# DISEÑO ESTRUCTURAL DE ARMADURAS DE CUBIERTA DE MADERA

FRANCISCO ARRIAGA MARTITEGUI Y
MIGUEL ESTEBAN HERRERO

## INTRODUCCIÓN

Las soluciones tradicionales e madera para cubiertas de cios engloban un conjunto de detalles constructivos que con consecuencia directa de las particularidades de la madera como material estructural y qu muchas veces no son interpre dos correctamente por los proyectistas que, con frecuen se encuentren más cercanos a otros materiales como el horm gón o el acero. El objeto de este texto es la descripción de los tipos estructurales más frecuentes en cubiertas de madera incluyenda la explicación del comportamienta mecánico y la descripción de los detalles constructivos de las soluciones de encuentros entre las piezas. Su finalidad es apartar las aclaraciones necesarias para que el diseño de la estructura se realice ron el idamento imprescindible para un resultado viable.

## 1. CUBIERTA DE PARECILLOS

Es la forma más sencilla para la cubierta de un edificio y también fa más limitada en sus posibilidades. Si se realiza con madera maciza la luz a salvar queda limitada por la longitud de las piezas que en fa actualidad puede encontrarse en 5 metros o de manera excepcional 6 u 8 metros. La estructura se forma con un único orden de piezas dispuestas en la dirección de mayor pendiente, se denominan parecillos y apoyan sobre dos muros con diferente altura, figura 1.1. Generalmente se separan a distancias reducidas, del orden de a 60 cm entre ejes. Sobre ellos se coloca directamente un entablado o un tablero para el soporte del material de cubierta. El canto de tos parecillos suele estar en tomo a 1/16 o 1/20 del vano y el ancho alrededor de 1/3 del canto.

El apoyo de los pares sobre el muro se realiza a través de un durmiente cuya misión es servir de piano nivelado de apoyo y facilitar el anclaje de las piezas. Este durmiente, en caso necesario, debe anclarse al muro para resistir los posibles esfuerzos de succión del viento. Esta pieza trabaja sólo a compresión perpendicular a la fibra y sus dimensiones están condicionadas por razones constructivas y no de cálculo. La altura de la sección es algo menor que la anchura y las escuadrías típicas en madera maciza pueden estar alrededor de 140x100 a 200x140 mm. El encuentro de los parecillos cobre el durmiente debe hacerse en un plano horizontal, figuras 1.2, 1.3 y 1.4. De esta forma las cargas gravitatorias (carga permanente y nieve) sólo provocarán reacciones verticales evitando empujes sobre la cabeza de los muros, figura 1.5. El viento, de manera inevitable provocará reacciones horizontales sobre ambos apoyos, figura

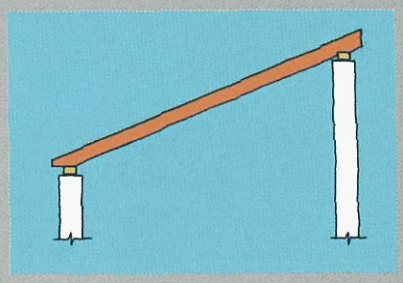


Figura 1.1

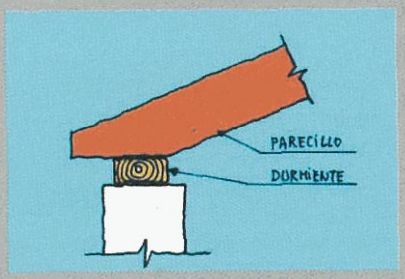



Figura 1.2

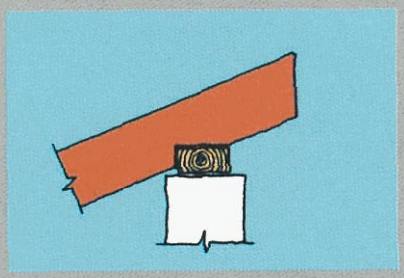


Figura 1.3

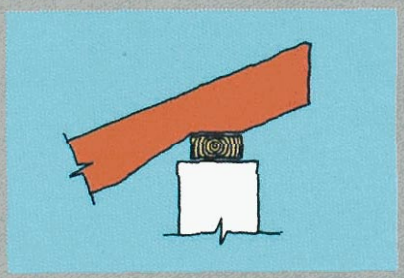


Figura 1.4

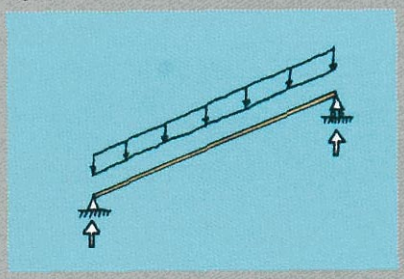


Figura 1.5

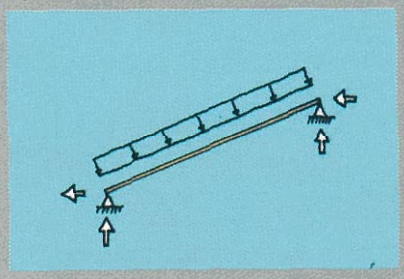


Figura 1.6

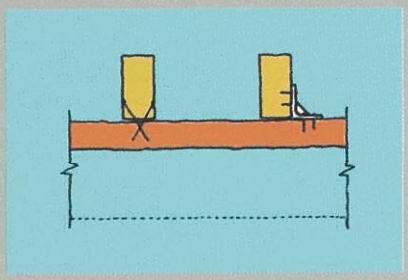


Figura 1.7

1.6.
El cálculo de las piezas debería hacerse como el de barras con los dos apoyos articulados, ya que lo normal es que los parecillos se fijen al durmiente con clavos de oído o angulares, figura 1.7, con el fin de transmitir al muro los posibles esfuerzos de succión en caso de superar el efecto del viento al de la carga permanente.

