



REHABEND 2022

Euro-American Congress on Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management

Which took place in Granada, Spain, 13th - 16th September 2022, certifies that **Paper 5**

COLLAPSES IN GLUED LAMINATED TIMBER STRUCTURES OF COVERED POOLS, DUE TO MISTAKES IN ASSIGNMENT OF USE CLASES

by:

Lozano, Alfonso; Lorenzo David; Martínez J. Enrique; Alonso Mar; Álvarez Felipe

has been **reviewed by academic peers** of the Scientific-Technical Committee, **presented at the Congress and included in the Congress Proceedings (book of abstracts & digital book of full papers)**

GTED - UC

Gestión y Tecnología de la Edificación

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

<http://grupos.unican.es/GTED/>

Prof. Ignacio Lombillo

Chairman of the REHABEND 2022 Congress
Associate Professor. University of Cantabria

Prof. María Paz Sáez

Chairman of the REHABEND 2022 Congress
Associate Professor. University of Granada

CODE 1.6

COLLAPSES IN GLUED LAMINATED TIMBER STRUCTURES OF COVERED POOLS, DUE TO MISTAKES IN ASSIGNMENT OF USE CLASES

COLAPSOS EN ESTRUCTURAS DE MADERA LAMINADA DE PISCINAS CUBIERTAS POR ERRORES EN LA ASIGNACIÓN DE LAS CLASES DE USO

Lozano, Alfonso¹; Lorenzo David²; Martínez J. Enrique³; Alonso Mar⁴; Álvarez Felipe⁵

1: Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación
Universidad de Oviedo
e-mail: alozano@uniovi.es, web: <https://giconsime.grupos.uniovi.es/>

2: Departamento de Ingeniería Forestal
Universidad of Santiago de Compostela
e-mail: davidlorenzofouz@mail.com

3: Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación
Universidad de Oviedo
e-mail: martinezmarjuan@uniovi.es, web: <https://giconsime.grupos.uniovi.es/>

4: Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación
Universidad de Oviedo
e-mail: alonsomar@uniovi.es, web: <https://giconsime.grupos.uniovi.es/>

5: Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación
Universidad de Oviedo
e-mail: felipe@constru.uniovi.es, web: <https://giconsime.grupos.uniovi.es/>

RESUMEN

Desde hace mucho tiempo, las estructuras que soportan la envolvente de instalaciones deportivas como piscinas cubiertas, se ejecutan en madera laminada. Las razones que justifican la elección de este material son varias y con independencia de las ventajas medioambientales, mecánicas y estéticas, no cabe duda que el buen comportamiento de la madera en ambientes agresivos asociados a la presencia de sales, cloro, etc., es posiblemente el factor que más influye en su prescripción para este tipo de proyectos.

Sin embargo, en los últimos años se han producido varios colapsos en piscinas construidas con elementos de madera laminada, debido a la degradación de estos componentes estructurales por los hongos de pudrición, a pesar de que no existían problemas de estanqueidad en su cubierta. En la mayoría de los casos, los siniestros no guardaban relación con fugas de agua o filtraciones desde la envolvente, sino con la condensación del vapor de agua sobre las uniones de acero y otros elementos constructivos con deficiente aislamiento térmico.

El artículo muestra varios ejemplos de fallos de este tipo, con algunos de los resultados de los estudios de campo realizados para determinar el alcance de los daños y el análisis de las causas que los provocaron. Además se exponen algunas conclusiones con el fin de que los proyectistas valoren la consideración de algunos detalles constructivos que mejoren la durabilidad de estas estructuras.

PALABRAS CLAVE: Piscinas, madera laminada, colapso, Clases de Uso.

1. INTRODUCCIÓN

El Código Técnico de la Edificación, en su Documento Básico Seguridad Estructural-Madera [1], analiza la durabilidad de las construcciones ejecutadas con este material a lo largo de su periodo de servicio, basándose en dos parámetros: la durabilidad natural y el diseño constructivo. En aquellas situaciones en las que, aun considerando ambos factores, la durabilidad de la madera no pueda garantizarse, será cuando debería aplicarse algún tipo de tratamiento protector. Para ello, el citado documento define el concepto de Clases de Uso, que está relacionado con las distintas exposiciones ambientales en las que la madera es susceptible de resultar afectada por los organismos xilófagos (hongos de pudrición e insectos).

