

DISEÑO RESPONSABLE PARA LA DURABILIDAD DE LA MADERA

CARLES BLASCO PINÓS

Arquitecto multidisciplinar desde 1999, especializado en arquitectura responsable.

ORIOL PALOU JULIÁN

Arquitecto consultor de estructuras desde 1998, diplomado DAlF, miembro de ACE. Especializado en estructuras históricas y análisis empírico de estructuras.

PALABRAS CLAVE: madera, diseño para la durabilidad, uniones, rehabilitación responsable, mantenimiento.



Figura 1.

INTRODUCCIÓN

En general, a lo largo del tiempo, la madera tiende a perder su integridad y reducir su capacidad resistente principalmente por la acción de agentes bióticos o abióticos, especialmente cuando está expuesta a la in-

temperie. Así, para aumentar su durabilidad, es conveniente evitar estos efectos.

Exponemos unos criterios orientados a mejorar la durabilidad de la madera en el exterior, resultado de la experiencia, diagnosis y actuaciones realizadas en un puente peatonal de madera en Calonge (Girona).



El objetivo planteado en este texto es explicar que por encima de la mejora de calidad de los materiales y productos protectores, deducimos que un buen diseño y, en particular, el diseño de las uniones, resulta una mejor y más sostenible base para optimizar la durabilidad de estructuras de madera en el exterior.

Los objetivos son: detectar los **puntos débiles en el diseño** respecto a la **durabilidad** y los que demandaban gran intensidad de las labores de mantenimiento de la madera, para poder proponer planteamientos de optimización de diseño dentro de la rehabilitación que produzcan unos efectos de durabilidad eficientes.

CONTEXTO

Se trata de un puente peatonal exterior de madera laminada, situado a menos de 100 metros de la línea



Figura 2.

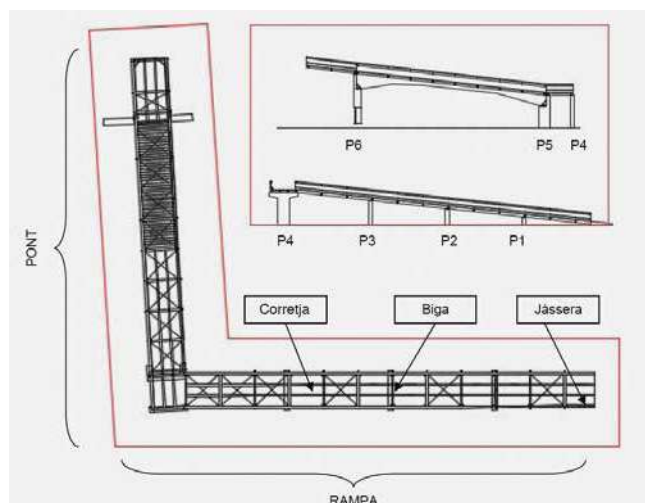


Figura 3.

de costa en Calonge (Girona), formado por un vano principal de 25 metros de luz sobre la carretera comarcal C-253, construido en 1991, y un tramo en rampa de 40 metros de luz.

La propiedad detectó un estado de conservación y unos síntomas de deterioro que la alarmó. Así, se recibió el encargo consistente en las actuaciones de reparación y mantenimiento del puente de madera, para lo cual se realizó, en primer lugar, una diagnosis.

ANÁLISIS – RECONOCIMIENTO

Diagnosis

En 2016 se realizó una diagnosis del estado de conservación de los elementos de madera, determinándose numerosas lesiones consistentes, principalmente, en pudrición de piezas de madera. Concluimos que ello fue consecuencia de un mantenimiento deficiente para el diseño de este puente, especialmente en todo aquello que hacía referencia al diseño respecto al control del agua de lluvia. Se revisaron todas las uniones, constatando el hecho de la relación directa entre los puntos en los que el agua quedaba acumulada y la producción de las lesiones más importantes de la madera.

Se detectaron zonas de alta concentración de degradación del material, especialmente, en las uniones entre elementos.

