

STRUCTURAL CALCULATION FOR THE RECOVERY OF A HISTORIC LUMBER STRUCTURE WITH LOSS OF SECTION BY XYLOPHAGES ATTACK

Rojo Vea, Sergio¹; Gutiérrez López, José Luis²; Vergara González, Eliseo P.²;
Vergara González, David²

¹ Sergio Rojo Vea Arquitecto, ² Área de Proyectos de Ingeniería. Universidad de La Rioja

Probably designed by the architect Jacinto Arregui, the structure of the building, located in the old town of Logroño (La Rioja- Spain), and which data are available since 1867, has five trusses "amansardadas" type, which a 11 meters without supports. These five trusses, with large section of pine and oak, have important characteristics: first, the fact of being sawn, with their knots and fissures, which provide them an important heterogeneity in composition. Second, their age and the years of neglect, with woodworm attacks, which cause loss of section. Third, the different shape and height that are the metallic straps, which give different trusses edges as they approach or depart the embedment. Finally, appears a very old steel, impossible to classify and catalog its composition under the current rules. The challenge is the calculation of a structure not as if it were new, but starting from an existing structure, make it valid under the current rules.

Keywords: *Structural calculation; Lumber structure; Xylophages attack.*

CÁLCULO ESTRUCTURAL PARA LA RECUPERACIÓN DE UNA ESTRUCTURA HISTÓRICA DE MADERA CON PÉRDIDA DE SECCIÓN ÚTIL POR ATAQUE DE XILÓFAGOS

Diseñada probablemente por el arquitecto alavés Jacinto Arregui, la estructura del edificio, situado en el casco antiguo de Logroño y del que se tienen datos desde 1867, consta de cinco cerchas, de tipo amansardadas, las cuales tienen una luz de 11 metros sin apoyos. Estas cinco cerchas, de gran sección, de madera de pino y roble, presentan importantes peculiaridades: en primer lugar, el hecho de ser aserradas, con sus correspondientes nudos y fendas, que las dotan de una importante heterogeneidad en su composición. En segundo lugar, su antigüedad y años de abandono, con ataques de carcoma y otros xilófagos, que provocan pérdida de sección útil. En tercer lugar, la distinta forma y altura a la que se encuentran los tirantes metálicos, que dotan a las cerchas de distintos cantos conforme se acercan o alejan al empotramiento. Por último, aparece un acero muy antiguo imposible de clasificar y catalogar su composición según la normativa actual. El reto es, por tanto, abordar el cálculo de una estructura no cómo si ésta fuera nueva, sino que, partiendo de una estructura existente, lograr que ésta sea válida y cumpla con las prestaciones solicitadas por la normativa actual.

Palabras clave: *Cálculo estructural; Estructura de madera; Ataque de xilófagos*

Correspondencia: Eliseo P. Vergara González . Universidad de la Rioja. Edificio Departamental - C/Luis de Ulloa, 20. C.P. 26004. Logroño, La Rioja. Teléfono:+34 941 299 275, Fax:+34 941 299 794, email: eliseo.vergara@unirioja.es

1. Introducción

La cada vez más exigente normativa técnica que actualmente se desarrolla con objeto de aportar las prestaciones en materia de seguridad estructural y de habitabilidad que la sociedad nos demanda, puede llevarnos al error de pensar que gran parte del patrimonio ya construido no pueda ser recuperado dando cumplimiento a la vez a estas demandas. Si bien es verdad que las formas de proyectar contemporáneas están sufriendo importantes procesos de transformación -con una abrumadora tendencia a la normalización y uso de soluciones "de catálogo"- no podemos olvidar que los principales problemas a los que tenemos que dar respuesta desde el ámbito de la arquitectura y de la ingeniería han venido siempre siendo los mismos, en cierto modo. Así que, no hemos de despreciar aquellas arquitecturas que, no siendo materializadas con las sofisticadas soluciones de hoy en día, nos han dado sobradas muestras de calidad constructiva y de aptitud al servicio, continuando erigidas hasta nuestros días.

Y es que la importancia de la preservación del patrimonio arquitectónico urbano surge como consecuencia de su valor como testimonio de distintos y diversos fenómenos culturales, entre los que se encuentra el desarrollo de las diferentes técnicas constructivas empleadas a lo largo del tiempo.

Los edificios históricos, como el del caso que nos ocupa, no sólo caracterizan el espacio urbano que los circundan, preservando las peculiaridades de los centros históricos, sino que además, nos aportan una muy valiosa biblioteca de detalles constructivos que nos hablan de cómo se ha construido y cómo se han solucionado históricamente dilemas estructurales y de construcción que siguen vigentes hoy en día. Si estudiamos con detalle las soluciones tradicionales, observaremos como su adecuada evolución técnica, y la investigación han dado por resultado las soluciones actuales. Hemos de asimilar que éstas son "hijas" o "herederas" de aquellas, las centenarias, y que para comprender y entender las nuevas hemos debido primero conocer las de origen. Porque también es importante que aprendamos a conservar el rico catálogo de técnicas constructivas que poseemos en la península, que nos remonta cronológicamente a la época romana.

De estas reflexiones surge la idea base que ha originado la rehabilitación y recuperación de este edificio, una vetusta arquitectura concebida en su día para albergar el Liceo de la ciudad de Logroño, y, que, tras años de abandono tuvo la oportunidad de ser recuperado como al albergue de peregrinos gracias a que el Camino de Santiago pasaba por su puerta.

El reto es volver a considerar la capacidad portante y su aptitud al servicio como algo vigente hoy en día, desechando por tanto la opción de derribarla y sustituirla por una solución nueva, una normalizada "de catálogo".

