

REHABILITACIÓN DE UNA CUBIERTA DE MADERA: PROYECTO Y REPARACIÓN

Domenech, Leandro*¹; Baño, Vanesa*²; Cetrangolo, Gonzalo*; Morquio, Atilio*

*: Departamento de Estructuras, Instituto de Estructuras y Transporte, Facultad de Ingeniería
Universidad de la República

1: e-mail: ldaguiar@fing.edu.uy

2: e-mail: vanesab@fing.edu.uy

PALABRAS CLAVE: “rehabilitación estructural”; “madera laminada encolada”; “fallo del adhesivo”; “simulación numérica”; “ensayos experimentales”.

RESUMEN

En este trabajo se presenta la rehabilitación de una cubierta de madera laminada encolada (MLE) en la ciudad de Montevideo, Uruguay. La estructura cubre un área de 500 m² de superficie y está formada por seis vigas principales de 20 m de longitud, correas y cabios de MLE de Pino Paraná (*Araucaria araucana*) de procedencia argentina, material del cual no se disponen certificados técnicos. La cubierta se inspeccionó a fines de 2013 y se detectaron elementos con daños estructurales causados por el fallo del adhesivo en los empalmes por unión dentada y entre láminas, lo que provocó la falla por tracción de dos vigas principales. Como solución a las patologías detectadas se planteó: la aplicación de contraflechas a las vigas principales de la estructura, el posterior refuerzo de éstas mediante pernos pasantes a lo largo del canto y elementos metálicos galvanizados en la cara traccionada, la colocación de elementos metálicos galvanizados de refuerzo en las correas, y la modificación de las condiciones de apoyo de los cabios en las correas. Las tensiones y deformaciones producidas por el daño de las vigas y las esperadas después de realizada la rehabilitación fueron estimadas mediante un modelo simplificado y una simulación numérica según el método de los elementos finitos. Durante el proceso de rehabilitación se controlaron las fuerzas y contraflechas aplicadas mediante dinamómetros y comparadores. Los resultados obtenidos del modelo simplificado y de la simulación numérica muestran una muy buena aproximación a las medidas experimentales y permitieron ajustar los valores de las propiedades mecánicas de la MLE. Finalmente, en el trabajo se presentan algunos de los principales desafíos que surgieron durante la rehabilitación, las medidas que se tomaron para resolverlos durante la obra, y el estado final de la cubierta rehabilitada.

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presenta el proyecto y la reparación para la rehabilitación de una cubierta de madera laminada encolada (MLE) de una piscina climatizada. La estructura, que cubre un área de 500 m², fue construida en el año 2000 en la ciudad de Montevideo, Uruguay. Está formada por seis vigas principales de 20 m de longitud, correas y cabios de MLE de Pino Paraná (*Araucaria araucana*) de procedencia argentina. Sobre la estructura de MLE se colocó, como cerramiento, vidrio templado de 14 mm de espesor. Según información facilitada por el suministrador de la madera, a los elementos estructurales de madera se les aplicó un tratamiento protector en profundidad mediante la impregnación de la madera con sales CCA (Cobre, Cromo y Arsénico). En cuanto al adhesivo empleado, fue de tipo resorcínico. Sin embargo, no existen datos del control de calidad de la fabricación de las vigas ni de los ensayos iniciales, información requerida de acuerdo a las especificaciones definidas en las normativas relativas a los requisitos de fabricación de vigas de madera laminada encolada [1], [2].

Entre los años 2002 y 2007 se recoge una continuidad de informes sobre las actuaciones realizadas en la cubierta debido a la entrada de agua por el cerramiento de vidrio. En el año 2010 se produce la rotura de la viga V2 y en el año 2013 la rotura de la viga V4. La Figura 1 a) muestra un esquema de la designación de los elementos estructurales de la cubierta, nombrando las seis vigas principales desde V1 hasta V6 y las correas ubicadas entre las vigas principales desde C1 hasta C9. La Figura 1 b) muestra el estado de la estructura de la cubierta, con el apuntalamiento de las vigas principales, mediante pilares de madera, realizado después de haberse producido la rotura de las vigas V2 y V4.

