

Estructura deteriorada de la UNA CUBIERTA en Pozoblanco (Córdoba)

1. ANTECEDENTES

Durante unas obras de rehabilitación han aparecido patologías de diferente tipo en la estructura de madera de la cubierta de un edificio situado en el casco urbano de Pozoblanco, provincia de Córdoba. Este edificio debe albergar un organismo de la Diputación Provincial de Córdoba.

Se trata de un edificio datado en 1903 que ha recibido diversos usos a lo largo de su historia y consta de varios módulos de los que sólo uno es objeto del informe. Éste es de planta rectangular con planta baja, un forjado a una altura intermedia y cubierta a cuatro aguas. Los muros son de fábrica de ladrillo macizo. El forjado de la altura intermedia es de estructura metálica y la estructura de cubierta es de madera.

La cubierta está formada por unas cerchas principales, de unos 12 metros de luz (cercha tipo), apoyadas sobre los muros perimetrales y formando los faldones a cuatro aguas. La cercha tipo está formada por pares, tirante en dos piezas empalmadas mediante un rayo de júpiter, pendolón, tornapuntas y péndolas con varilla metálica. Algunas de las uniones cuentan con elementos metálicos de refuerzo. Las cerchas tipo van apoyadas sobre los muros Este y Oeste del edificio.

Los faldones Norte y Sur están formados por semicerchas apoyadas por una parte en el muro exterior y, por otra, en la última cercha principal o cercha de extremo mediante semicerchas que forman las limas. El apoyo de las cerchas se realiza mediante un durmiente intermedio que recorre todos los muros. El muro se encuentra recrecido en los espacios entre cerchas con relleno de piedra



EL TIRANTE PRESENTA UNA ROTURA POR FLEXIÓN EN LA ZONA DE APOYO DEL ENANO.

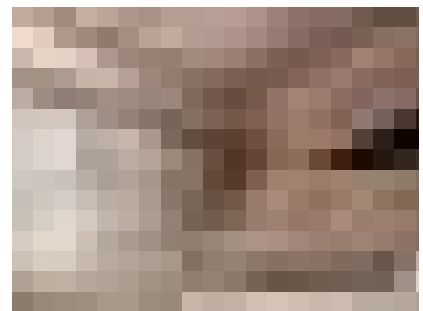
que oculta la entrega de las cerchas sobre el muro.

Sobre las cerchas existe una estructura secundaria de correas de pequeña sección, colocadas relativamente juntas, un entablado y la teja sin materiales de relleno.

2. PATOLOGÍA DE ORIGEN BIÓTICO

Se han encontrado pudriciones pardas generalizadas en las cabezas de las cerchas y otros elementos (durmierte, correas cercanas al muro y entablado) en los apoyos sobre el muro Norte del edificio. En algunos de estos puntos se produce una pérdida total de la capacidad resistente de la madera, produciéndose un completo aplastamiento del apoyo sobre el durmiente.

En este muro se aprecian abundantes manchas de humedad que proceden



SEMICERCHA EN FALDÓN NORTE: EXISTE UNA PUDRICIÓN TOTAL Y APLASTAMIENTO DEL APOYO DE LA CERCHA SOBRE EL DURMIENTE.

de los fallos de la cubierta en el encuentro con el edificio colindante. Es posible que exista un canalón obstruido. Desde el exterior se aprecia la existencia sobre este faldón de una buharda que puede haber propiciado o acelerado el fallo de la impermeabilización de la cubierta en este tramo.

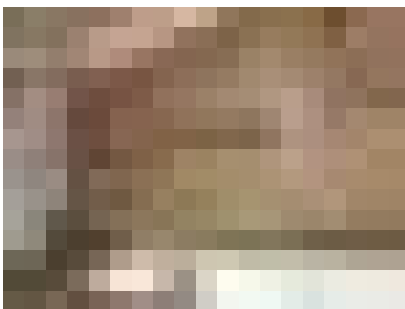


El contenido de humedad de la madera en esta zona alcanza valores superiores al 20 %, lo cual indica que los aportes de humedad son relativamente recientes y que los ataques por pudrición se encuentran activos. En la cercha que soporta las formas o semicerchas del faldón norte se aprecian pudriciones en la base del pendolón y en el encuentro con otras piezas, punto prácticamente inutilizado debido al deterioro de la madera. El pendolón de ha sufrido un descuelgue de la cercha principal, que a su vez, se encuentra sometido a un importante

la estructura resultó imposible durante la inspección, el resto de la madera de la cubierta presenta un aspecto de conservación correcto, no observándose patologías graves de origen biótico. Con carácter generalizado aparecen manchas de humedad en el entablado que, salvo en las zonas indicadas, no parecen haber afectado a la estructura.

