

# ESTRUCTURA SECUNDARIA EN CUBIERTAS DE MADERA

## planteamientos generales de proyecto

FRANCISCO ARRIAGA MARTITEGUI Y  
MIGUEL ESTEBAN HERRERO

### Introducción

La estructura secundaria de la cubierta está constituida por las piezas que salvan el vano entre los elementos principales de la estructura y que generalmente se trata de correas. Son piezas de menor escuadría y longitud y su repercusión en el conjunto representa un porcentaje en volumen variable desde un 20 % (en luces de la estructura principal del orden de 20 m) a un 30 % (en luces del orden de los 10 m). Las soluciones constructivas para resolver los detalles de encuentro suelen diferir ligeramente según se trate de una estructura de madera maciza o laminada encolada por las razones que a continuación se exponen.

### Madera maciza

La estructura secundaria planteada con madera maciza es empleada con estructuras principales en el mismo material; raras veces se emplean con estructura principal de madera laminada encolada, generalmente debido a que el fabricante de la estructura laminada incluye en el mismo material todo el conjunto.

La disponibilidad de piezas de madera aserrada en el mercado se limita a longitudes máximas de 4 o 5 metros; más difícilmente se encuentran piezas de mayor longitud, lo cual obliga a que la estructura principal se repita con separaciones igualmente reducidas.

En algunos casos, como el representado en la figura 1, sobre la estructura secundaria constituida por las correas, apoya otra de menor orden formada por los parecillos, lo que permite separar entre sí las correas a distancias de 1,50 a 2,00 metros. Normalmente, los puntos de apoyo de las correas se hacen coincidir con los nudos de la estructura principal para disminuir la flexión en los pares. Esta solución recurre con frecuencia a emplear

Figura 1



Figura 2

pequeños rollizos para los parecillos y el resultado adquiere un aspecto más rústico.

Sin embargo, la solución más típica consiste en la disposición de las correas con una separación reducida (de 40 a 80 cm) sobre las que se apoya el entablado o panel de la cubierta, figura 2. Si se emplean tableros derivados de la madera o paneles prefabricados para el cerramiento de la cubierta la separación entre correas deberá

coordinarse con sus dimensiones, lo que da lugar a las separaciones típicas de 30, 40, 60 y 80 cm, múltiplos de 2,40 metros (dimensión con la que se comercializan este tipo de productos).

La escuadría de las correas está limitada a las habituales en el mercado de la madera aserrada, lo que conduciría para este uso a un mínimo de 45x100 mm y un máximo de 100x300 mm. En el caso de que la madera quede vista y existan requisitos



de estabilidad al fuego la dimensión mínima de la sección puede ser un condicionante previo.

Las correas apoyan sobre la cara superior del par o dintel y se afianzan con un ejón de madera clavado o con un angular metálico clavado o atornillado, figura 3. Esta fijación debe ser capaz de resistir la pequeña componente debida al deslizamiento de la correa sobre el par y al vuelco, así como la posible reacción negativa por efecto de la succión del viento.

El relevo de las correas en el apoyo puede resolverse de varias maneras. La más sencilla es el relevo a

tope, figura 4a, que tiene la ventaja de la continuidad visual de las correas a lo largo de la cubierta lo que además facilita el clavado de los tableros de cerramiento de la cubierta y la resolución de los detalles constructivos de borde (aleros, limas). Por otro lado, se precisa una anchura adecuada del par o dintel para poder aportar la superficie necesaria de apoyo a cada correa. La entrega de cada correa deberá tener una longitud mínima de 3 o 4 cm. Una forma de facilitar este apoyo es la solución de relevo a media madera en vertical, figura 4b.

La solución de relevo contrapeado, figura 4d, tiene la ventaja de conseguir una entrega total en la cara superior del par o dintel y una menor exigencia en la precisión de la longitud de las piezas facilitando el montaje. Finalmente, en la figura 4c se representa la solución de apoyo con vuelo lo que permite dar continuidad a la correa si se clavan correctamente entre sí. La longitud volada deberá estar alrededor de 2 o 3 veces el canto de la correa.

El cálculo, salvo en el último caso de la correa continua, se realiza como el de una viga biapoyada sometida a una flexión esviada debido a la componente paralela a la dirección de máxima pendiente de la cubierta causadas por las cargas gravitatorias. En estas piezas de pequeña escuadría puede resultar de relevancia la carga puntual de montaje que especifica la normativa de acciones. La norma básica de la edificación NBE AE/88 indica una carga puntual de 100 kp en el punto más desfavorable. El Eurocódigo 1 de acciones en la edificación especifica en cubiertas una carga puntual de 150 kp, no simultánea con otras sobrecargas.