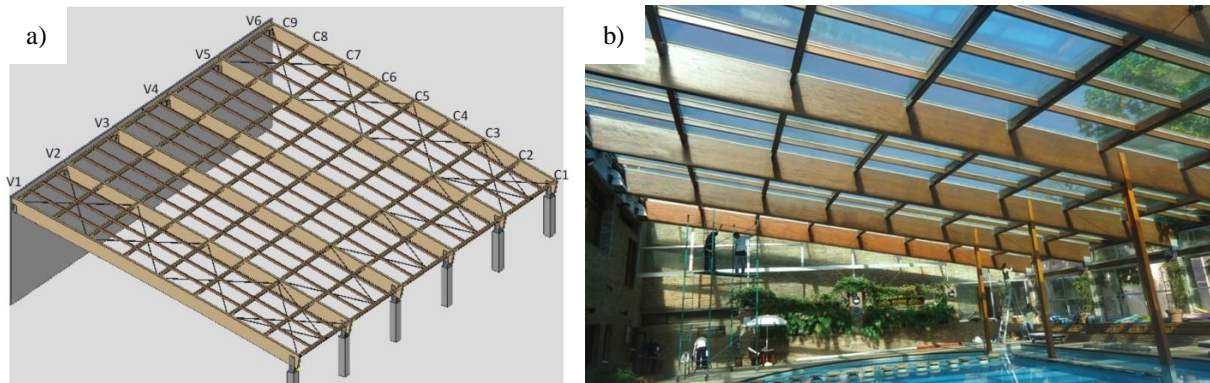


Figura 1: a) Esquema de la cubierta; b) situación de la cubierta previo a la intervención.

A fines del año 2013 los autores tomaron contacto con el problema y realizaron una inspección visual y una serie de ensayos no destructivos para determinar el estado estructural de la cubierta, así como para estimar el contenido de humedad de la madera y las propiedades mecánicas de la MLE para el cálculo estructural [3].

En la inspección visual se detectaron fallos por esfuerzos de tracción perpendicular a la fibra, unidos a fallos de delaminación en línea de cola y en la unión dentada (*finger-joint*) entre las testas de las láminas, tanto en las correas como en las vigas principales. La mayor parte de las reacciones en los apoyos de los cabios recaen sobre unos rastreles de apoyo fijados a la parte inferior de las correas mediante tirafondos, provocando que la carga de la cubierta se aplique únicamente sobre las tres láminas inferiores de las correas, en lugar de sobre toda la sección de las mismas. Esta disposición constructiva suele llevar a un fallo por tracción perpendicular a la fibra en las correas [4]. La deficiencia en el encolado de las correas provocó que la rotura se produjese en la línea de adhesivo, tal como se muestra en la Figura 2 a). En las Figuras 2 b) y 2 c) se puede observar que la rotura en las vigas principales se produjo por la combinación de delaminación en la unión dentada en la 2ª y 3ª lámina (empezando desde la parte inferior) y la presencia de nudos en 1ª y 4ª lámina a una distancia aproximada de un tercio de la longitud del vano de apoyo inferior de las vigas.

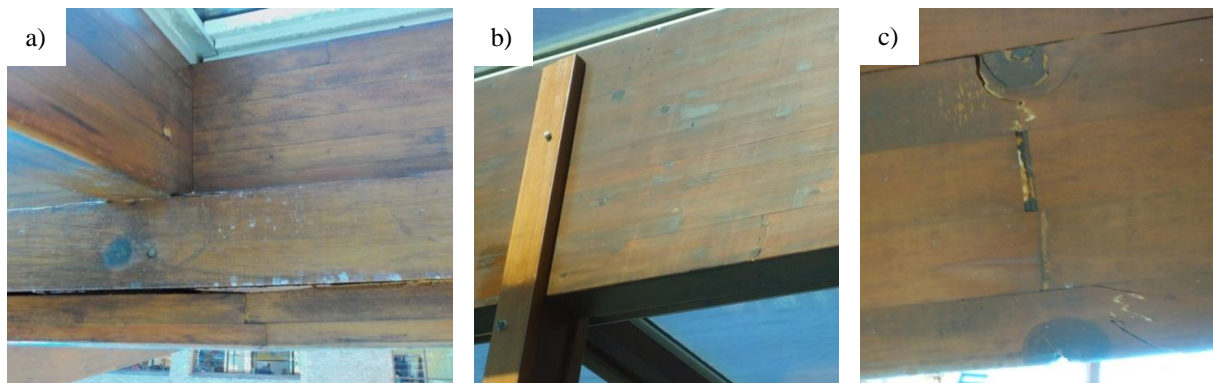


Figura 2: a) Delaminación pasante en la segunda línea inferior de cola; b) rotura de la viga V4 por la presencia de uniones dentadas y nudos encadenados; c) ampliación de la Figura 2 b).