Para aquellas estructuras que se encuentren a cubierto, se han previsto dos posibilidades: Clase de Uso 1, donde la madera no está expuesta al agua y su contenido de humedad siempre se encontrará por debajo del 20%; y la Clase de Uso 2, en la que ocasionalmente pueden aparecer humedades superiores al 20% debido a fenómenos de condensación. Dentro de este grupo se encuentran las piscinas cubiertas, cuyas estructuras de madera aserrada y laminada se han fabricado mayoritariamente a partir de especies como el abeto blanco (*Abies alba*) y el abeto rojo (*Picea abies*).

A lo largo de los últimos años se han detectado en España un significativo número piscinas cubiertas, que han sufrido daños estructurales de mayor o menor entidad. De hecho, en algunas ocasiones, la degradación de sus elementos portantes fue tan grave que se hizo necesario clausurar la instalación. Este trabajo analiza tres casos de deterioro biológico de estructuras de madera laminada, en otras tantas piscinas cubiertas ubicadas en diferentes puntos de nuestro país. La primera de ellas había sido construida en la década de los 80', pero las otras dos tenían menos de veinte años de antigüedad. Sin embargo, en todos los casos los primeros daños habían aparecido antes de los diez años de su vida útil.

Como se podrá comprobar, con independencia de la localización geográfica, el ambiente cálido y húmedo de las piscinas climatizadas, combinado con un incorrecto diseño de algunos elementos constructivos e instalaciones, favoreció la formación de puentes térmicos en determinadas zonas, que favorecieron el desarrollo de procesos de condensación y por ende provocaron la degradación de los componentes de madera. En estos tres casos el nivel de destrucción era tal que no quedó más remedio que sustituir la mayor parte de las piezas afectadas.

En este sentido, los objetivos del presente trabajo son mostrar las causas que han provocado la ruina temprana de este tipo de estructuras, con el fin de que los técnicos proyectistas y los instaladores, tengan en cuenta la importancia de determinadas cuestiones relativas al diseño constructivo. De esta manera podrá mejorarse la durabilidad del edificio en su conjunto.

2. PERIODO DE SERVICIO DE LAS ESTRUCTURAS DE MADERA

2.1 Durabilidad natural y conferida de la madera

La madera aserrada y la laminada encolada, por su naturaleza orgánica, resulta en mayor o menor medida degradada por agentes bióticos y abióticos, que intervienen en su reintegración en la naturaleza. En el primer grupo se encuentran los organismos vivos como los mohos, hongos de pudrición, los insectos y los xilófagos marinos. El segundo grupo está comprendido por los agentes atmosféricos. En esencia, el sol y la lluvia, así como algunos productos químicos.

Los agentes biológicos son responsables de ataques que provocan bajadas en la resistencia de los elementos de la madera. En consecuencia, ésta posible la merma en sus propiedades físicas y mecánicas se deberá en cuenta a la hora de prescribir la madera y su protección. La acción de los insectos destructores de la madera se caracteriza por perforaciones y galerías, mientras que el ataque de hongos produce una amplia variedad de fallos, incluida la destrucción de las células.

Por otra parte, los agentes abióticos en sí mismos no causan daños graves en la composición de la madera. Sin embargo, bajo condiciones ambientales de temperatura y humedad del aire interior excepcionalmente altas, es posible que se desarrollen fenómenos de condensación, lo que en situaciones favorables podría conducir a la aparición de hongos de pudrición de hongos o termitas.

En relación con la resistencia a estos organismos xilófagos, se entiende por durabilidad natural de una especie de madera, a la resistencia inherente al ataque de organismos capaces de degradar su composición. Por otra parte, el citado DB SE-M define la impregnabilidad como la capacidad que tiene un líquido para penetrar en el interior de la madera.