## 2. CUBIERTA DE PARECILLOS CON VIGA CUMBRERA

Consiste en una solución que permite duplicar la luz libre en la cubierta disponiendo una viga en la cumbrera de una cubierta a dos aguas, figura 2.1. Loa parecillos descansan a través de un horizontal sobre la cumbrera de manera que provocan reacciones prácticamente sólo verticales sobre la misma. Los parecillos pueden disponerse enfrentados, siempre que la anchura de la viga cumbrera lo permita, figura 2.2 izquierda, o contrapeados, figura 2.2 derecha. La primera solución tiene un aspecto más limpio en el encuentro pero exige más precisión en su ejecución.

La viga queda sometida a una flexión bajo las cargas verticales que recibe de cada faldón, figura 2.3. Además, pueden existir pequeñas componentes horizontales que produce el viento que hacen trabajar a la cumbrera en flexión esviada. Sin embargo, dado que el apoyo de los parecillos sobre el durmiente suele fijarse con un clavado o herrajes que los inmovilizan, las componentes horizontales pueden ser neutralizadas por compresiones en los parecillos.

Una solución constructiva que duplica la luz libre consiste en disponer unas vigas intermedias en cada faldón de la cubierta, que a veces se denominan vigas tercias, figura 2.4, sirviendo de apoyo al punto de encuentro entre los parecillos. Éstos pueden ser continuos o biapoyados produciéndose el relevo sobre las tercias, figura 2.5. Estas vigas apoyan en los muros testeros al igual que la cumbrera y trabajan a flexión esviada al tener que resistir las componentes perpendiculares al faldón por efecto del viento, figura 2.6.