## **Madera laminada encolada**

En este material ya no

existen las limitaciones anteriores sobre la escuadría y la longitud de las piezas. La luz de las correas está relacionada con la luz de la estructura principal, normalmente la solución económica se obtiene con luces de correa del orden de una cuarta o quinta parte de la luz principal. Sin embargo, los condicionantes de uso de la edificación pueden modificar totalmente esta proporción. La luz de correa más frecuente está entre los 4 y 7 metros, pero pueden alcanzarse los 12 o 14 metros.

La escuadría de la correa es función de luz y carga, pero normalmente requieren un canto de 1/17 de la luz y su anchura está entre la mitad y la cuarta parte del canto. Además, el ancho deberá ajustarse a los anchos estándar, que suelen variar ligeramente dependiendo del fabricante; normalmente siguen la gama siguiente: 80, 90, 100, 105, 115, 135 mm. También el canto final de la pieza deberá ajustarse a un valor múltiplo del espesor de lámina utilizado por el fabricante; gruesos típicos son 33, 38 y 45 mm.

Si no existen codales o tirantillas intermedias que reduzcan la luz de la correa en el sentido transversal, cuanto mayor sea la



Figura 3



Figura 4

pendiente de la cubierta la sección de la correa tiende a proporciones más cuadradas. Así para un ángulo de  $10^\circ$ , el canto,  $h$ , puede predimensionarse como  $l/18$  (y un ancho  $b$  del orden de  $h/2,5$  a  $h/3$ ), con  $15^\circ$   $h = l/19$  y  $b = h/2$  a  $h/2,5$  y para un ángulo de  $20^\circ$   $h = l/20$  y  $b = h/1,7$  a  $h/2$ .



Figura 8



Figura 5



Figura 6

La disposición de la correa puede ser normal al faldón o vertical, figuras 5 y 6 respectivamente. La primera opción es la más frecuente y da lugar a flexiones en el eje débil debidas a las cargas gravitatorias (carga permanente  $G$ , y nieve  $N$ ) mientras que la acción del viento  $V$ , sólo produce flexión respecto al eje fuerte. Por estas razones, la posición de la correa en vertical resulta adecuada cuando las cargas de nieve sean de gran importancia, comparadas con el efecto del viento. Esta disposición presenta el inconveniente de que la cara superior de la correa precisa una mecanización añadida para dotarla del

ángulo de la cubierta, con un desperdicio de madera.

Las correas terminan contra la cara de la viga y se apoyan en ella gracias a un herraje diseñado específicamente para este fin. En este caso y contrariamente a la solución adoptada en las correas de madera maciza, la cara superior de la correa queda enrasada con la cara superior de la viga principal, figura 8. De esta manera se facilita el montaje de los tableros o paneles de la cubierta, además de conseguir que las correas actúen como codales o puntales del borde comprimido de la viga, a través del sistema de arriostramiento que se adopte.

Los herrajes de apoyo normalmente se fabrican en chapa de acero galvanizado con un espesor de 2 mm y se pliegan para formar la caja de alojamiento de la cabeza de la correa y unas alas para su clavado a la viga principal. Las

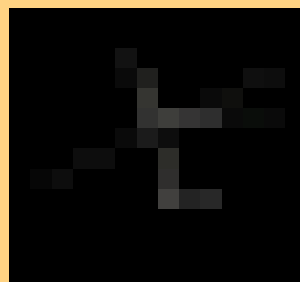


Figura 7



## ESTRUCTURAS

chapas vienen taladradas para el clavado. Como norma habitual el herraje debe alcanzar una altura mínima de  $2/3$  del canto de la correa. La transmisión de la reacción positiva de la correa se realiza mediante compresión perpendicular a la fibra repartida en la superficie de apoyo; esta fuerza debe ser resistida también por el conjunto de clavos que conectan el herraje con la viga principal. La posible reacción negativa debida al efecto de succión del viento deberá

ser resistida por el clavado anterior y por el que conecta la correa con el herraje.

Menos frecuente, al menos en Europa, es la solución que se representa en la figura 9, donde la correa apoya en la viga mediante un escalón; el efecto de codal se mantiene gracias al rebaje, pero se precisa un herraje en la cara superior de la viga que actúe como ejión. Esta solución tiene la ventaja de permitir el paso de instalaciones de pequeño tamaño en la dirección de

las correas, por encima de la viga principal.