3.PERITACIÓN ESTRUCTURAL

La peritación estructural se ha llevado



SEMICERCHA EN FALDÓN NORTE: LA MADERA DE LA CERCHA Y DEL DURMIENTE SE ENCUENTRA EN BUEN ESTADO HASTA DONDE ES POSIBLE LA INSPECCIÓN. EL ESTADO DEL ENTABLADO ES IRREGULAR.

esfuerzo de compresión mostrando un importante pandeo. Es posible que estos daños se hayan producido por entrada de agua y fallo de impermeabilización de la cubierta en la cumbrera o punto de encuentro de los tres faldones.

Aunque el acceso a las zonas altas de

EN TODA ESTA ZONA SE OBSERVAN ABUNDANTES MANCHAS DE HUMEDAD A LO LARGO DE TODO EL PENDOLÓN CON TRAZAS DE PUDRICIÓN. EL PENDOLÓN SE ENCUENTRA APOYADO SOBRE EL TIRANTE, PRESENTANDO UNA FUERTE DEFORMACIÓN POR PANDEO. EL PENDOLÓN SE ENCUENTRA CON UNA PIEZA DE MADERA ADOSADA A LO LARGO DE LA PIEZA.

a cabo sobre el estado actual de la estructura partiendo de unos supuestos conservadores para valorar con seguridad la situación real de la estructura y sus posibilidades de cara al estado reformado.

3.1. BASES DE CÁLCULO

NORMATIVA DE CÁLCULO

La comprobación de cálculo se ha realizado conforme al Eurocódigo 5.

CLASE DE SERVICIO

Aunque actualmente el edificio se

encuentra desocupado y expuesto a exterior bajo cubierta, se ha considerado una clase de servicio I que se corresponde con una situación de interior y que resulta menos desfavorable para la estructura.

TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL Y MODELO DE CÁLCULO

Los elementos estructurales analizados han sido los siguientes: correas y cercha (pares, tirante, pendolón, tornapunta, péndola).

En cuanto a estabilidad lateral se considera que en el mejor de los casos la configuración de la cubierta a cuatro aguas puede estabilizar lateralmente las cerchas en dos puntos intermedios por cada faldón.

La geometría del edificio (valores aproximados a efectos de determinación de las acciones de viento y nieve) son: altura de cumbrera; 9 m, altura de muros; 6 m, pendiente del faldón; 24 °; huecos: < 33 %.

La localización del edificio es la siguiente: altitud, 650 m, zona eólica: W en situación normal, no expuesta.

ACCIONES CONSIDERADAS EN EL CÁLCULO

- Carga permanente:
 - Teja + entablado: 60 kp/m².
 - Teja + entablado + correas: 63 kp/m².
- Nieve: 80 kp/m² (altitud 601 a 800 m s.n.m). Duración corta.
- Viento A: + 18 / - 13 kp/m². Duración corta.
- Viento B: - 21 / - 51 kp/m². Duración corta.
- Mantenimiento: 100 kp. Duración corta.

PROPIEDADES RESISTENTES DE LA MADERA

La madera ha sido identificada con suficiente probabilidad como *Pinus caribaea*, un tipo de madera bastante utilizado a finales del siglo XIX y principios del XX. Es una madera procedente del sur de Estados Unidos o de Cuba, conocida comercialmente como Pitch pine.

Las normas británicas de clasificación (British Standard BS 4978) aplicadas a esta especie dan lugar a calidades SS y GS, que se corresponden con las clases resistentes C24 y C18 respectivamente, según la norma UNE EN 1912 «Madera estructural. Clases resistentes. Asignación de especies y

calidades visuales» y el sistema de clases resistentes descrito en la norma UNE EN 338 «Madera estructural. Clases resistentes».

Aunque no se dispone de información suficiente para aplicar la norma británica de clasificación, la experiencia en informes sobre clasificación visual de madera para uso estructural suele recomendar las calidades medias o bajas a los lotes de madera sin previa clasificación.

Por ello, en este caso se asigna una clase resistente C18.

3.2. RESULTADOS DE CÁLCULO

A continuación se analiza la situación general de la estructura y de las piezas que la componen. En un punto aparte se analizan las uniones.