Se destacan a continuación las observaciones sobre las afectaciones:

- Aparecen de manera indiferente en uniones de distintos materiales o materiales iguales.
- Siempre se relaciona la mayor ralentización en la evacuación o acumulación de agua en las uniones con mayor degradación de los materiales.
- El material más degradado de la unión siempre es la madera.

Se evaluaron y diseñaron de nuevo las cualidades de los materiales y las formas para evitar la acumulación y/o absorción, y finalmente se evaluaron y diseñaron la implantación de nuevos elementos de protección de los materiales y las uniones.



Figura 4. Pudrición en apoyos de viguetas y jácenas.



Figura 5. Pudrición en viguetas con latas superpuestas.



Figura 6. Pudrición en unión entre perfil de apoyo de latas y jácenas.



Figura 7. Pudrición en zona de anclaje de montante en vigas.



Figura 8. Pudrición en jácena principal, en contacto con montantes de barandilla.



Figura 9. Apoyo de madera al terreno, con pudrición de jácenas principales.



Figura 10. Pudrición de apoyo por contacto directo con el terreno.

ANÁLISIS – NORMATIVA

Normativa

Disponemos básicamente de dos marcos normativos. El Eurocódigo 5^[1] trata la durabilidad de forma sucinta, mientras que el capítulo 3 del CTE-Madera^[2] trata de las medidas para garantizar la durabilidad de la estructura. Afirma que la durabilidad de una estructura depende, en gran medida, del diseño constructivo y de la durabilidad natural, aunque, en algunos casos, es además necesario añadir un tratamiento.

La conclusión (según nuestra interpretación): las normas dan mayor importancia y atención a otras estrategias que al correcto diseño de las uniones para evitar que se pueda acumular agua o humedad.

En nuestro caso, el CTE establece que los elementos estructurales de madera, de acuerdo con su uso, pertenecen a la clase 3. En estas condiciones, la humedad de la madera puede superar el contenido de humedad del

20 % ocasionalmente (clase 3.1) o frecuentemente (clase 3.2). Se deberán proteger los elementos estructurales frente a los agentes meteorológicos.

CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS

Los puntos débiles en las construcciones de madera respecto a la durabilidad se encuentran en las uniones, en su diseño y en la elección de los materiales.

Dado que, en nuestros climas, el mayor enemigo de la madera es la presencia y permanencia de agua, y por tanto de humedad, es muy recomendable, especialmente en estructuras en el exterior, prevenir principalmente desde el diseño; en un segundo nivel de garantía de durabilidad, contar con las protecciones; y en un tercer nivel, mejorar las prestaciones del material.

Vislumbramos en las tinieblas de nuestro conocimiento que **el diseño de las uniones y puntos de acumulación de humedad es clave para una mejor durabilidad resultando un menor y/o mejor mantenimiento y un uso más racional de los recursos, potenciando dar más responsabilidad al uso del conocimiento que al de los materiales.**

Existen **múltiples soluciones para reforzar** elementos de madera, y por ello es necesario un correcto estudio para determinar la óptima, en función de los materiales disponibles, el presupuesto, de las habilidades del constructor y del conocimiento del diseñador.

Como conclusión principal de la diagnosis, se considera necesario un rediseño de las uniones teniendo en cuenta que no se pueda acumular agua ni humedad para mejorar la durabilidad.

Así, cabe recomendar un mantenimiento pasivo desde el diseño para minimizar el mantenimiento activo y alargar así la vida útil de las construcciones.

PROYECTO – ESTRATEGIA

Rediseño de las uniones

Tal como se ha establecido a partir de la diagnosis, **el mejor protector frente a los agentes meteorológicos es el adecuado diseño constructivo y, especialmente, las medidas que evitan o minimizan la retención de agua.** exploremos los principales puntos de este diseño.

La primera estrategia que se exploró fue el control total de la lluvia para que esta cayera en los lugares, intensidades y estados del agua que fueran acordes con nuestra voluntad y necesidades. Tras la revisión de las experiencias llevadas a cabo por la humanidad a lo largo de la historia para controlar los agentes climáticos, se descartó esta línea de trabajo para, con nuestra sorpresa, proseguir con otras estrategias.