Figura 1. Estado de origen en septiembre de 2012

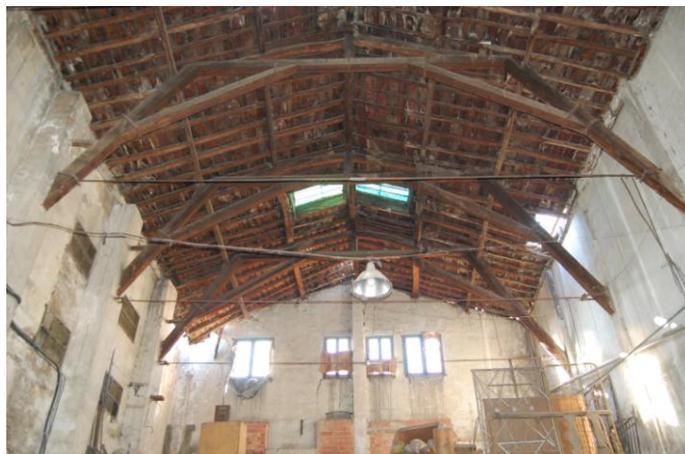


Imagen cedida por María Ángeles Ezquerro Zabalza, arquitecto y Jefa de Área de actuaciones en el Patrimonio Histórico Artístico del Gobierno de La Rioja.

Las intervenciones sobre estructuras antiguas presentan varias dificultades de cara a justificar su adecuación a los requerimientos sociales y legales que se precisan para evitar su desmantelamiento y sustitución por soluciones actuales. Si bien, tras leer el artículo 2 de la Parte I del Código Técnico de la Edificación, queda claro que las edificaciones preexistentes han de cumplir con las exigencias básicas del Código, se echa en falta un recorrido normativo que ampare las peculiaridades de éstas arquitecturas históricas. Sin ir más lejos, y por poner un ejemplo, la realización de ensayos en los materiales para comprobar sus propiedades mecánicas, supone en numerosas ocasiones realizar catas destructivas que echan a perder el material que se pretende recuperar. Estos y otros condicionantes provocan que pasar un edificio histórico por el tamiz del Código Técnico sea una tarea muy ardua y que nos lleve erróneamente a concluir en la mayoría de los casos que lo fácil sea demoler lo que tenemos y pensar en una estructura nueva. Pero, si la aptitud al servicio que ahora se exige es de 50 años para estructuras nuevas ¿Cómo podemos desechar una estructura que lleva más de 100?

En nuestro caso, -como es obvio-, durante la fase de proyecto, la posibilidad de derribar la estructura de cerchas original siempre estuvo presente, toda vez que la utilización de madera laminada está muy extendida en el ámbito de la construcción. Sin embargo, la aparente facilidad de volver a reproducir estas cerchas con nuevo maderamen, no estaba exenta de algunas complicaciones que conviene tener en cuenta, y que son:

1. El derribo y su reciclaje: El coste económico del derribo y de los cánones de vertido. La imposibilidad de sacar las cerchas enteras de la parcela hubieran llevado a su corte y a desechar la idea de reutilizarlas en otras edificaciones.
2. La irregularidad del solar: Cada cercha tiene una luz distinta, lo que complica el proceso de automatización y fabricación en serie de las piezas. Cada una de las cinco cerchas son distintas y por tanto habría que medir y fabricar cada cercha una por una. No se fabrica una cercha cinco veces sino que se fabrican cinco cerchas distintas.
3. La mano de obra: Hubiera sido de gran complejidad desmontar la estructura vieja y montar la nueva sin prever un sistema de arriostramiento provisional que respondiera a los esfuerzos que se liberan tras el desmontaje de las cerchas. Además los pórticos 4 y 5 (ver fig.2) carecen de medianeras que les "ayuden" y la enorme esbeltez de los pilares hubiera desestabilizado los soportes en esta parte del edificio. Esta estructura provisional, hubiera sido desechada tras el montaje de la nueva estructura.
4. El diseño de nuevas cerchas: No hay que olvidar que en los centros históricos, la estrechez de las calles impide suministrar piezas de grandes dimensiones ya que los camiones no pueden maniobrar. Esto, además de originar roturas de adoquinado, fianzas, cortes de tráfico o suministro nocturno, origina también que las piezas de mayor longitud deban ser "cortadas" para facilitar su transporte y acopio, siendo esto una merma en su calidad y una complicación añadida.
5. El contexto de crisis actual: Afrontar todas situaciones en un marco de absoluta austeridad económica supone tratar de minimizar de una manera importante todas aquellas situaciones que pueden originar conflicto en la obra, y sabiendo que todos los conflictos en una obra sólo se resuelven con una cantidad de dinero indeterminada.
6. Y última: Las derivadas de una descontextualización de la obra y su tipología constructiva. Se comprende que este concepto sea difícil de entender, pero supone desechar una solución constructiva tradicional que históricamente ha dado buenos resultados. El uso de madera laminada en la actualidad ha provocado la marginación de la madera aserrada, porque ha de ser objeto entre otras cosas de profundos controles de calidad para ser considerada apta. La heterogeneidad de su materia, (nudos, fendas) hace que éste material sea muy difícil de "normalizar" lo que ha

mermado su uso. Sin embargo, se considera oportuno en este caso no sólo aprovechar esta heterogeneidad sino potenciarla como un testigo más de la importancia histórica de esta estructura.

Por todas estas razones se optó por recuperar la estructura original: aquella que ya estaba fabricada, elaborada y montada en aquel lugar para la que había sido pensada.