Aunque la madera laminada encolada permite con facilidad la realización de piezas de gran longitud, y se podría pensar en proyectar las correas como vigas continuas, lo que permitiría reducir el canto de la pieza a  $l/20$ , la norma general es la disposición biapoyada de las correas. La causa es que el ahorro de madera que se consigue no compensa la mayor complicación del montaje y la necesidad de herrajes

de enlaces articulados en la solución de vigas de tipo Gerber. Además, las piezas biapoyadas se pueden fabricar con una contraflecha que permite optimizar el material de una manera más sencilla y económica.

### Codales y tirantillas

Como ya se ha comentado anteriormente, la componente de las cargas que actúa en la dirección paralela al faldón de la cubierta somete a la correa a flexión respecto al eje débil. Para disminuir su efecto se recurre a disponer piezas que acorten la luz en esa dirección, denominadas tirantillas si trabajan a tracción o codales si lo hacen a compresión. Normalmente, en estructuras de madera aserrada se emplean tirantillas mediante un fleje metálico con taladros para su clavado a la cara superior de las correas, figura 10. Esta línea de carga se equilibra con la del faldón opuesto. El fabricante de herrajes para estructuras de madera incluye una gran diversidad de piezas de apoyo, angulares, flejes, etc.

En estructuras de madera laminada encolada normalmente la estructura de correas no incluye estos elementos para acortar el vano en la dirección del faldón; quizás porque las



Figura 9



Figura 10



Figura 11

pendientes de la cubierta suelen ser menores. En algunos casos en los que este refuerzo es necesario, como por ejemplo los arranques de arcos donde la pendiente es mayor, se suele recurrir al sistema de codales, figura 11. Se disponen uno o varios codales intermedios que trabajan a compresión y las cargas las llevan a la cimentación directamente o a la cabeza de los apoyos verticales.

### Correas puntales

Generalmente, la solución para el arriostramiento del conjunto de la edificación incluye en la cubierta unas triangulaciones (en madera o con tirantes metálicos) que constituyen las vigas contraviento, como ocurre en la construcción metálica. De este modo alguna de las correas se convierten en montantes de una viga de celosía y trabajan a compresión además de su misión de flexión como correa. En grandes luces como las

que se dan en las estructuras de madera laminada, los esfuerzos de compresión que deben resistir exige unas escuadrías mayores; normalmente la anchura de la sección es la que se aumenta, con el fin de disminuir su esbeltez frente al pandeo.

### Estabilidad al fuego

La estructura secundaria consta de escuadrías más pequeñas que las empleadas en la estructura principal, por lo que la estabilidad al fuego suele ser un criterio que limita principalmente la anchura de la sección. La normativa actual de incendios (CPI/96) especifica un tiempo de estabilidad al fuego mínimo para elementos estructurales de una cubierta de 30 minutos. En madera laminada de coníferas la pérdida de sección en cada cara expuesta se produce con una velocidad de carbonización eficaz de 0,7 mm/min; a esta carbonización deberá sumarse una pérdida

equivalente al efecto de pérdida de resistencia perimetral por temperatura de 7 mm (constante a partir de los primeros 20 minutos de incendio). Es decir, que después de 30 minutos de incendio la profundidad carbonizada será de 28 mm en cada cara expuesta (0,7 mm/min · 30 min + 7 mm). Así una correa con una anchura de 80 mm quedará con una anchura al cabo de ese tiempo, de tan solo 24 mm. Generalmente, para cumplir la estabilidad al fuego de 30 minutos se requieren anchuras mínimas del orden de 100 mm.

En el caso de la madera maciza de coníferas la velocidad de carbonización eficaz aumenta hasta 0,8 mm/min, mientras que en las frondosas es de 0,5 mm/min.

Los herrajes constituyen un problema de más difícil solución en caso de incendio. Para conseguir una estabilidad al fuego de 30 minutos

los herrajes anteriormente citados deberán tener un espesor mínimo de 4 mm. Estos datos son ofrecidos por el fabricante de los herrajes a partir de los ensayos que han realizado. A estos efectos, la normativa francesa (Document Technique Unifié. Régles bois feu 88) también acepta una EF 30 en herrajes sin protección para apoyo de correas con espesores mínimos de 4 mm siempre que las chapas se encuentren en contacto con la madera; en otros casos exige para alcanzar esa estabilidad chapas con espesor mínimo de 6 mm. El Eurocódigo 5 en su parte 1-2 relativa al cálculo en situación de incendio es más exigente; para considerar una EF 30 en chapas metálicas expuestas directamente al fuego en una cara y sin protección se especifica un espesor mínimo de 6 mm y un índice de agotamiento en condiciones normales de la unión no superior a 0,45.