Estas se centran en primer lugar en la durabilidad desde el diseño y/o posteriormente de forma complementaria con el tratamiento del propio material para aumentar la durabilidad.

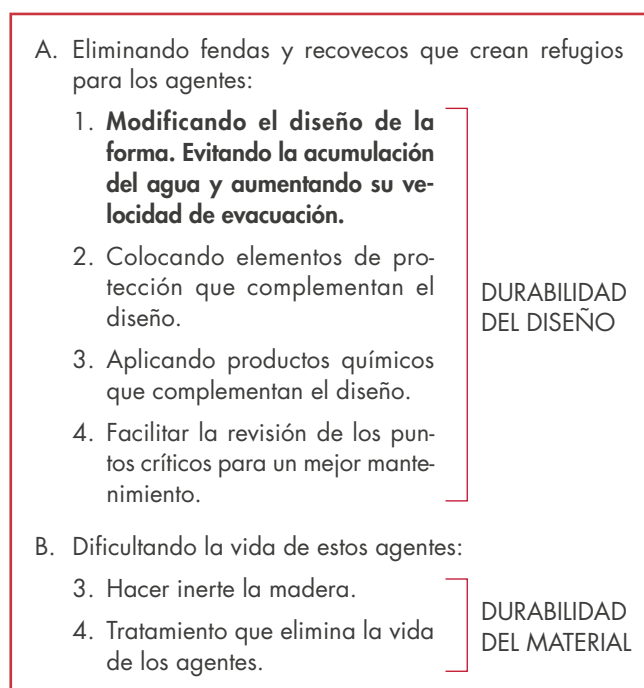


Figura 11. Orden de prioridades en la rehabilitación.

A. El objetivo principal era eliminar fendas y recovecos que crean refugios para los agentes bióticos y abióticos y, especialmente, evitar la acumulación del agua y aumentar su velocidad de evacuación:

1. Modificando el diseño de la forma para minimizar el efecto del agua.
2. Si no es suficiente con el punto anterior, colocando elementos de protección que complementan el diseño.
3. Si no es suficiente con los dos puntos anteriores, aplicando productos químicos que complementan el diseño.

4. Si no es suficiente con todos los puntos anteriores, facilitar la revisión de los puntos críticos para un mejor mantenimiento.

En los puntos en los que las actuaciones lo permiten, en los apoyos se disponen elementos de separación entre planos de piezas distintas para evitar la acumulación de agua o humedad, o en los casos en los que esto no resulta fácil, protección o sellado suplementario (telas impermeables, sellado de juntas, acero galvanizado).

B. Dificultando la vida de estos agentes:

3. Hacer inerte la madera.
4. Tratamiento que elimina la vida de los agentes.

En elementos estructurales situados en el exterior, deben usarse productos que permitan el intercambio de humedad entre el ambiente y la madera. Se recomienda el empleo de protectores superficiales que no formen una capa rígida, permitiendo el intercambio de vapor de agua entre la madera y el ambiente. En el caso de emplear productos que formen una película como las pinturas y los barnices, deberá establecerse y seguirse un programa de mantenimiento posterior. Así mismo, en el diseño es importante tener en cuenta la posibilidad de revisar con facilidad los puntos críticos.

C. Finalmente, toda aquella responsabilidad de la durabilidad que no se resuelve con el diseño ni en la obra, se traslada al mantenimiento. Se debe confeccionar el manual a medida del puente de madera en su contexto y del resultado de las virtudes y defectos del proyecto realizado.



Figura 12. Pudrición de apoyos.

En los próximos apartados se desarrollan ejemplos de este tipo de especificaciones aplicados en el puente de Calonge.

INTERVENCIÓN EN LAS UNIONES

Se detalla, a continuación, cómo se resolvieron las uniones más representativas en el proyecto y cómo estos, posteriormente, se aplican a la realidad de la obra.

Unión del rastrel lateral con jácena



Figura 13. Pudrición de la jácena en la zona del rastrel de soporte.

Se modifica el diseño del rastrel lateral, se reduce la superficie de contacto con la jácena al estrictamente necesario para que sea resistente para transmitir el cortante. El resto de contacto se anula y genera un espacio que evita la acumulación del agua y facilita su evacuación.