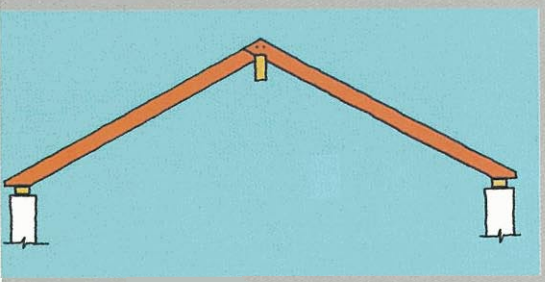


Figura 2.1

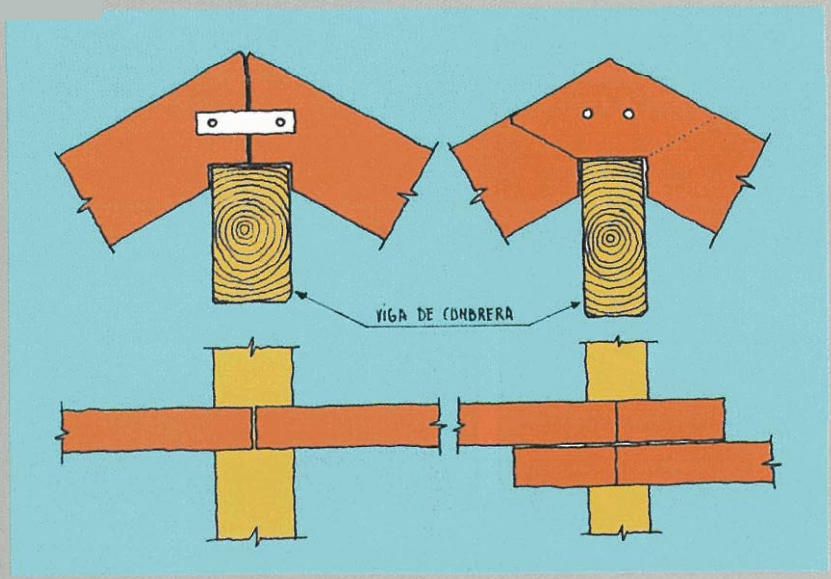



Figura 2.2

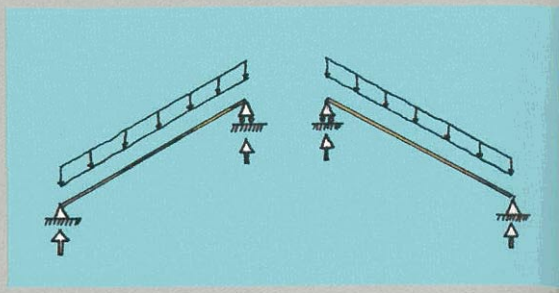


Figura 2.3

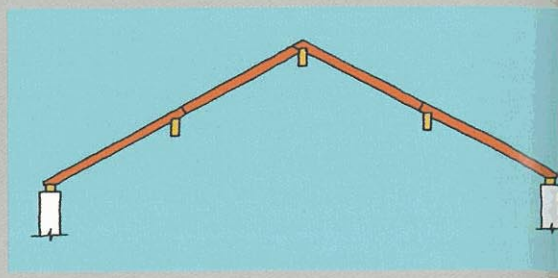


Figura 2.4

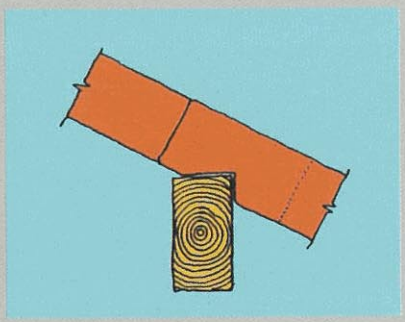


Figura 2.5

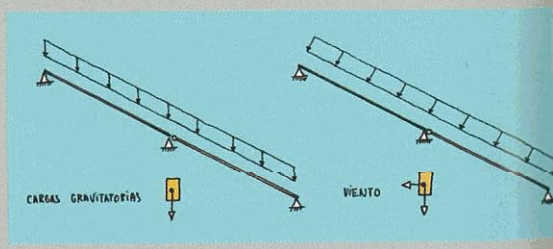



Figura 2.6

## 3. CUBIERTA DE PAR E HILERA

En la forma de par e hilera comienza a incluirse en cierto

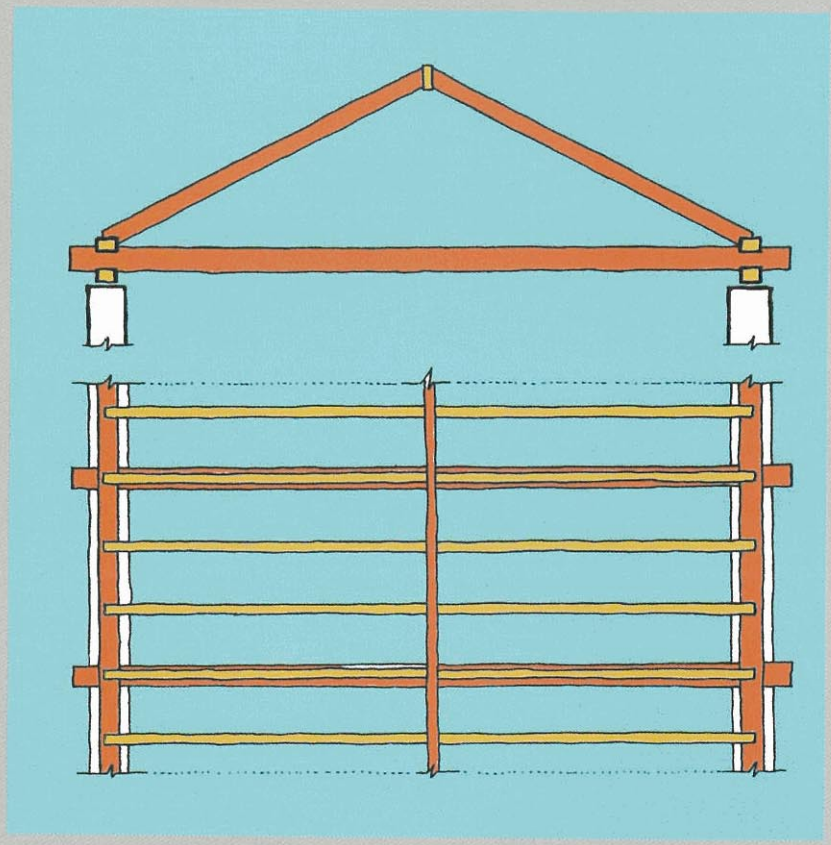


Figura 3.1

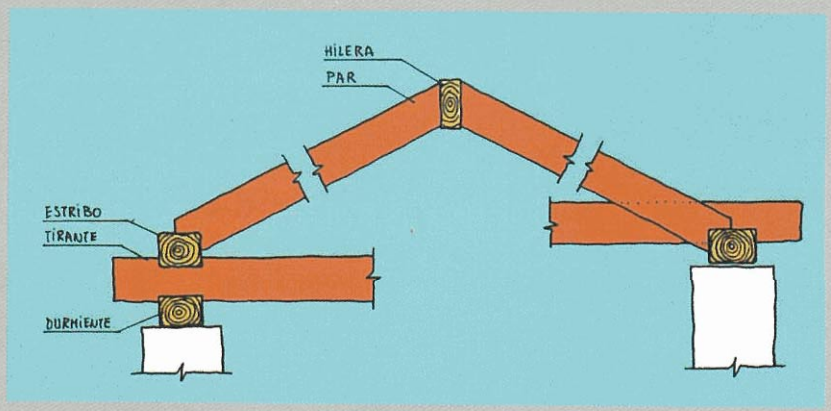



Figura 3.2

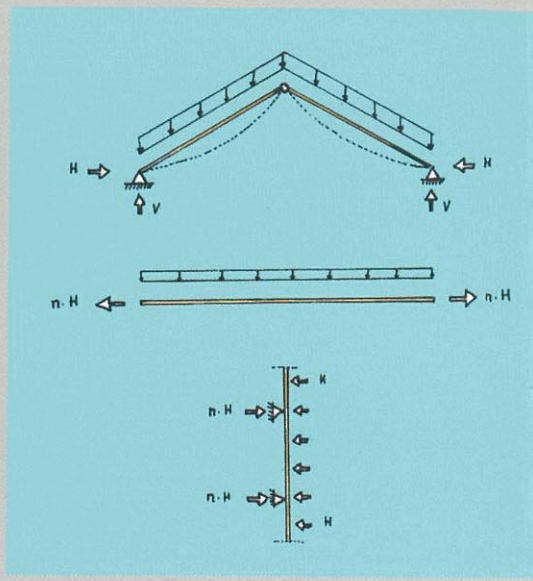



Figura 3.3

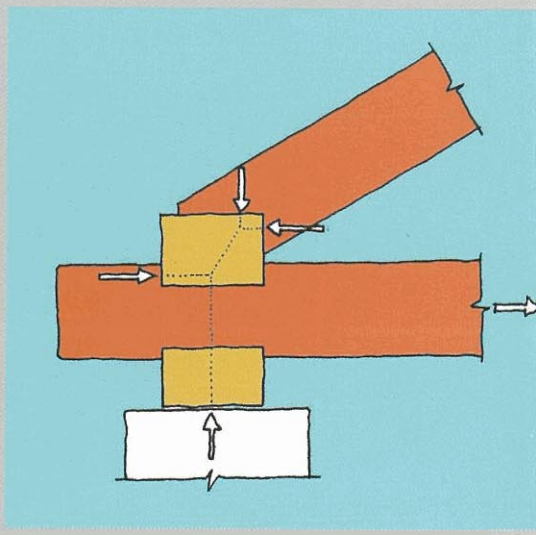


Figura 3 4

modo el mecanismo Be las estructuras trianguladas o cerchas. Los pares se encuentran en la cumbrera a través de una pieza denominada hilera cuya misión es exclusivamente servir de elemento auxiliar para la unión, figura 3.1. El empuje horizontal *que* se **produce** en los apoyos de los pares sobre el muro se resiste mediante el estribo, figura 3.2 . Esta pieza trabaja como una viga con flexiones en un plano horizontal y se consigue el equilibrio **con** los tirantes que enlazan este punto con el del muro opuesto. Los pares se disponen a distancias reducidas, del orden de los 40 a 60 m, mientras que los tirantes se distancian más, colocando uno por cada 3 o 4 pares.