Tras una primera inspección visual, se pudo observar una serie de características que las cerchas presentaban, y que son:

- Los elementos de segundo orden (cabios) y, puntualmente, alguna parte de alguna cercha estaba visiblemente afectados por la humedad.
- La geometría de los elementos se encontraba en aparente buen estado y su rigidez parecía apta. No se apreciaban elementos que estuvieran a punto de partirse ni sufriendo sobrecargas.
- Las secciones de pares, jabalcones, tirantes y resto de elementos parecían adecuadas.
- El peso que soportaban era el de un entablado de madera con teja árabe y restos de escombro.

Ante esta situación se encargó un informe técnico a la empresa Tecma-Rentokil para detectar la posible existencia de ataque de xilófagos y evaluar por tanto una probable pérdida de sección útil. Este paso era fundamental para ver si merecía la pena conservar la estructura o no, ya que excesos de carcoma u hongos de pudrición hubieran podido poner en riesgo la continuidad del proyecto. Tras el examen elaborado por personal cualificado se detectaron ligeros ataques producidos por diferentes xilófagos, como anóbidos, cerambicidos y diferentes tipos de hongos típicos en estas estructuras abandonadas. En casos muy puntuales se detectaron piezas a sustituir o reforzar, ya que, como tónica general, la pérdida de sección útil no superaba los 3cm. De hecho las cerchas 4 y 5 no necesitaron actuaciones correctoras en este sentido. Tras este paso importante, ya podíamos evaluar los riesgos y las complicaciones derivados de derribar, y los riesgos y problemas del acto contrario, es decir, rehabilitar. Con todos los datos posibles en esta fase de la obra en nuestro poder, se optó por recuperar los elementos estructurales de primer orden, las cerchas. Dicho de otro modo, volvíamos a contar con nuestra estructura no sólo como algo decorativo (lo que sería constructivamente inmoral) sino como un elemento estructural de primer orden, garantizando así la continuidad de la coherencia ética que se le ha de exigir a toda arquitectura.

Nos proponemos por tanto mantener la estructura original, haciendo que ésta cumpla con las exigencias básicas del Código Técnico, en particular con los documentos de seguridad estructural y de seguridad en caso de incendio.

Una vez definido nuestro objetivo, nuestros esfuerzos se encaminaron a realizar un minucioso estudio de las condiciones geométricas y mecánicas de nuestros elementos estructurales para que, a partir de mejoras en su diseño, se pudiera optimizar al máximo su rendimiento, sin recurrir a abultados aumentos de sección o refuerzo que desvirtúen la composición y el diseño de la estructura primigenia. Pasemos ahora a describir detenidamente como nos encontramos nuestra estructura para después exponer el proceso de recuperación de la misma.

2. Descripción de la estructura

La estructura en cuestión se halla en el número 42 de la calle Ruavieja de Logroño y pertenece a un edificio del que se tienen datos desde 1867. Pudo ser diseñada por el arquitecto alavés Jacinto Arregui, y se trata de un edificio con dos partes claramente diferenciadas: La primera es un pequeño cuerpo en la zona norte que contenía el acceso en

planta baja y una vivienda en planta primera, con cubierta a un agua hacia la calle. La segunda, que es el objeto de nuestro estudio, es una nave central, con cubierta a dos aguas y sustentada por cinco pórticos que salvan un promedio de unos 11 metros de luz, con unas cerchas cuyo cometido era el de cubrir el espacio escénico del que fue el Liceo Artístico Literario de Logroño (ver figura 2).

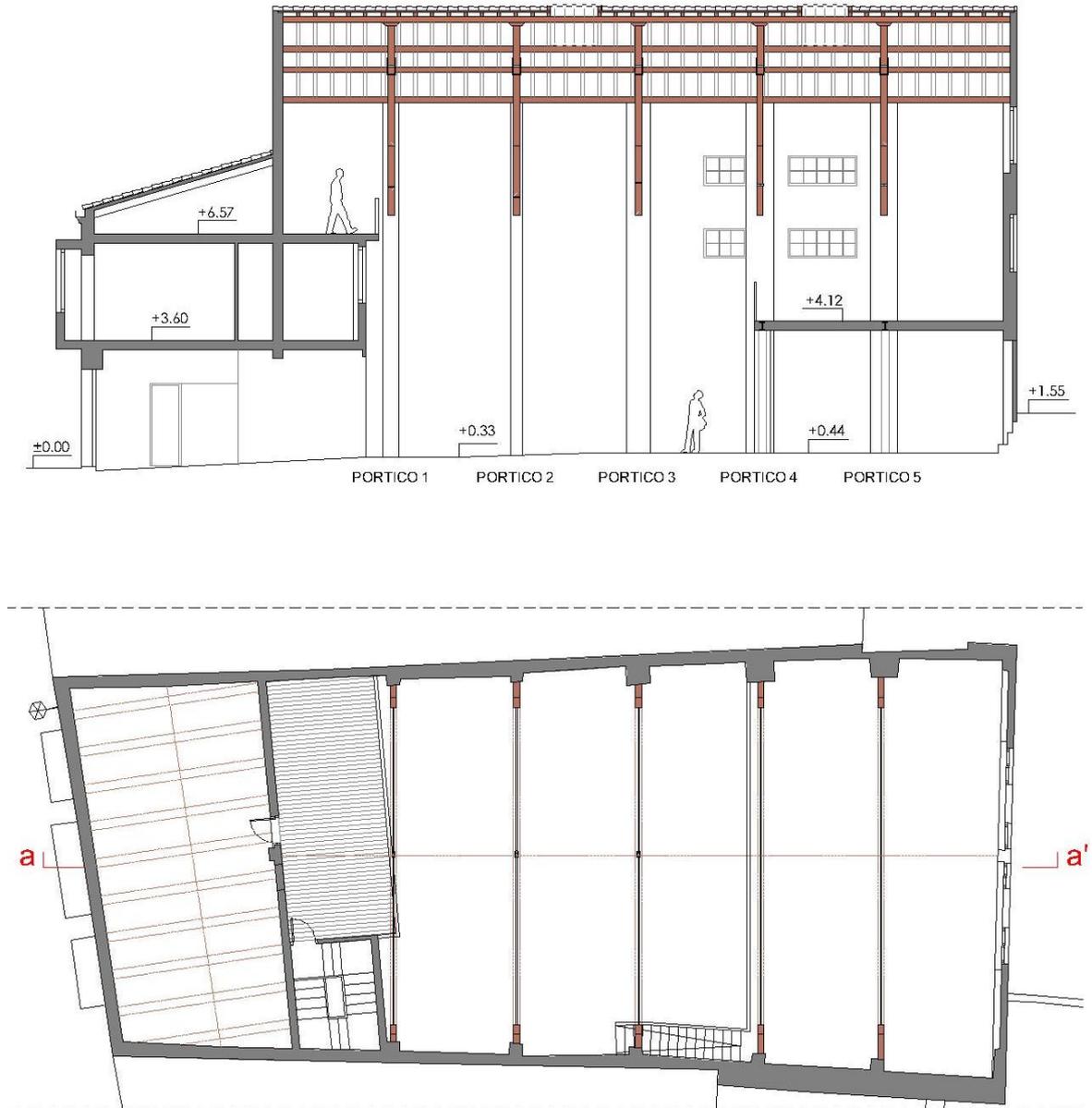
A pesar de estar en suelo urbano, nos encontrábamos con una tipología constructiva más bien industrial, formada por cinco cerchas de madera aserrada, de gran sección, con componentes de pino y roble, aunque ésta última es una suposición sin confirmar, y atirantadas con tensores metálicos de sección circular, colocados a alturas dispares.