CORREAS

En las tablas siguientes se resumen los resultados del cálculo, distinguiendo las flexiones que se producen según los dos ejes principales de la correa (dirección paralela al plano del faldón de cubierta y dirección perpendicular): El índice de agotamiento en el plano del faldón (1,795) puede reducirse si se dispone de un codal o tirantilla que acorte la luz de la pieza. Con la disposición constructiva actual no se puede garantizar que el entablado de la cubierta pueda cubrir este efecto. El índice obtenido por flexión en el plano perpendicular al faldón (1,635) indica que esta pieza se encuentra a un 63,5 % de tensiones por encima de su capacidad según la norma.

CERCHA TIPO

En los pares se obtiene un índice ligeramente superior a lo admisible, debido sobre todo a la posibilidad de pandeo en el plano del faldón. Se ha considerado que el efecto de las correas aportan estabilidad lateral a las cerchas al limitar el pandeo de los pares en el plano del faldón. Al no poder garantizar que este efecto sea completo y limite completamente el pandeo, se ha considerado que la longitud eficaz de pandeo de los pares queda limitado en, al menos, dos puntos intermedios. En este caso, basado en una situación conservadora de cálculo, se obtienen índices superiores a la unidad en las



EN ESTE PUNTO CONCURREN, ADEMÁS DE LA CERCHA PRINCIPAL, TODAS LAS SEMICERCHAS DEL FALDÓN NORTE. TODAS LAS PIEZAS EN TORNO A ESTE PUNTO PRESENTAN ABUNDANTES MANCHAS DE HUMEDAD Y TRAZAS DE PUDRICIÓN. EL HERRAJE QUE RESUELVE LA UNIÓN DE LAS PIEZAS EN EL PLANO DE LOS TIRANTES SE ENCUENTRA PARCIALMENTE DESPRENDIDO POR EFECTO DE LAS PUDRICIONES. SE HA PRODUCIDO UN FALLO EN EL ENSAMBLE EN RAYO DE JÚPITER DEL TIRANTE, AUNQUE NO HA LLEGADO A LA ROTURA TOTAL POR EL EFECTO DE LOS PERNOS QUE LO AFIANZAN.

correas y en los pares de la cercha. Sin embargo, estos resultados no justifican el fallo por rotura de algunos tirantes en los puntos donde apoyan las péndolas y que, aparentemente, se han producido por flexotracción. Por otro lado se ha observado que en casi todos los empalmes en *rayo de Júpiter* se ha producido una rotura de los

tirantes, provocando un fallo general en el atirantado de la cercha con descenso del pendolón y de las péndolas.

Se ha sido simulado este efecto con un modelo de cálculo que permite el deslizamiento de esta unión unos 10 mm bajo carga permanente, equivalente al deslizamiento observado en la

CORREAS	Sección(mm)	Índice de agotamiento ¹	Deformación (mm) ²
Plano del faldón	55 x 75	1,795	57 = l / 297
Perpendicular al faldón	75 x 225	1,630	43 = l / 392

CERCHA TIPO	Sección(mm)	Índice de agotamiento	Deformación (mm)
Pares	75 x 225	1,080	59 = l / 470
Tirante	75 x 225	0,653	
Pendolón	75 x 225	0,130	6,0
Tornapunta	70 x 115	0,868	
Péndola	70 x 115	0,022	

CERCHA TIPO con deslizamiento del tirante	Sección(mm)	Índice de agotamiento	Deformación (mm)
Pares	75 x 225	1,020	6,6 = l / 425
Tirante	75 x 225	0,879	
Pendolón	75 x 225	0,118	29,0
Tornapunta	70 x 115	0,722	
Péndola	70 x 115	0,040	



LA PÉNDOLA APOYA SOBRE EL TIRANTE Y HA PRODUCIDO UNA ROTURA POR FLEXIÓN.

inspección. El resultado de esta simulación es el siguiente:

Se ve que aumentan sensiblemente los índices de agotamiento de la estructura, pero sin alcanzar las roturas acaecidas en los tirantes. Es posible que las roturas se deban por una parte a un fallo de la cercha difícil de modelizar y cuantificar debido a su diseño atípico y, por otra, a algún defecto local, especialmente acusado, de la pieza, como un nudo o una desviación local de la fibra, etc.

CERCHA EXTREMO

En el caso de considerar el deslizamiento del tirante el resultado sería el

siguiente:

En ambos casos se obtienen índices de agotamiento importantes en pares y tirante, pero en el resto de las piezas no se explica la compresión excesiva y el pandeo del pendolón.