En términos de degradación biológica, el abeto blanco y rojo se clasifican como de duramen no durable (clase de durabilidad 3-4 con respecto a la acción de los hongos, según se cita en la norma europea EN 350-2 [2]), lo que significa que no es posible garantizar su vida útil, a no ser que se emplee algún tipo de tratamiento o medida de protección adicional. Sin embargo, en términos de impregnabilidad, ambas especies se clasifican como especies muy difíciles de tratar (Clase 3 con respecto a la clasificación en la norma europea EN 350-2 [2]).

Desgraciadamente, en general, cuando se trata de construcciones cubiertas, la elección de especies de madera con buena durabilidad natural no es una prioridad a considerar en este tipo de proyectos. Y lo mismo ocurre con la prescripción de los tratamientos preventivos de conservación.

2.2 Condiciones ambientales interiores y aislamiento térmico

Las condiciones ambientales interiores establecidas en los proyectos de las piscinas cubiertas, adquieren una importancia fundamental, no sólo en el confort de los usuarios, sino especialmente en la vida útil de las estructuras, con independencia del material utilizado en su construcción. Efectivamente, una temperatura superficial baja y sobre todo la excesiva humedad relativa del aire, inciden de manera directa en los procesos de condensación, que pueden provocar tanto corrosiones en los materiales metálicos, como la oxidación de las barras en hormigones armados, o favorecer el desarrollo de hongos de pudrición en los elementos de madera.

Como luego se comprobará, a pesar de las distintas localizaciones geográficas de las instalaciones analizadas en el presente estudio, la consideración de las condiciones climáticas interiores correctas y el adecuado aislamiento térmico son dos factores clave en la durabilidad de las estructuras de las tres piscinas cubiertas. En España, a excepción de la mayor parte de Canarias y determinadas zonas del sur de la península, en cualquier otra construcción del resto del país pueden producirse condensaciones interiores en piscinas cubiertas. Por tanto, la precisión en el diseño de los detalles relacionados con los puentes térmicos, la temperatura superficial de algunos elementos constructivos y la correcta renovación del interior, serán puntos clave a considerar en este tipo de proyectos.

2.3 Las uniones en las estructuras de madera de piscinas cubiertas

En relación con el apartado anterior, otro factor fundamental que incide en la degradación temprana de las estructuras de madera en general, y de las piscinas cubiertas en particular, es el diseño de sus uniones para evitar la retención del agua de condensación. Efectivamente, en estos elementos se observan frecuentemente degradaciones por hongos de pudrición y termitas. El problema resulta especialmente grave ya que en muchas ocasiones, los herrajes se sitúan en lugares poco visibles o inaccesibles.

Por todas estas cuestiones es realmente importante diseñar las conexiones entre los diferentes elementos constructivos con el fin de evitar la retención de agua, y asegurar la ventilación y la rápida evacuación del agua. Este asunto debe tenerse especialmente en cuenta en los principales componentes estructurales y juntas, con el fin de evitar las trampas de agua. Los ejemplos que se mostrarán a continuación sirven a la perfección para comprender la relevancia de este tema.

2.4 Normativa de aplicación

La norma europea EN 350-2 [2] proporciona información sobre la durabilidad natural de las especies de madera más utilizadas en Europa. Por su parte, la Norma Europea EN 335: 2013 [3] define las Clases de Uso, aportando además datos sobre los diferentes agentes biológicos susceptibles de atacar la madera. La norma europea EN 460 [4] indica las características que debería presentar la madera, según la Clase de Uso.

2.5 Clases de Uso

El concepto de clase de uso está relacionado con la probabilidad de que un elemento de madera sea atacado por agentes biológicos y su designación depende básicamente de su contenido de humedad.