Tipológicamente, podríamos catalogarlas como de tipo amansardadas, aunque con pendiente quebrada en los pares. Sin embargo, la posición de las correas y el aprovechamiento de la coronación de los muros como último apoyo permite que sus cabios sean rectos, manteniendo exteriormente el aspecto de una cubierta a dos aguas corriente. La rareza de su tipología estriba en que el pendolón no acomete al tirante, sino que se engarza en un codal horizontal previo al tirante, también de madera, dejando el elemento que trabaja a tracción libre en toda su longitud. (Ver figura 3).

Nos encontrábamos por tanto con una cercha de forma geométrica y tipológica muy distinta a la clásica cercha española, y abundando más aún en el análisis que se elaboró para poder diagnosticar correctamente la patología y poder por tanto proponer y calcular una solución útil, se tuvieron en cuenta además las siguientes peculiaridades:

1. El hecho de ser aserradas, con sus correspondientes nudos y fendas, que las dotan de una importante heterogeneidad en su composición.
2. Su antigüedad y años de abandono, que les aporta mucha humedad acumulada y sin una adecuada ventilación.
3. Los ataques de carcoma y otros xilófagos, causantes de pérdida de sección útil y de degradación sistemática de los componentes naturales de las piezas de madera. Esto afecta notablemente a las propiedades mecánicas de la misma, en particular a la resistencia estática y dinámica, incluso en ataques aparentemente leves.
4. La distinta forma y altura a la que se encuentran los tirantes metálicos, que dotan a las cerchas de distintos cantos conforme se acercan o alejan al empotramiento. Un aspecto importante a valorar es que, su adecuada posición, optimiza su resistencia y al reducir los momentos la estructura se hace más resistente al fuego.
5. La ponderación la reacción y la resistencia al fuego de los elementos preexistentes: tanto los componentes de madera como los componentes metálicos. En el caso de los tirantes nos encontrábamos con un acero muy antiguo, muy difícil de clasificar en su composición según la normativa actual, y con un comportamiento al fuego impredecible.