Esta separación se realiza colocando unos separadores de material plástico con forma circular para facilitar la evacuación del agua.

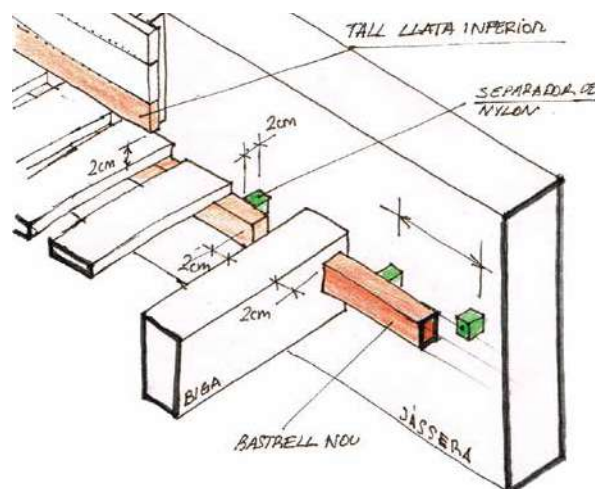


Figura 14. Croquis del rediseño del contacto de vigas con jácenas.



Figura 15. Ejecución del rediseño del contacto de vigas con jácenas.

Unión con el terreno – Apoyo superior del puente

Inicialmente las vigas estaban simplemente apoyadas en un lecho de hormigón, lo cual provocó graves pudriciones. Se cambió totalmente el diseño del contacto. La estrategia fue darle pendiente a la plataforma de hormigón para que expulsara el agua con mayor veloci-

dad. También se eleva la madera del suelo, evitando el contacto directo al añadir nuevas pletinas de apoyo para la viga.

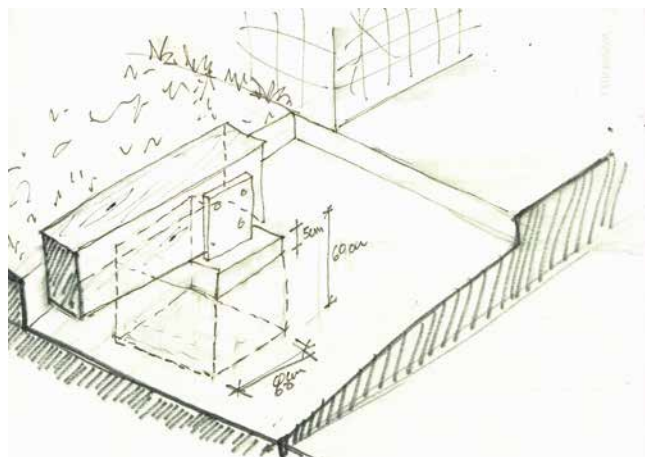


Figura 16. Croquis del rediseño del contacto de jácena con el terreno.



Figura 17. Ejecución del rediseño del contacto de jácena con el terreno.



Figura 18. Separación en apoyo al terreno.

Las nuevas pletinas se dimensionan para soportar esfuerzos cortantes de los pernos pasantes haciendo que la viga no se apoye en la pletina; y posteriormente, en otra sección, se disponen separadores metálicos en forma de enano con capitel para recoger una viga que sustituye la original, la cual se consideró inservible dado su estado de conservación.



Figura 19. Ejecución del rediseño del contacto de jácena con el terreno.

Unión con el terreno – Apoyo inferior del puente

Es un caso similar al anterior, pero que tenía una afectación mayor, ya que bajo el puente todo era directamente terreno natural, el cual actuaba como una esponja que retenía la humedad que, posteriormente, absorbía lentamente la estructura de madera. Primero, se rebajó el terreno natural para crear una plataforma que tuviera pendiente que facilitara la evacuación de la rampa con la pendiente y con una superficie lisa y no absorbente, que no acumula agua y aumenta la velocidad de evacuación.



Figura 20. Separación del terreno, capa de mortero e inclinación para la evacuación del agua.