En el caso del Código Técnico de la Edificación [1], el Documento Básico de Seguridad Estructural-Madera, en su apartado 3: "Durabilidad", expone las diferentes Clases de Uso de los elementos de madera que forman parte de la estructura de un edificio, valorando si la pieza se encuentra a cubierto (Clases de Uso 1 y 2) o a la intemperie (Clase de Uso 3), y el período de tiempo en el que un elemento de madera pueda permanecer por encima del 20% de su contenido de humedad. De hecho, especifica expresamente que las piscinas cubiertas son construcciones que habitualmente se engloban dentro de una Clase de Uso 2. Sin embargo, no cabe duda que un pilar situado en el exterior, en contacto con el suelo (Clase de Uso 3) pero ubicado en el desierto de Almería (Sur de España, bajo condiciones climáticas cálidas y áridas), no tiene el mismo riesgo de ser afectado por organismos xilófagos, que otra pieza de madera en una situación similar en la costa cantábrica, donde debido a las lluvias, las condiciones climáticas húmedas y cálidas son muy comunes.

Por ello, la correcta identificación de la Clase de Uso debe aplicarse de manera independiente a todas y cada una de las escuadrías y juntas de la estructura, pero no al sistema constructivo global. En otras palabras: el diseño de determinadas uniones puede exigir una Clase de Uso superior.

3. TRES EJEMPLOS DE COLAPSOS EN ESTRUCTURAS DE MADERA EN PISCINAS CUBIERTAS DEL NORTE DE ESPAÑA: INSPECCIÓN VISUAL Y ENSAYOS

Se han analizado tres estructuras diferentes de otras tantas piscinas cubiertas, construidas con elementos de madera laminada encolada y ubicadas en tres regiones españolas: dos de ellas se sitúan en el norte del país (Galicia y Cantabria) y la tercera en el interior (Burgos). La figura 1 muestra la instalación deportiva correspondiente a la ciudad gallega.



Figura 1: Piscina cubierta analizada en Galicia.

En estos tres casos, las estructuras habían sido construidas entre los años 80´ y 90´, empleando madera aserrada y laminada de abeto blanco y abeto rojo. Según se ha comentado anteriormente, los primeros síntomas de degradación se habían detectado antes de los diez años posteriores a la entrega de las instalaciones.

Los daños eran muy similares independientemente de la ubicación de las piscinas y se detectaron en cualquier escuadría de madera, incluidas las principales piezas estructurales. En todos los casos se trataba de pérdidas de sección y pudriciones graves, que incluso habían llegado a provocar el colapso de algunas de las vigas principales (Figura 2). También fue posible observar pudriciones de menor entidad, localizadas en uniones metálicas cuyo diseño permitía la retención de agua (Figura 3).



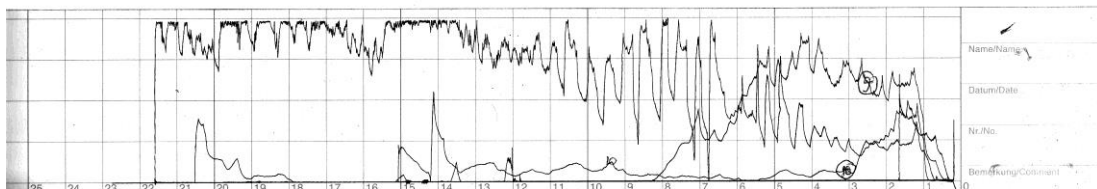
Figuras 2 y 3: Tipología y alcance de los daños en las piezas de madera de las piscinas objeto de inspección.

Además, también se apreciaron aplastamientos locales y roturas coincidentes con los apoyos y taladros correspondientes a las fijaciones mecánicas dispuestas en las testas de otras vigas, lo que evidenciaba la existencia de daños importantes por hongos de pudrición en esas zonas (Figuras 4 y 5).



Figuras 4 y 5: Aplastamientos locales de testas en las zonas de las fijaciones.

Durante los trabajos de inspección se midió el contenido de humedad de todas las piezas en las que se habían observado síntomas de degradación. Para ello se emplearon los habituales xilohigrómetros de resistencia eléctrica y también capacitivos (Figura 6). En aquellos casos en los que había dudas sobre el nivel de daño, se utilizó un resistógrafo para estimar la extensión de las degradaciones de origen biótico (Figuras 7 y 8).



Figuras 6, 7 y 8: Contenido de humedad medida con xilohigrómetro capacitivo y aplicación del resistógrafo.