Figura 2. Planta y sección longitudinal del edificio

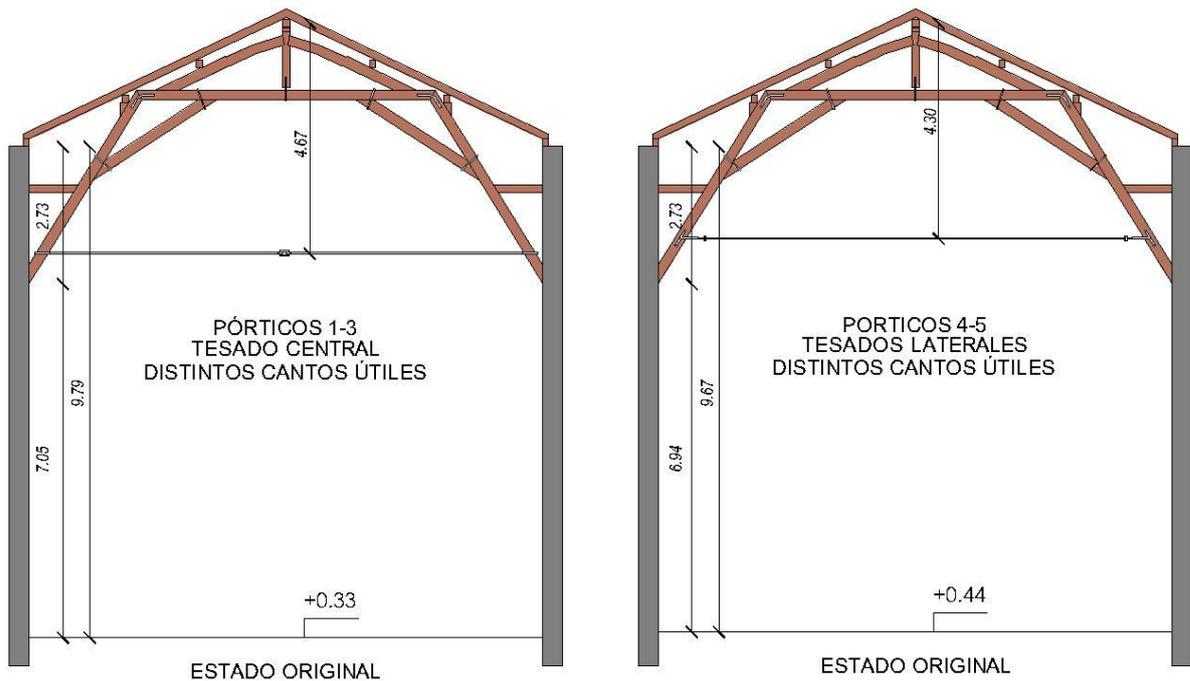


Otra peculiaridad que no afectó al cálculo pero que es oportuno relatar, es que las tres primeras cerchas (si las enumeramos de norte a sur) tenían un único mecanismo de tesado en el centro y las dos últimas tenían un mecanismo de tesado en cada extremo, que se apretaban en abarcones embebidos en pilares de gran sección. Claramente los tres primeros tirantes tenían una factura distinta a los dos últimos.

Si nos detenemos en este aspecto y reflexionamos sobre él con más profundidad, repararíamos en que hasta las tres primeras cerchas, llegaban las medianeras de los edificios colindantes, mientras que las pilares de los pórticos 4 y 5 quedaban libres de muros en su extremos exteriores. Estas medianeras, en nuestro caso, podrían haber estado colaborando a resistir los esfuerzos de empuje transmitidos por la cubierta, y ayudando a que los esbeltos pilares de ladrillo (inútiles a flexión) y de 11 metros de altura, pudieran mantener su posición vertical. Se deduce que los pilares de los pórticos 4 y 5 no pudieron aguantar en su día las acciones de empuje provocadas por los pares y debieron ser reforzados con nuevos tirantes que contrarrestasen estos empujes, de ahí que fuesen distintos y de ahí que los pilares fueran regruesados hasta el punto de dejar los abarcones embebidos.

Como podemos comprobar, nuestra estructura contenía una cantidad importante de detalles únicos que la hacían singular, y por tanto que convenía valorar y estudiar todos estos detalles a la hora de buscar una solución personalizada; las soluciones "de catálogo" no se adecuan a este tipo de casuísticas propias de la rehabilitación de edificios históricos.

Figura 3. Alzado de las cerchas



Las cerchas 1,2,3 tenían en sus tirantes un único mecanismo de tesado en el centro. Las cerchas 4 y 5 tenían dos mecanismos de tesado por tirante, uno en cada extremo.

3. Materiales y métodos

El proceso habitual en el cálculo de un elemento estructural arranca en fase de diseño, obteniéndose posteriormente las solicitaciones a las que se encuentra sometido y procediendo a su dimensionado y definición constructiva.

La libertad y capacidad de decisión que se dispone al proyectar un elemento de nueva construcción es muy diferente a las limitaciones que se encuentran cuando es necesario recuperar una estructura antigua

Nuestro trabajo consistió, como ya hemos avanzado previamente, en la búsqueda de una forma de optimizar los elementos estructurales preexistentes pero haciéndolos trabajar al mayor rendimiento, para que la estructura recuperase su capacidad portante.

Es usual no tener posibilidad de modificar el diseño estructural, siendo necesario actuar sobre las secciones resistentes de la estructura con objeto de aumentar su capacidad portante y rigidez, pero en este caso se pretendía que las acciones correctoras no desdibujasen la situación original, o dicho de otro modo, se pretendía que, en el estado final, las cerchas trabajasen del mismo modo para el que fueran diseñadas sin modificar de forma notable su esbeltez ni sus condiciones geométricas fundamentales.

En este caso, y a pesar de que la estructura había demostrado a lo largo de los años su capacidad, era necesario verificar que cumplía con los requisitos establecidos en las normativas vigentes y en caso contrario, situación habitual, tomar las medidas correctoras oportunas.

En nuestro caso, observando con detalle cómo la posición original del tirante en las cerchas disminuía la capacidad resistente de las mismas, se empezó a valorar las posibilidades que se abrían modificando su posición, en concreto acercándolo lo máximo posible al empotramiento de la cercha en el pilar.

Efectivamente, cambiando la posición del tirante inferior, se aumentaba el canto útil de la cercha y se reducía los esfuerzos en ménsula, ya que se reducía la longitud del apoyo al tirante, en los tramos de apoyo sobre el muro de carga. (Ver figuras 4 y 5). La reducción de esfuerzos provocados por esta modificación permitió garantizar la resistencia de las cerchas ante el incremento de carga y exigencia de resistencia al fuego que hubo que considerar para cumplir con las prescripciones del Código Técnico de la Edificación.

Éste es el punto principal de lo que se pretende tratar en este estudio, ya que evitábamos de esta forma la ejecución de refuerzos.

4. Resultados y discusión

El proceso de cálculo comenzó tratando de determinar la capacidad resistente de la estructura original. Para ello se realizó, en primer lugar, una estimación de la capacidad resistente de los materiales basada en un análisis visual de los mismos y concluyendo de manera conservadora.