Los pares se comportan como pórticos triarticulados trabajando a flexión y a compresión, como ocurre en las cerchas, provocando reacciones verticales V y horizontales N, figura 3.3. **El tirante** trabaja a tracción con un esfuerzo *n* veces la componente *H* de cada forma de pares (siendo *n* el número de parecillos por cada tirante). Finalmente, el estribo debe resistir las cargas horizontales comportándose como una viga continua apoyada sobre los tirantes. La escuadría del estribo, por esta razón, tiende a tener mayor anchura que altura. Normalmente, el tirante apoya sobre el muro mediante un durmiente cuya misión es únicamente recibir las cargas verticales, figura 3.2 izquierda. El tirante dispone de una caja para trabar al estribo con un cogote suficientemente largo para resistir el esfuerzo rasante de cose. En algunas soluciones puede eliminar-

se una de las piezas haciendo trabajar al durmiente también como estribo, figura 3.2 derecha. En este caso el tirante une al estribo desde la cara superior. El equilibrio de fuerzas que se da en el encuentro del par con el estribo y el durmiente es complejo de analizar, figura 3.4. El par tiene su extremo embarbillado con el estribo y fe comunica las dos componentes de la reacción, la vertical en el plano de corte horizontal y la horizontal en el plano de corte vertical. El estribo equilibra la componente horizontal, gracias a su anclaje con el tirante, en su parte inferior, y la componente vertical debe llegar a contrarrestarse con el eje del apoyo del durmiente.

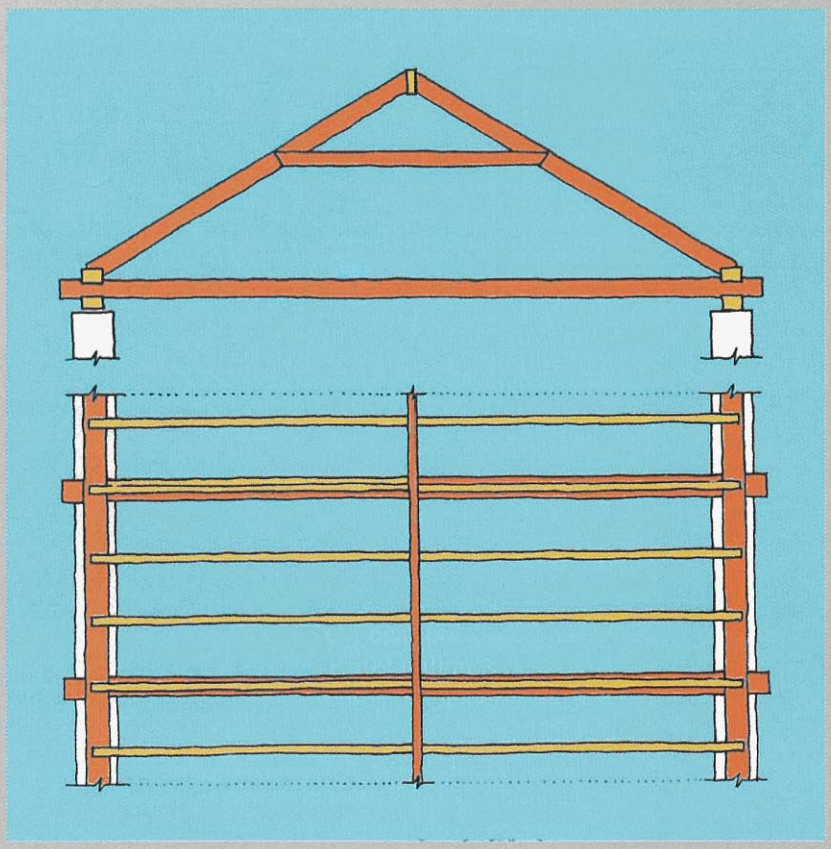


Figura 4.1

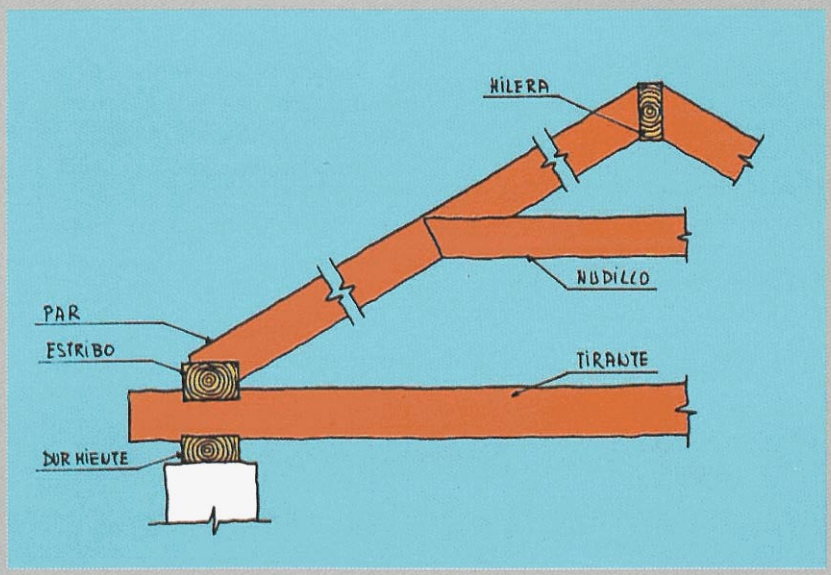
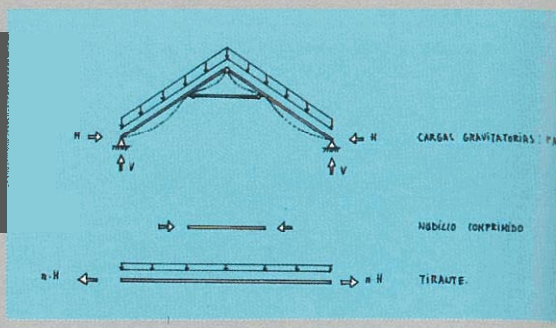
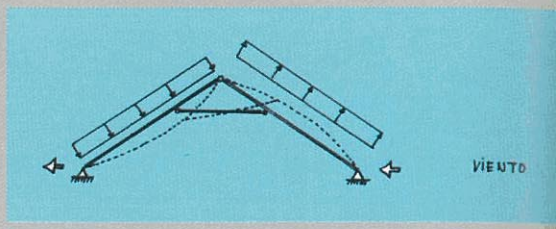
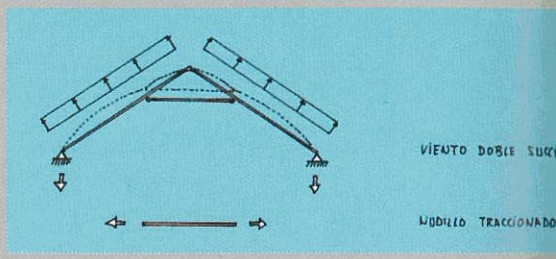