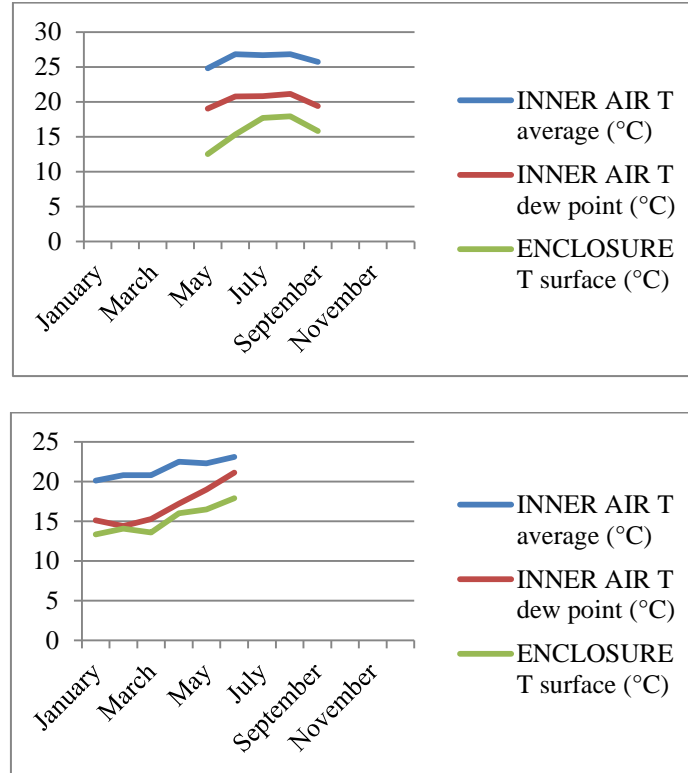
De acuerdo con los datos y la información recabados en las visitas, no había ninguna duda que los fallos observados en los elementos de madera en las tres piscinas analizadas, estaban directamente relacionados con su degradación por la humedad, como consecuencia de la retención de agua en algunas conexiones; y también por fallos errores puntuales en la resolución de algunos puentes térmicos. Además quizás habría que considerar la coexistencia de otros factores coadyuvantes de los procesos de colapso. Entre ellos, la elevada humedad relativa del aire interior, las condiciones climáticas externas, la baja durabilidad de las especies de madera utilizadas en los componentes estructurales y su imposibilidad de protegerlos mediante algún tipo de tratamiento.

Por ello, además de los ensayos anteriores, puesto que las especies de madera utilizadas ya habían sido confirmadas, en dos de estas piscinas que iban a seguir con las instalaciones de climatización en funcionamiento (Galicia y Burgos), se aprovechó para instalar algunos termohigrómetros con sondas de temperatura superficial, que se situarían sobre la madera (Figura 9) y sobre algunos herrajes.



Figura 9: Termohigrógrafo con sonda de temperatura superficial en escuadría de madera.

Los equipos permanecieron en funcionamiento durante un período de tiempo que varió entre cuatro y cinco meses, según el edificio. Los gráficos siguientes muestran los resultados obtenidos en las piscinas de Galicia y Burgos, respectivamente. Como puede verse, las condensaciones se producen de forma continua y constante durante todos los meses, incluidos los más cálidos (Figuras 10 y 11).



Figuras 10 y 11: Temperatura del aire interior, superficial en los herrajes y punto de rocío en Galicia y Burgos.

4. CONCLUSIONES

En diversas poblaciones de España se están detectando daños importantes en estructuras de madera laminada de piscinas cubiertas construidas durante los años 80-90. La mayoría de los casos, los problemas se deben a la degradación causada por los hongos de pudrición en las testas de las vigas, viguetas y correas de cubierta. Y más concretamente por la retención del agua de condensación en los herrajes utilizados en los apoyos. Es decir, que en determinadas situaciones y bajo ciertas condiciones ambientales, las piezas de madera situadas en estas posiciones, no deberían asignarse a una Clase de Uso 2, sino que habría que elevarlas hasta una Clase de Uso 3.