En todas las uniones de esta zona se evita la posibilidad de retención de agua, y se favorece su circulación, creando un canalón lateral en el encuentro del puente con el terreno, colocando también una religa para dar continuidad al pavimento.



Figura 21. Separación de las jácenas del contacto directo con el terreno.



Figura 22. La misma separación facilitando el drenaje.

El apoyo de las dos jácenas laterales principales no se pudo rediseñar, por lo que, para evitar la acumulación de agua en la madera y facilitar la circulación, se puso un calzo con retales de plancha de tresa (material sintético) que el constructor tenía en el taller y se añadió una lámina de butilo, con una notable mejora de las prestaciones a un coste insignificante gracias a un diseño coherente.



Figura 23. Placas de tresa en apoyo.



Figura 24.

Unión entre jácenas

La unión entre jácenas se realizaba anteriormente con una pletina que acumulaba el agua y que pudría la madera de las cabezas adyacentes.

Para evitar la acumulación del agua y aumentar su velocidad de evacuación, se diseña un vierteaguas que



Figura 25. Pudrición de la jácena en los apoyos intermedios.



Figura 26. Los apoyos intermedios no evacuaban el agua.

evita la entrada. Ante la posibilidad de que a pesar de ello por el tipo de junta entre el vierteaguas y la cabeza de la madera, entre agua, se crean unos canales de evacuación.

Estos se concretan en piezas separadoras de un material sintético que expulsa el agua, y los canales se crean con unas pastillas de tresa sobre las que, apoyaran nuevamente las vigas, todo lo cual también aumenta la ventilación para facilitar el secado.

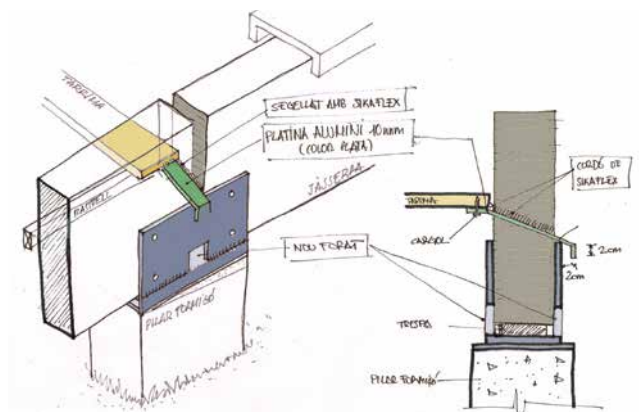


Figura 27. Croquis del rediseño en apoyos intermedios entre jácenas.



Figura 28. Ejecución del rediseño en apoyos intermedios.



Figura 29. Separadores de tresa en apoyos intermedios.

Unión entre vigas y latas de pavimento

Al tratarse de una rehabilitación, no siempre se puede trabajar con el diseño de la forma. Cuando esto ocurre, se procede a la protección con elementos auxiliares.

En este caso, el problema era el deterioro de las vigas que soportaban las latas, dado que en las juntas, tanto en las vigas paralelas como perpendiculares, se acumulaba humedad, suciedad y crecía vegetación, descomponiendo la madera de viguetas.



Figura 30. Estado inicial.

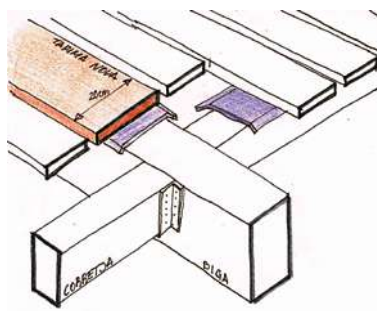


Figura 31. Croquis del rediseño de la protección de vigas.

Puesto que no se puede variar la geometría de las vigas, la única modificación posible era hacer la lata que se superpone longitudinalmente a la viga de soporte más ancha que la viga, para que el agua que cae sobre la lata tenga vierteaguas para no mojar directamente la viga inferior, además de interponer un material intermedio, consistente en una lámina de butilo, la cual separa ambos elementos, impidiendo la acumulación de agua bajo las latas y protegiendo las zonas de juntas abiertas.



Figura 32. Ejecución del rediseño de la protección de vigas.