Figura 4.2




Figuras 4.3, 4.4 y 4.5

## 4. ARMADURA DE PAR Y NUDILLO

La armadura de par y nudillo es una forma de par e hilera a la que se añade una pieza horizontal que conecta los pares a una altura intermedia y que denomina nudillo, figura 4.1. La organización del resto de la estructura, estriba y tirante, sigue el mismo principio que la de par e hilera, figura 4.2. La utilidad del nudillo es la de conseguir un punto de apoyo intermedio en el vano de los pares que permite la reducción de la flexión bajo la acción de las cargas gravitatorias, figura 4.3. En estás condiciones de carga el nudillo queda comprimida comportándose como una barra biarticulada. El hecho de que esta pieza tenga una disposición similar a la de un tirante elevado hace que se le denomine

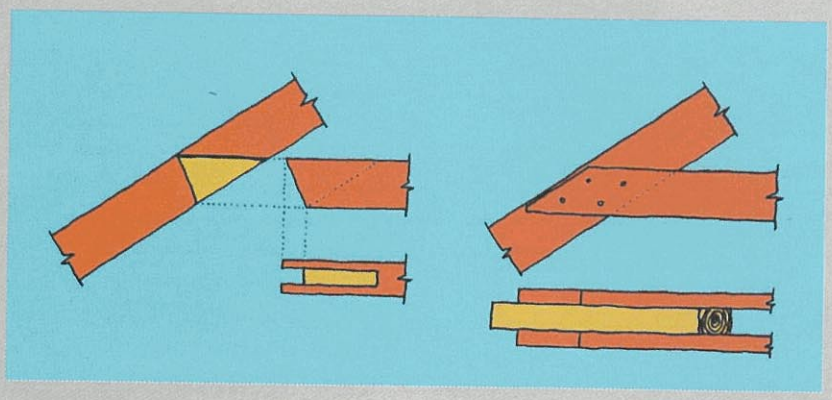


Figura 4.6

algunas veces, falso tirante.
Si se considera la actuación exclusiva del viento con presión en el faldón de barlovento y succión en el de sotavento, la flexión de los pares se realiza prácticamente con todo el vano, es decir, el nudillo se desplaza sin que apenas tenga influencia, figura 4.4. Por esta razón, para analizar la estabilidad de la pieza comprimida, la longitud de pandeo del par en el plano de la estructura debe tomarse igual a la longitud completa del mismo, sin que puedan considerarse como puntos inmovilizados los encuentres con el nudillo.
Cuando el viento provoca succión en ambos faldones, figura 4.5, y en menor grado canvientos como el de la figura 4.4, el esfuerzo axil en el nudillo debido exclusivamente al viento es de tracción. Si la compresión debida a las cargas gravitatorias resulta inferior el nudillo quedará traccionado. Por este motivo el ensamble entre par y nudillo, que se diseña principalmente para transmitir esfuerzos de compresión deberá tener cierta capacidad para transmitir tracciones. La solución tradicional con una caja en el nudillo y rebajes laterales en el par, figura 4.6 izquierda, transmite con facilidad la compresión y precisa alguna clavija para transmitir tracciones. El inconveniente que presenta es que reduce la sección del par limitando su capacidad a flexión. Una de las soluciones más simples consiste en doblar el nudillo que encepa al par y se clava lateralmente, figura 4.6 derecha.

## 5. CERCHA DE PARES Y TIRANTE

Es la forma más simple de una cercha y se forma con dos pares enfrentados directamente o a veces con una pieza intermedia a modo de hilera o correa de cumbrera y con un tirante que equilibra el empuje de los pares. La diferencia principal con los casos anteriores que presentan un comportamiento mecánico similar, es que la separación entre cerchas es mayor y puede aparecer un segundo orden en la estructura formado por las correas, figura 5.1. Normalmente la separación entre las cerchas se encuentra entre un mínimo de 2,2 m y un máximo de unos 4,0 m.
La luz a salvar queda limitada por el largo del tirante a unos 5 m como máximo. El encuentro entre