Se consideró que la madera podía asimilarse a una clase resistente C18 ($f_{m,k}=18,0\text{N/mm}^2$).

Los tirantes de acero no se encontraban en buen estado y, desde un principio se planteó su sustitución, debido a que no implicaba una modificación de la geometría de la estructura, y la mejora conseguida era importante. Por ello se consideró un acero laminado de clase S275 ($f_y=275,0\text{N/mm}^2$).

En esta primera revisión, se concluyó que la estructura podría satisfacer, con una adecuada elección de la solución constructiva para la cubierta, todas las exigencias normativas excepto en el tramo inferior, desde el jabalcón hasta el apoyo en el muro. Esto era debido, fundamentalmente, a que la posición del tirante implicaba una respuesta estructural con un elevado momento flector.

En este análisis, además, se despreció la colaboración de los soportes como elementos capaces de soportar los empujes producidos por el par de madera, debido a que los muros presentan una esbeltez importante y no es posible garantizar en el tiempo la colaboración de las estructuras de los edificios adyacentes con la que cuenta actualmente.

La solución debiera, por tanto, encaminarse a solucionar la escasa resistencia o la elevada sollicitación de la parte inferior de la estructura. Descartando, por motivos estéticos, aumentar la resistencia del elemento mediante el refuerzo de las piezas, se barajó la posibilidad de actuar sobre la configuración geométrica para reducir las sollicitaciones hasta límites aceptables para las secciones existentes.

En este tipo de estructuras la posición del tirante juega un papel determinante en su capacidad resistente. Habitualmente es necesario buscar un compromiso entre una ejecución viable y un comportamiento estructural adecuado.

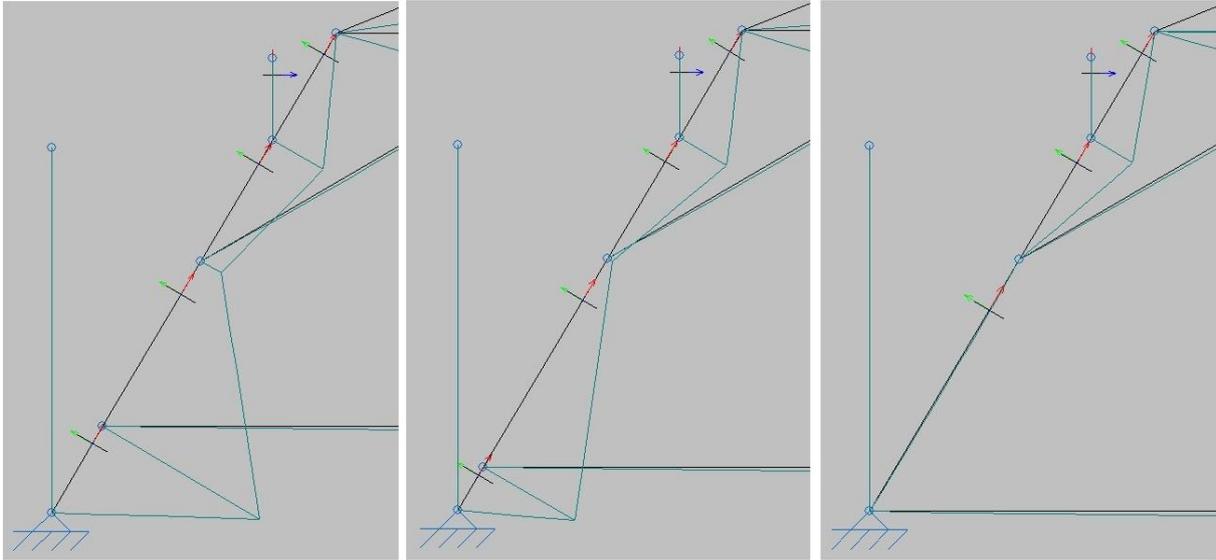
Es evidente que, cuanto más bajo se disponga el tirante inferior, mayor será el brazo de palanca con el que trabaja y mayor será, por tanto, su eficacia estructural. Sin embargo, cuanto más bajo se dispone, menor altura libre queda disponible y es necesario resolver de manera satisfactoria el nudo compuesto por par, muro y tirante.

En la figura 4 puede observarse cómo se reduce el momento flector en el par de madera a medida que el tirante va acercándose a su posición óptima.

En este caso nos encontramos con una posición del tirante excesivamente elevado, probablemente para garantizar una mayor altura útil en el espacio interior y sin descartar

que se hubiera colocado a posteriori ante el temor o la evidencia de que los muros laterales no fueran capaces de contrarrestar el empuje horizontal.