UNIONES

Se han realizado comprobaciones sobre las uniones que suelen resultar críticas en este tipo de estructuras.

- Unión par / tirante:

Realizado mediante un cajeadado en la cara superior del par de 30 mm de profundidad. No se conoce la longitud desde el cajeadado hasta la testa del tirante.

La comprobación con los datos disponibles en la cercha tipo arroja como resultado que sería necesaria una longitud desde el cajeadado hasta la testa del tirante de 59 cm, lo cual parece improbable que se dé en la realidad. El índice estimado de compresión paralela a la fibra en la superficie de transmisión de esfuerzos es superior a lo admisible en un 27 %. Es de suponer que en la cercha de extremo estos valores aumenten significativamente debido al aumento de las cargas.

Sin embargo, en los puntos inspeccionados no se aprecia fallo en ninguna de estas uniones, por lo que hace pensar en un medio complementario de unión, como una espiga oculta, un doble cajeadado o algún perno o tirafondos.

- Empalme del tirante en rayo de Júpiter:

En este caso se obtienen índices superiores a lo admisible por compresión paralela a la fibra en la superficie de contacto y transmisión de esfuerzos (1,81) y por el esfuerzo rasante o cortante en dirección paralelo a la fibra (1,60).

Cada perno resiste del orden de 438 kp, frente a los más de 3.500 kp de tracción que se pueden llegar a producir en ese punto, por lo que existe un exceso de tensiones en la unión.

El agotamiento teórico de esta unión justifica las roturas observadas.

3.3. ESTABILIDAD AL FUEGO

Dados los resultados obtenidos en el análisis de la estructura en situación normal no procede la comprobación de la estabilidad al fuego.

No obstante conviene señalar que las secciones existentes con anchos de 70 o 75 mm difícilmente alcanzarían una estabilidad al fuego de 30 minutos, que es el mínimo exigible en construcciones normales de carácter residencial. En construcciones de uso público la estabilidad al fuego requerida suele ser de, al menos, 60 minutos.

4. CONCLUSIONES

Se producen daños por hongos de pudrición cúbica en la zona del muro y faldón Norte del edificio por ataques que actualmente se encuen-

CERCHA EXTREMO	Sección(mm)	Índice de agotamiento	Deformación (mm)
Pares	75 x 225	1,540	6 = 1 / 463
Tirante	75 x 225	0,877	
Pendolón *	75 x 225	0,128	11,0
Tornapunta	70 x 115	0,846	
Péndola	70 x 115	0,025	

(*) El pendolón de la cercha extremo se encuentra reforzado con un tablón por una de las caras cuya función principal es limitar el pandeo de la pieza, por lo que se ha considerado su aportación a efectos de resistencia de la pieza.

CERCHA EXTREMO con deslizamiento del tirante	Sección(mm)	Índice de agotamiento	Deformación (mm)
Pares	75 x 225	1,462	6,6 = 1 / 422
Tirante	75 x 225	1,080	
Pendolón	75 x 225	0,117	31
Tornapunta	70 x 115	0,715	
Péndola	70 x 115	0,041	

tran activos. Daños que aunque de carácter localizado, son graves y reducen sensiblemente la capacidad resistente. Este es el caso de apoyos de cerchas que a consecuencia de la pudrición han sufrido un importante aplastamiento. El durmiente en algunos puntos se encuentra completamente destruido.

Otros ataques por hongos de pudrición se concentran sobre la cercha de extremo, afectando al entorno del pendolón y tirante donde acometen las semicerchas. En este punto los herrajes de la unión han perdido gran parte de su eficacia porque los tirafondos se han desprendido de la madera afectada.

Finalmente, aparte de las manchas de humedad en el entablado de la cubierta, la madera aparenta encontrarse en buen estado.

Al margen de los daños ocasionados por los hongos, existen roturas en dos tirantes, uno de ellos en la cercha tipo y otro en una semicercha. La rotura se produce por flexión del tirante en el punto donde apoyan las péndolas. Se han producido fallos casi todos los ensambles en rayo de Júpiter de los tirantes, con rotura en el plano de cortante o rasante.

En la cercha de extremo se observa una fuerte compresión del pendolón con un pandeo muy acusado y un apoyo de las péndolas sobre el tirante, circunstancia que se repite en el resto de las cerchas, aunque en menor medida.