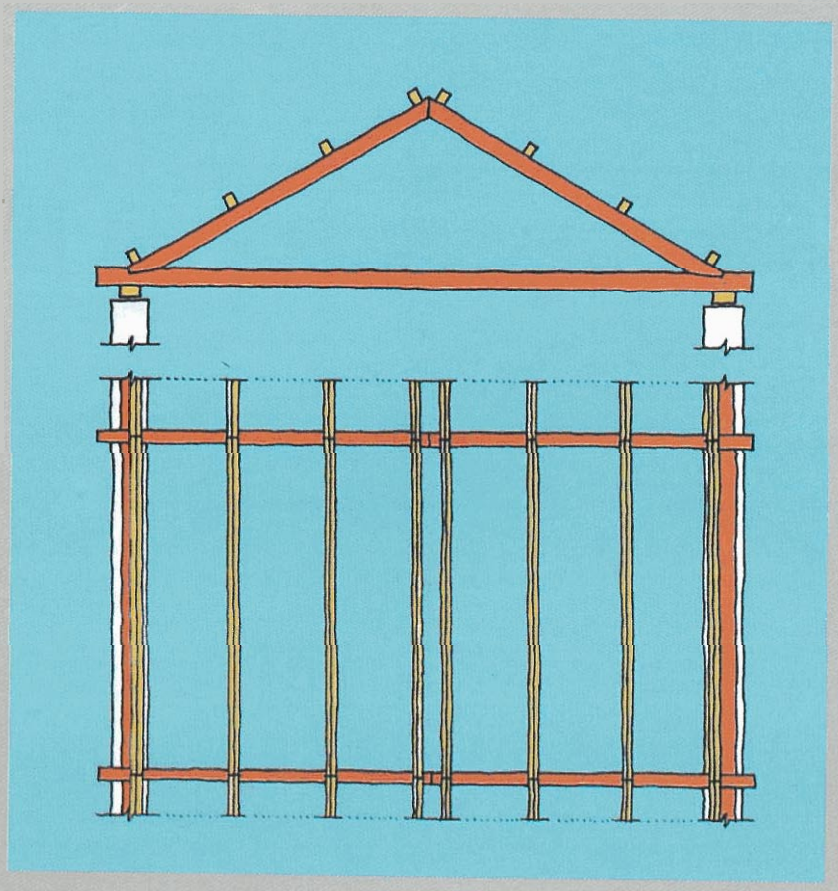


Figura 5.1

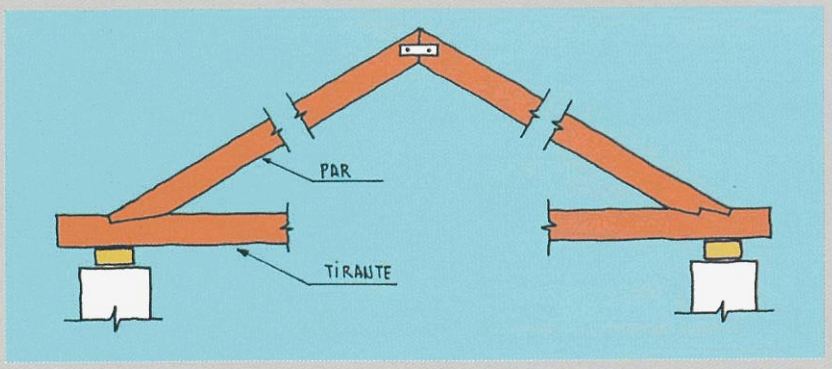



Figura 5.2

par y tirante se realiza en la construcción tradicional mediante un ensamble en forma de barbilla simple o doble como se indica en la figura 5.2, o de otra forma como la caja y espiga. El punto crítico de esta unión se encuentra en el cogote, o extremo del tirante, que debe resistir el esfuerzo axil de tracción del tirante a través de las tensiones tangenciales que se generan en un plano horizontal. La doble barbilla permite un mayor desarrollo de este plano.

La pendiente de la cubierta viene condicionada por el material de impermeabilización pero no es recomendable que el ángulo de inclinación del par baje de los 25 o 20 grados, ya que en este caso el encuentro de las piezas se efectúa con mayor dificultad y además aumenta la tracción en el tirante y por tanto la longitud del cogote. Las correas pueden predimensionarse como vigas biapoyadas con un canto del orden de 1/17 de la luz y con una proporción con la anchura que tiende a ser más cuadrada cuando el ángulo de inclinación de la cubierta se acerca a los 45 grados.

## 6. CERCHA DE PARES Y PENDOLÓN

Esta forma sólo difiere de la anterior en que se introduce una pieza vertical y centrada, denominada pendolón, que tiene dos funciones básicas: la primera es la de acortar el vano del tirante a la mitad de su luz, figura 5.1, lo que permite reducir la flecha que tendría bajo su peso propio o debidas a un posible falso techo: y la segunda es la de facilitar el

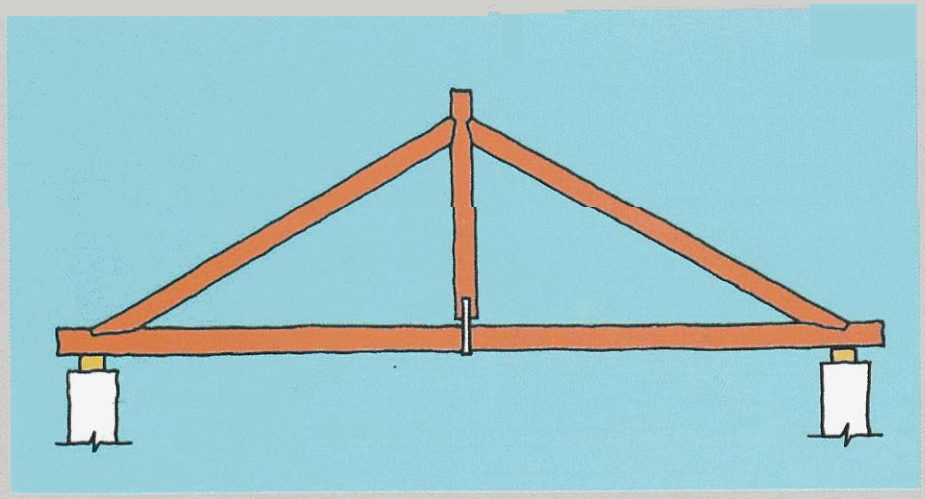
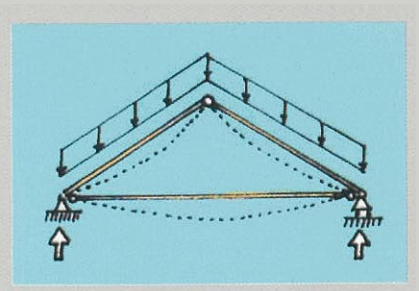