Figura 4



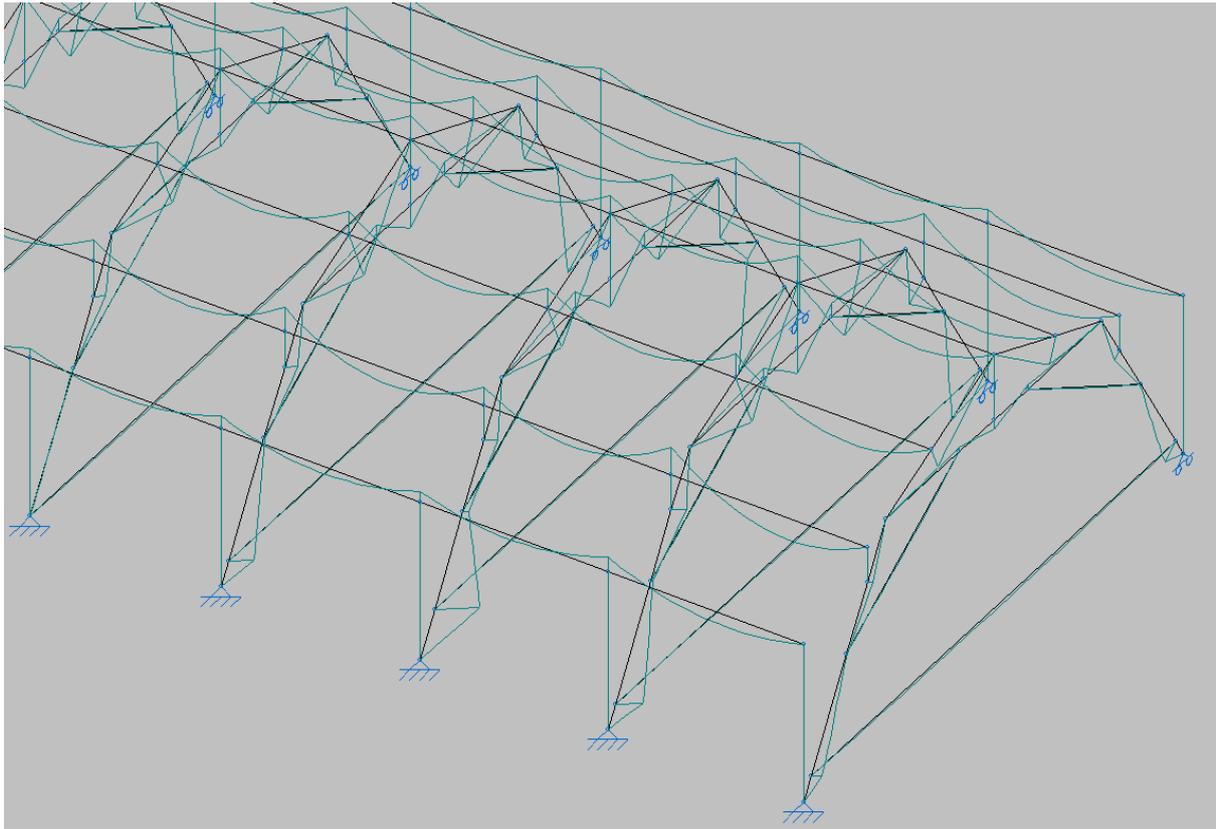
Gráficas de momentos flectores. De izquierda a derecha: 1 Situación de origen; 2 Situación adoptada y que cumple; 3 Situación ideal

Por motivos constructivos no era posible colocar el tirante en la zona inferior de la cercha ya que ello implicaría la necesidad de desmontar la estructura casi por completo ante la necesidad de actuar en la zona de apoyo en el muro. (Ver figura 7) En esta situación, el tramo que se encuentra “sobresolicitado” quedaría sometido únicamente a esfuerzos de compresión simple, sin momento flector, con lo que la estructura se encontraría en una situación suficientemente segura.

Se optó por estudiar si la estructura es capaz de soportar las solicitaciones que tendría en el caso de que se bajase el tirante todo lo posible sin que sea necesario desmontar las cerchas.

Se realizó el análisis con el tirante situado a 50cm del apoyo en muro. Se verificó que, en esta situación, la parte de la estructura que no cumplía ante estados límite últimos debido a la elevada sollicitación de flexo-compresión, había reducido su sollicitación considerablemente, hasta el punto en el que era capaz de garantizar su capacidad resistente con los coeficientes parciales de seguridad exigidos por el Código Técnico de la Edificación y una estabilidad a fuego de 60 minutos en las secciones de madera aserrada.

Figura 5



Gráficas de momentos flectores en tres dimensiones.

Figura 6. Ejecución de los nuevos tirantes



La modificación de la posición de los tirantes trajo consigo el picado de pilares en los casos en los que fue necesario. No se consideró descalzar los pares para llegar todavía más abajo.

Por último, fue necesario dimensionar el tirante que, debido a su nueva situación, había incrementado considerablemente su sollicitación y debía ser tensado para evitar una elevada deformación de la cercha debida al alargamiento del mismo. El tirante se protegió frente al fuego mediante pintura ignífuga.

Los análisis de las diversas soluciones se realizan mediante el programa de cálculo matricial de estructuras en tres dimensiones Cype Nuevo Metal 3D, procediéndose a la comprobación de la solución definitiva mediante el software de elementos finitos Sap2000 contemplando el comportamiento geométrico no lineal debido a la deformabilidad del tirante de acero.

Figura 7. Modelo 3D de las cerchas y de la cubierta de madera que soportan.