Por el contrario, en otras escuadrías donde existía una mejor ventilación o renovación de aire, la madera solo presentaba decoloraciones o manchas asociadas a mohos, pero en ningún caso se llegaba a producir descomposición del material o pérdida de masa.

Respecto a la madera constituyente de las estructuras, en los tres casos analizados la especie utilizada había sido el abeto (blanco y rojo – *Abies alba* y *Picea Abies*, respectivamente). Este factor agravó aún más el problema planteado en las uniones, debido a la baja resistencia de estas maderas frente a los ataques de todo tipo de organismos xilófagos; y también su difícil tratamiento. Ambas especies tienen una baja durabilidad natural según la norma EN 350 [2], por lo que no serían adecuadas en Clases de Uso relacionadas con altos contenidos de humedad, ya que exigirían la aplicación de un producto protector [4], según EN 460 [5].

Sin embargo, en relación con la protección, ambas especies se clasifican como muy difíciles de tratar, según EN 350 [2]. Se recuerda que el CTE [1] no permite el uso de especies de madera no tratables por encima de la Clase de Uso 3.1.

Por tanto, como conclusiones, respecto a las estructuras de madera utilizadas en piscinas cubiertas, y en general para edificaciones expuestas a una Clase de Uso 2, se recomienda:

- En fase de proyecto, analizar con precisión y resolver adecuadamente los posibles puentes térmicos que existen en la envolvente del edificio.
- Estudiar cuidadosamente la instalación de climatización y controlar la humedad relativa del aire interior durante la explotación, garantizando la renovación del aire en las zonas de testa de las vigas principales. En relación con este particular, sería importante instalar las sondas de control de humedad en el entorno de estos mismos puntos.
- Analizar la tipología y ejecución de juntas y uniones mecánicas, evitando trampas de agua. El diseño de los herrajes situados en posiciones más comprometidas es crucial para garantizar la durabilidad de las estructuras de las piscinas cubiertas, independientemente del material utilizado. En caso de duda, prever herrajes con morfología, orificios de drenaje o detalles de construcción que eviten la retención del agua o faciliten su evacuación. Se recuerda que este mismo problema se plantea en las estructuras metálicas y que para ello existe la normativa EN ISO 12944 - 3 [6], que ayuda y sirve de orientación en el diseño de las uniones de estructuras metálicas para reducir el riesgo de acumulación de agua.
- En ciertos casos, diseñar las estructuras de manera que la madera aserrada y encolada sean asignadas a una Clase de Uso 3. También sería igualmente válido plantear el uso de especies de madera con suficiente durabilidad natural; o susceptibles de mejorarla con la aplicación de tratamientos, con el fin de aumentar la durabilidad natural. Esta consideración debería ser absolutamente necesaria en piscinas cubiertas con sistemas de renovación de aire de baja eficiencia.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero brindado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades a través del Proyecto Nacional PGC2018-098459-B-I00. Igualmente agradecen los fondos autonómicos a través del Gobierno de Asturias y FICYT, también cofinanciados con fondos FEDER de la UE en el marco del Proyecto de Investigación AYUD/2021/51328..

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] Código Técnico de la Edificación. Gobierno de España, Madrid, 20014.

[2] UNE-EN 350: 2016 Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Ensayos y clasificación de la resistencia a los agentes biológicos de la madera y de los productos derivados de la madera..

[3] UNE-EN 335-2: 2013 Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Clases de Uso: definiciones, aplicación a la madera maciza y a los productos derivados de la madera.

[4] UNE-EN 460: 1995 Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Guía de especificaciones de durabilidad natural de la madera para su utilización según las clases de riesgo.

[5] Lorenzo D, Lozano A, Benito J, Guaita M. Durability, Use Classes and weather conditions: the problems of fir and spruce timber bridges built in northern Spain due to several and early wood decay attacks. Proceeding of 3rd International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures. Wroclaw, Poland; September 9-11, 2015.

[6] UNE-EN ISO 12944-3:2018. Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 3: Consideraciones sobre el diseño.