Figura 6.1



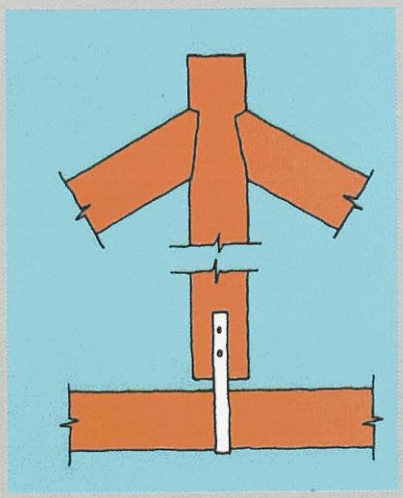


Figura 6.2

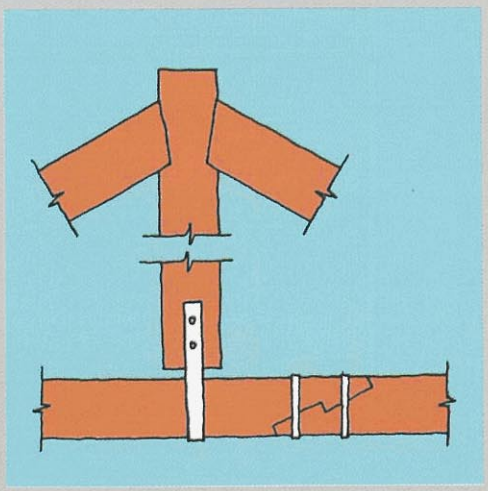
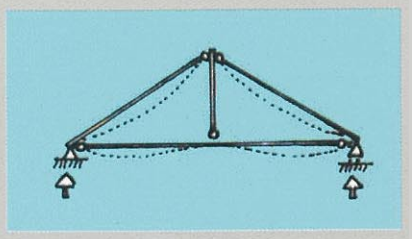
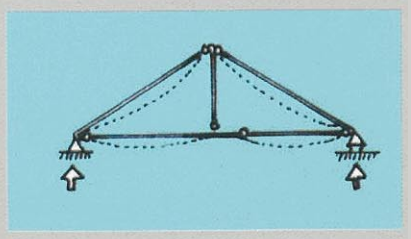


Figura 6.3





Figuras 6.4, 6.5 y 6.6

encuentro de los dos pares en la cumbrera de la cubierta, figura 6.2. Este encuentro puede realizarse de varias formas que incluyen rebajes en el pendolón permitiendo la entrada y el acodalamiento de la pares, figuras 6.2 y 6.3. La luz que puede salvar está par debajo de los 6 o 7 m.

Otra de las ventajas que presenta es la de permitir que el tirante se construya con dos piezas empalmadas en un punta que queda ligeramente desplazado a uno de la lados del punto medio. Este empalme puede realizarse mediante un raya de Júpiter, como se indica en la figura 6.3, o mediante otro tipo de empalme como el de llave.

Los pares trabajan a compresión y flexión con todo su vano, figura 6.4, y el tirante a tracción y algo de flexión, figura 6.5. La articulación que implica el empalme del tirante, en su caso, puede añadirse gracias al punto intermedio de cuelgue que aporta el pendolón, figura 6.6 (en otro caso formaría un mecanismo). Debe observarse que el pendolón no apoya sobre el tirante debido a que éste resulta mucho más flexible que lo que puede ceder la cumbrera de la cercha. Normalmente se deja una holgura del orden de 5 a 8 cm entre ambas piezas para evitar el contacto. El cuelgue del tirante se realiza con frecuencia con una brida metálica, que no se fija al mismo para impedir que apoye el pendolón. Cuando en una cercha de este tipo el pendolón ha llegado a tocar al tirante es debido a algún tipo de deslizamiento de las uniones no deseado, que en algunos casos indica una patología.

## 7. CERCHA DE PARES, PENDOLÓN Y TORNAPUNTAS

En esta forma de cubierta se añaden las tornapuntas cuya misión es acortar el vano de los pares para evitar que queden limitadas por la flexión de su vano, figura 7.1. Prácticamente suponen un punto de apoyo intermedio para los pares haciendo que éstos se comporten como si fueran vigas continuas. Las tornapuntas quedan comprimidas como piezas biarticuladas y equilibran sus empujes en el encuentro con el pendolón, figura 7.2.

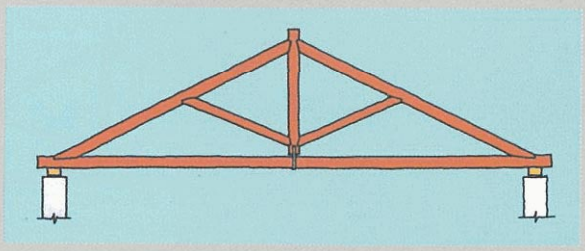


Figura 7.1

El modelo de barras que se puede utilizar para su análisis matricial es el definido en la figura 7.3, donde se aprecia la deformada como vigas continuas de los pares. Para simular la posibilidad de deslizamiento entre el tirante y la brida de cuelgue del pendolón puede representarse la brida como una barra biarticulada, que se comporta como una biela.

Con este tipo de cercha se puede salvar una luz de 10 o 12 m. El tirante suele encontrarse formado por dos piezas empalmadas como se ha comentado en el caso anterior. Los puntas críticos de estas armaduras se encuentran en la flexocompresión de los pares, en el cogote del ensamble entre par y tirante y a veces en el empalme del tirante. Generalmente, el pendolón se encuentra a niveles de tensión muy bajos y

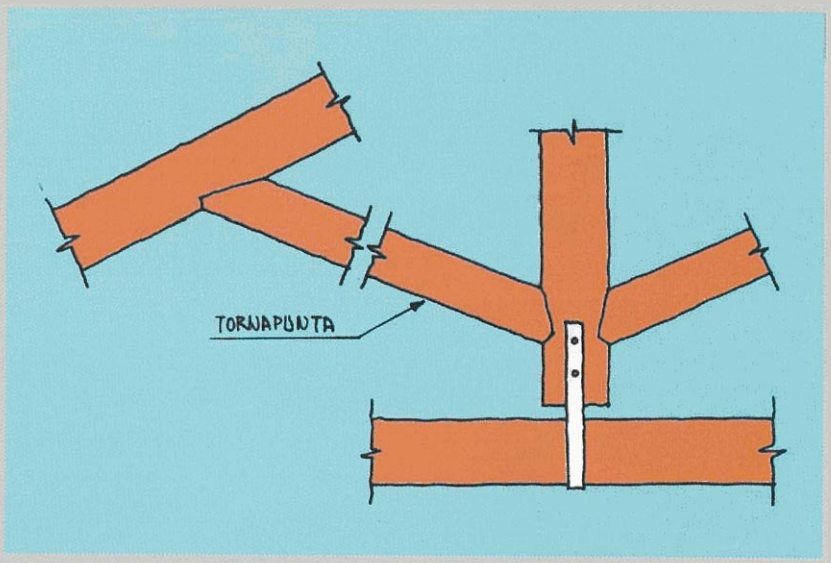



Figura 7.2

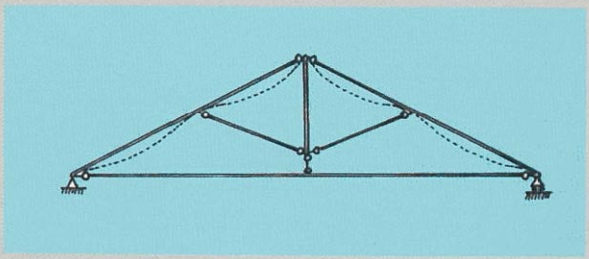


Figura 7.3

su zona crítica es el estrechamiento en el encuentro con las tornapuntas y el cogote para resistir el esfuerzo rasante.