La humedad medida de la madera fue de aproximadamente el 16%, valor que coincide con los rangos de humedad de equilibrio higroscópico de la madera para condiciones de servicio [4], [5]. Para la estimación de las propiedades mecánicas, se empleó el Reglamento argentino de estructuras de madera [6], que establece dos grados estructurales (1 y 2) para las vigas de MLE de Pino Paraná proveniente de Misiones (norte de Argentina). De acuerdo a los ensayos de ultrasonido realizados se asignó la Clase 2, cuyos valores característicos son los siguientes [7]: resistencia a flexión ($f_{m,g,k}$) igual a 20 MPa y módulo de elasticidad ($E_{0,g,medio}$) igual a 13 GPa.

El objetivo general de este trabajo es presentar el proceso de rehabilitación de la estructura de MLE y comparar los resultados numéricos considerados para el planteamiento de la restauración con los valores experimentales obtenidos durante la misma.

Como objetivos parciales se plantea: a) desarrollar la metodología utilizada en la propuesta de rehabilitación y en el ajuste de la intervención a la estructura, en particular para su reparación y correcto funcionamiento minimizando el impacto económico y la dificultad del proceso constructivo; b) presentar algunos de los principales desafíos que surgieron durante la rehabilitación y las medidas que se tomaron para resolverlos durante la obra; y c) mostrar el estado final de la cubierta rehabilitada.

2. METODOLOGÍA DE REHABILITACIÓN

En base a los resultados de la inspección efectuada se propuso una metodología de rehabilitación de la cubierta de MLE. La propuesta tuvo en cuenta, además de las exigencias estructurales, la apariencia estética de la piscina, manteniéndose los elementos estructurales del diseño original y las mismas luces libres. Desde el punto de vista constructivo, la rehabilitación fue proyectada para realizarse desde el interior de la piscina, de forma que no fuera necesario el desmonte del cerramiento de vidrio dados los altos costos que esta operación habría implicado.

Como solución a las patologías detectadas se planteó el refuerzo de las vigas principales mediante pernos pasantes a lo largo del canto y un perfil metálico galvanizado en la zona traccionada, refuerzos a ser colocados con las vigas principales sometidas a contraflechas, la colocación de elementos metálicos galvanizados de refuerzo en las correas, la modificación de las condiciones de apoyo de los cabios en las correas y la reparación de otros daños que pudiera presentar la madera.

La metodología de rehabilitación puede dividirse en tres apartados: a) apuntalamiento de las vigas principales; b) actuación sobre las vigas principales; y c) rehabilitación de las correas.

2.1 Apuntalamiento de las vigas principales

Previo a la actuación sobre las vigas principales se planteó el apuntalamiento en dos puntos distantes 3,5 m cada uno con respecto al eje perpendicular de la viga, tal como se muestra en la Figura 3. El objetivo de este apuntalamiento fue la posterior aplicación de una contraflecha en el proceso de rehabilitación de las vigas principales

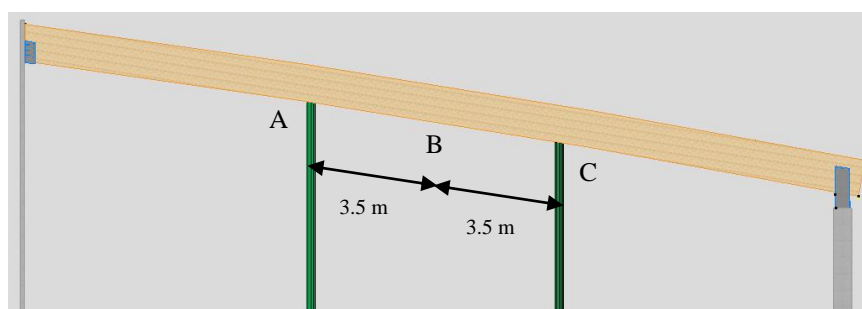


Figura 3: Colocación de los puntos de apoyo de las vigas (andamio) previo a la reparación estructural.

2.2 Actuación sobre las vigas principales

El procedimiento propuesto de actuación sobre las vigas principales consistió, inicialmente, en la reparación de las roturas y delaminaciones en las líneas de encolado y uniones dentadas mediante la colocación de resina epoxi, llenando en su totalidad los espacios.

Inmediatamente se planificó la aplicación de la carga para obtener la contraflecha mediante gatos manuales, de forma controlada, con los siguientes objetivos: a) cerrar las roturas y delaminaciones y ejercer presión de manera de favorecer el pegado, b) reducir las tensiones de flexión de las vigas principales, y c) permitir que los elementos metálicos trabajen parcialmente para el peso propio de la cubierta.

