para esfuerzos oblicuos ($0^\circ < \alpha < 90^\circ$) se interpolará linealmente.

10.5.4.2. Conectores de placa, de anillo, endentados

En el caso de conectores de placa, endentados y de anillo la norma DIN 1052 h.2 indica por cada tipo de conector: la capacidad de carga por conector tanto para esfuerzos paralelos como para oblicuos, las dimensiones mínimas de las maderas a unir y la distancia mínima entre conectores.

Agregar copia de tabla de conectores (pe: Casinello – página 372)

10.5.4.3. Otros conectores

Si no se cuenta con valores confiables, o el tipo de conector es novedoso, la capacidad de carga se determinará por ensayos conforme DIN 4110, ensayos que indiquen con precisión el mecanismo de transmisión y sus efectos. La capacidad de carga admisible se determinará dividiendo la carga media de rotura por 2,75 en tanto que el desplazamiento relativo entre las piezas unidas no será superior a 1,5 mm.

$$N_{adm} \leq \frac{N_{rm}}{2.75} \leq N[\Delta \leq 1.5mm]$$

10.5.5. Disposiciones constructivas

Las piezas de madera conectadas deben ser de calidad II o superior. Los conectores de púas o garra (a presión) sólo se usarán en coníferas.

Si el espesor de la placa del conector a presión es mayor que 2 mm, debe practicarse una caja e incrustarse en la madera.

Las uniones se asegurarán con pernos que puedan apretarse durante la vida de la construcción. La arandela se incrustará en la cara de la madera no más de 1 mm.

Para conectores de longitud o diámetro mayor o igual que 120 mm se dispondrán pernos en los extremos de los maderos de empalme.

En las tablas se indican el número admisible de conectores alineados en una junta.

Se sugiere que el espesor de la madera resulte:

$$t_1 \geq 2.25 t_D \quad \text{en maderos laterales}$$

$$t_2 \geq 3.75 t_D \quad \text{en maderos centrales}$$

La separación y distancia mínimas en uniones con conectores, están dadas en la tabla de esfuerzo para conectores industrializados y viene dada por la capacidad de cizalla de los maderos en llaves y tacos.