## 8. CERCHA CON PENDOLÓN Y PÉNDOLAS

Este tipo de cercha puede alcanzar luces del orden de16 a 18 m. Con respecto al caso anterior se han añadido dos piezas nuevas verticales en los puntos situados aproximadamente en el cuarto del vano total. Su misión es constituir nuevos puntos de apoyo intermedios para el tirante, evitando la deformación por su peso propio o por cargas de falso techo, figura 8.1. Además tiene la función de facilitar el encuentro entre la tornapunta y una pieza de refuerzo del par en su tramo inferior, figura 8.2. Normalmente, la mayor luz de estas cerchas provoca esfuerzos de compresión de cierta importancia en los pares que además son mayores según se acerca a los apoyas. De esta manera este tramo queda fácilmente reforzado sin necesidad de recurrir a una escuadría mayor para todo el par.

El análisis de la estructura media& el cálculo matricial puede realizarse con un modelo de barras parecido al representado en la figura 8.3. El doble par puede representarse como dos barras que se conectan con otras barras perpendiculares ficticias que se disponen como bielas a corta separación emulando el efecto del contacto entre ambas piezas. Los apoyos requieren un dispositivo ficticio, como el triángulo representado en la figura, con el fin de representar el apoyo del punto de encuentro entre pares y tirante sobre el eje del muro.

En la figura 8.4 se representa una cercha descompuesta en dos formas para entender el funcionamiento del conjunto. La parte inferior constituye prácticamente un conjunto de dos pequeñas cerchas que suponen apoyos intermedios para la forma superior, y a la vez forman otra cercha mayor que completa la estructura.

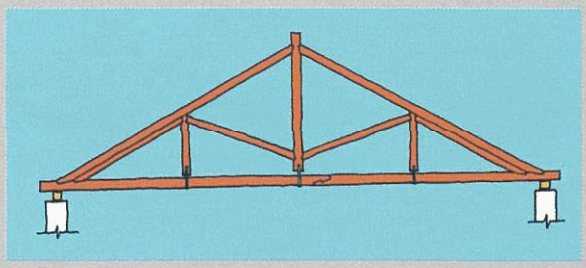


Figura 8.1

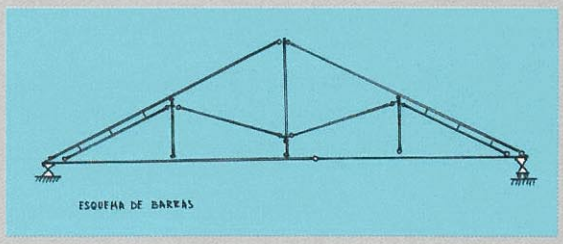



Figura 8.3

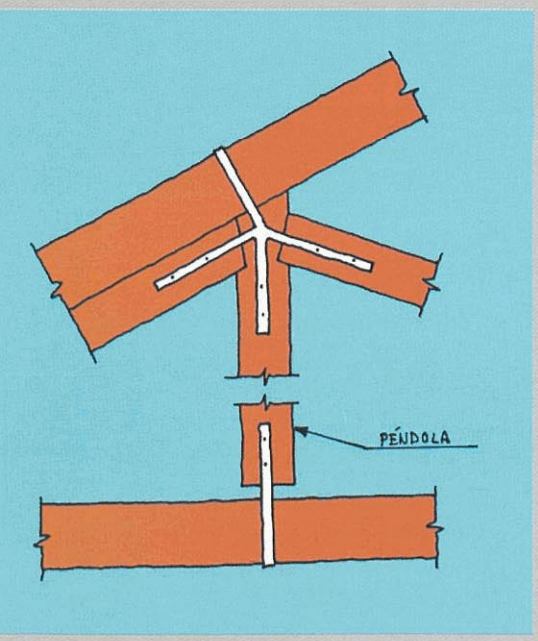



Figura 8.2

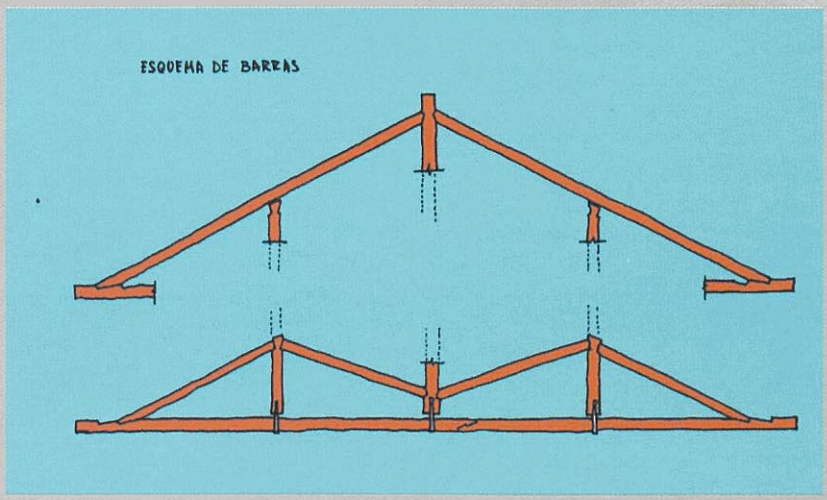



Figura 8.4