Cabe señalar el diseño de la cercha que no se corresponde con el diseño habitual de este tipo de estructuras, por lo que resulta difícil interpretar su evolución cuando ha empezado a fallar el atirantado principal. Lo que parece claro es que el fallo en el ensamble del tirante produce un descenso general de la cercha y un apoyo del pendolón y de las péndolas sobre el tirante, provocando el acusado pandeo del pendolón y la rotura de algunos tirantes. Los modelos de cálculo desarrollados se aproximan a esta situación y justifican en parte, aunque no del todo, el estado actual de la estructura.

Una estimación de cálculo sobre la cercha sin considerar las consecuencias del fallo del tirante, lleva a índices de agotamiento de las piezas y de las

uniones principales superiores a lo admisible. En algunas uniones este índice lo supera en un 80 %, y en algunos elementos de la cercha de extremo en un 54 %. En el caso de las correas el índice es un 79 % superior a lo admitido.

En resumen, la estructura se encuentra bajo niveles de tensión superiores a lo recomendable. Esta situación ha visto agravada por el fallo del ensamble del tirante, alcanzando niveles de agotamiento puntualmente altos que pueden justificar la rotura de alguna de las piezas y uniones.

7. RECOMENDACIONES DE ACTUACIÓN

INSPECCIÓN

Debe ampliarse la inspección a las zonas de apoyo de las cerchas sobre los muros, puesto que se trata de zonas de riesgo en las que cabe la posibilidad de encontrar otros daños de origen biótico en las que no fue posible llevar a cabo una inspección adecuada.

SUSTITUCIÓN O CONSOLIDACIÓN PARCIAL

Los daños de origen biótico encontrados obligan a la sustitución de las piezas afectadas o a la consolidación, pero anterior a cualquier actuación se debe garantizar la correcta impermeabilización de la cubierta, eliminándose los aportes de humedad a la estructura de madera.

La consolidación puede llevarse a cabo mediante alguna técnica con morteros de resinas epoxi y varillas embebidas.

Estas técnicas son complejas de ejecución y relativamente costosas, aunque el resultado final suele ser eficaz. En este caso se recomienda la contratación de empresas especializadas para la ejecución de los trabajos. Otras medidas puede realizarse mediante el adosado de piezas nuevas a la estructura antigua que se recomiendan a continuación.

MEDIDAS GENERALES DE REFUERZO

Los elevados niveles de tensión y las deformaciones observadas, recomiendan una intervención global sobre toda la estructura.

Se pueden plantear medidas de

refuerzo mediante el aumento de sección de las piezas de la cercha y la consolidación de las uniones. Esta medida mejoraría sensiblemente la estabilidad al fuego de la estructura. Para ello necesario apea la estructura hasta una entrada de carga invertida que recupere completamente las deformaciones existentes.

Otra intervención de refuerzo general podría ser la sustitución de la estructura secundaria (correas) por un panel de cubierta capaz de cubrir el vano entre cerchas que adecuadamente aporte la estabilidad lateral de los pares. Esta intervención se completaría con el estudio detallado de las uniones: comprobación para determinar las necesidades de refuerzo. El empalme en rayo de Júpiter del tirante podría reforzarse con pletinas metálicas en las caras superior e inferior del tirante, fijadas con tirafondos o pernos.

SUSTITUCIÓN COMPLETA

Deben valorarse técnica y económicamente las ventajas e inconvenientes de estas soluciones frente a la alternativa de sustituir completamente la estructura. Según nuestro criterio, es ésta una opción razonable, puesto que un nuevo diseño resolvería las patologías existentes sin plantear mayores dificultades y permitiría adaptar la estructura con total seguridad a las nuevas condiciones de uso del edificio, incluidos los requisitos necesarios de estabilidad al fuego, al tiempo que evita la complejidad de las intervenciones descritas anteriormente. Se podrían reutilizar los materiales que se encuentren en buen estado. Una solución intermedia puede consistir en la sustitución de la estructura del faldón norte y en el refuerzo del resto de la estructura ■

¹El índice de agotamiento es un indicador del nivel de tensiones que sufre la pieza respecto a su capacidad según la norma, expresado en tanto sobre la unidad. Un índice mayor de la unidad significa que la pieza se encuentra sobrecargada. Por ejemplo, un índice igual a 1,63 quiere decir que la pieza se encuentra a un 63 % por encima de su capacidad.

²Las deformaciones se expresan en valor absoluto y en relación a la luz entre puntos de apoyo. El valor indicado corresponde a la deformación máxima que se produce con la carga total, incluida la fluencia.

Texto y fotos: Departamento de Asistencia Técnica de AITIM