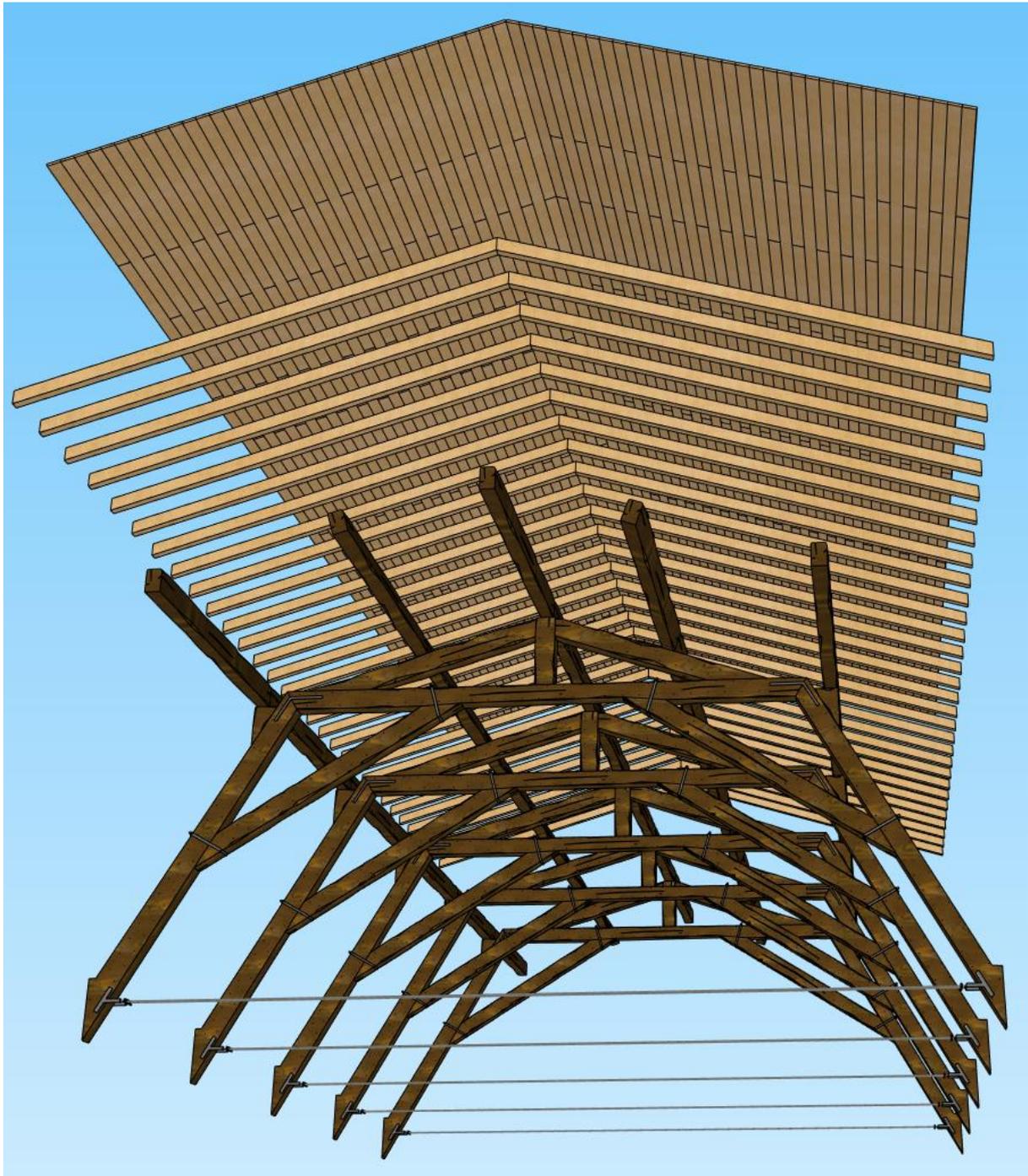


Figura. 8 Cerchas rehabilitadas.



Tras la rehabilitación la situación de los tirantes ha sido regularizada dotando así a todas las cerchas el mismo y máximo canto útil. Éste es el aspecto tras la limpieza con chorro de arena, la colocación de válvulas antirretorno. (se ven en primer plano al tresbolillo) y el barniz de poro abierto incoloro. Imagen cortesía de José Manuel Cutillas, fotógrafo especializado en arquitectura.

5. Conclusiones

Tras todo el proceso de ejecución de las obras, y tras obtener los espectaculares resultados que en este artículo se muestran, las conclusiones que se obtuvieron son:

1. Conviene, antes de tomar ningún tipo de decisión, examinar detalladamente el estado en el que se encuentre cualquier estructura.
2. Hay que valorar los condicionantes externos que han podido llevar a su situación patológica actual para poder neutralizar en el futuro estos condicionantes.
3. Intentar extraer el mayor número de datos referidos a la resistencia mecánica a ser posible sin ensayos destructivos. Con todos estos datos, valorar la opción de recuperar la estructura inicial.
4. Intentar de manera exhaustiva no incrementar el estado de cargas de la estructura en cuestión en su cambio de uso si es que cambia de uso
5. Hacer que la estructura vuelva a funcionar del mismo modo en el que fue diseñada.
6. Es importante, aprehender que, es posible, conservar las estructuras históricas, si estas estuvieron bien diseñadas, haciendo cumplir las exigencias básicas de las normas actuales.

6. Agradecimientos

Los autores desean agradecer a Dña. María Ángeles Ezquerro Zabalza, arquitecto y Jefa de Área de actuaciones en el Patrimonio Histórico Artístico del Gobierno de La Rioja, y a D. José Manuel Cutillas, fotógrafo especializado en arquitectura, la cesión de sus magníficas fotografías para la ilustración de este trabajo.

7. Bibliografía y referencias

- Argüelles Álvarez, R., Arriaga Martitegui, F., (2000). Estructuras de madera. Diseño y cálculo. Ed. AITIM - Asociación de Investigación Técnica de las industrias de la madera y el corcho
- Serrano Alcudia, F., (2005). Patología de la edificación. El lenguaje de las grietas. Fundación Escuela de la Edificación. 3ª ed. ISBN: 84-86957-90-7
- Argüelles Álvarez, R., Arriaga Martitegui, F., Fernández Golfín, J.I., Jiménez Peris, F.J., (1995). Curso de construcción en madera. Estructuras mixtas, rehabilitación y carpintería. Servicio de publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. ISBN: 84-7740-024-5