Poner una lámina es una gran mejora para proteger la parte superior de la viga, y da una mayor protección si, además (con aumento de coste y faena inapreciable), se dejan un par de centímetros en los extremos de la lámina para proteger las caras verticales de las vigas.

Unión de montantes con jácenas

Debido a la macla entre piezas y a la geometría de la unión, se retenía gran cantidad de agua en la misma, y a lo largo de su vida, recibió algún refuerzo en forma de ángulo de acero atornillado a la madera.



Figura 33. Pudrición de la jácena principal en contacto con los montantes de la barandilla.

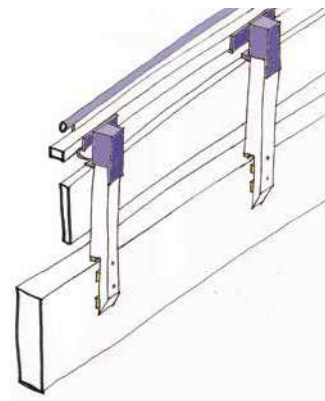


Figura 34. Croquis del rediseño de apoyo de los montantes en jácenas.

En este caso, se opta por colocar un elemento separador que evite la acumulación de agua y acelere la velocidad de evacuación de esta, siempre alejándola de la madera.



Figura 35. Ejecución del rediseño de apoyo de los montantes en jácenas.



Figura 36. Formación del goterón.

Retirando unos centímetros el nuevo elemento sintético, se genera un goterón que protege la parte inferior del montante que, de otra forma, el agua chorrearía hasta llegar a la jácena.

Este ejemplo nos hizo ver el enorme potencial tan a menudo desaprovechado del diseño, el superpoder que todo proyectista tiene pero que no siempre utiliza en todas sus posibilidades. Volvemos a vislumbrar en aquellas penumbras que este superpoder ecológico, sostenible, económico, reciclable, responsable y mucho más, es el poder de pensar que podemos pensar.

REPARACIONES PUNTUALES DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Para las uniones en partes de madera degradadas se utilizan distintas estrategias para su refuerzo: uso de prótesis (de material sintético, metálicas...), recomposición de secciones con madera, con pastas, unión con conectores (tirafondos, barras de fibra), uniones encoladas y mejoras mecánicas de las uniones (rugosidad, geometrías dentadas, etc.) (fig. 37).

La madera permite variedad de soluciones en esta línea, las cuales, en ocasiones, son poco habituales en el mercado. Este tipo de actuaciones son poco invasivas si se comparan con la amputación e injertos de grandes secciones.

Los refuerzos locales de elementos de madera son opciones muy interesantes en rehabilitación, que permiten mantener la estructura en uso, minimizar los materiales, así como las afectaciones colaterales al evitar desmontar elementos completamente.



Figura 37. Injertos de secciones de la jácena.

REFLEXIONES DEL CASO PRÁCTICO

En el diseño de los elementos estructurales de madera, partiendo del correcto dimensionado, el fallo por resistencia es, en general, consecuencia de la degradación por detalles inadecuados y falta de mantenimiento activo por parte del usuario. Así, cabe recomendar un mantenimiento pasivo desde el diseño para minimizar el mantenimiento activo y alargar así la vida útil de las estructuras.

La responsabilidad de la durabilidad de las estructuras debe ser retomada por el buen diseño del proyectista y no delegarla a los tratamientos de mejoras de los materiales.



Figura 38.

Aprendimos que hemos de recordar que existe la posibilidad de pensar; que podemos pensar antes de actuar y que esta es la mayor y mejor medida de prevención.

REFERENCIAS

- [1] Eurocódigo 5. UNE-EN 1994-1-1:2013.
- [2] CTE-SE-Madera, RD 314/2006, 17 de marzo.

Intervención en estructuras de madera. F. Arriaga, F. Pezaza, M. Esteban, I. Bobadilla, F. García. AITIM, Madrid, 2002.

Estructuras de madera. Uniones. R. Argüelles, F. Arriaga, M. Esteban, G. Íñiguez, R. Argüelles Jr. AITIM, Madrid, 2015.