El refuerzo de las vigas principales se previó mediante la colocación de pernos que compriman las láminas de madera, la colocación de perfiles metálicos UPN-120 en los cantos inferiores que trabajen a tracción y tensores en los apoyos para transmitir el esfuerzo de cortante, tal como se muestra en las Figuras 4 a) y b). Las funciones de los pernos son conseguir que las láminas que configuran las vigas de MLE funcionen en conjunto, así como servir de unión entre los perfiles metálicos y cada una de las vigas. El procedimiento para la colocación de cada perno consiste en el pre-taladro de la viga con un diámetro de 15 mm según la dirección del canto y la introducción un perno roscado de 20 mm de diámetro de acero al carbono clase 8.8 [8]. En el extremo inferior del perno se planificó la colocación una tuerca y una arandela para sujetar el perfil UPN-120. En la Figura 4 c) se muestra el proceso de colocación de los pernos.

Finalmente, se planificó el retiro de los apuntalamientos de la cubierta de forma progresiva y controlada para evitar la rotura de los vidrios de cerramiento por flechas diferenciales.

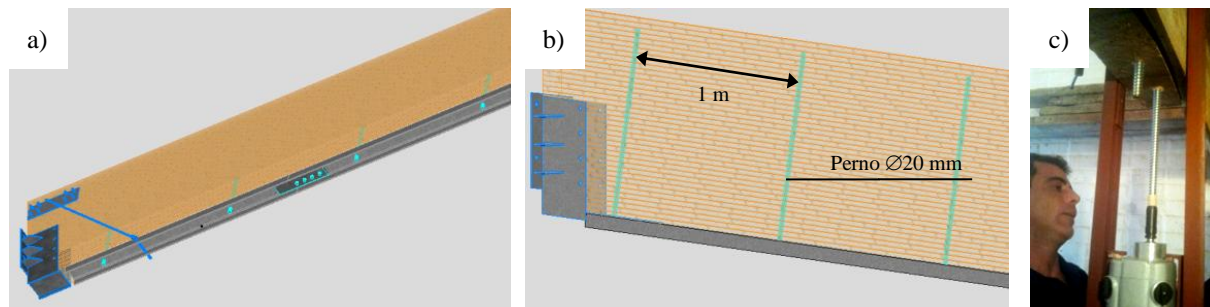


Figura 4: a) Viga principal con los elementos de refuerzo estructural; b) detalle de colocación de los pernos; c) proceso de colocación de los pernos.

2.3 Rehabilitación de las correas

Paralelamente a la actuación sobre las vigas principales, se planteó la colocación de herrajes de cuelgue que sirvan de apoyo a los cabios, evitando que transmitan la carga sobre los rastreles de apoyo y que provoquen esfuerzos de tracción perpendicular a la fibra en las correas. Para esto, se planificó realizar un rebaje en el rastrel de apoyo de modo que evite el contacto entre el cabio y el rastrel. Al igual que en las vigas principales, se planteó un apriete de las láminas que configuran la correa de madera laminada mediante colocación de tirafondos, disminuyendo así la probabilidad de delaminación. Además, se planificó la colocación de una chapa metálica en el borde inferior de las correas, fijada por los tirafondos, para que funcione en la zona de tracción como refuerzo y pueda recibir la totalidad de la fuerza en el caso de un fallo en la unión dentada.

3. MODELO SIMPLIFICADO

El cálculo simplificado de los elementos metálicos planteados en la rehabilitación de la cubierta se realizó tomando como hipótesis el peor escenario, o sea que las vigas de MLE no soporten tensiones de tracción en la totalidad de la sección fisurada.

Mediante la homogeneización de la sección compuesta de las vigas principales y las correas [9] se verificó el estado límite último de flexión y cortante en los elementos de MLE [5], el estado límite último de tracción combinado con flexión en los perfiles y las chapas de acero [10], y la resistencia a corte y aplastamiento de los pernos de acero al carbono [10]. Posteriormente se calcularon las tensiones en la sección central y la deflexión máxima en la viga. El cálculo de las flechas se realizó a partir de la teoría de vigas de Euler, que no considera deformaciones por cortante. Esta simplificación es razonable para la relación canto-luz de las vigas [4], [9].

En los cálculos se consideró una densidad (ρ) de la madera de Pino Paraná (*Araucaria angustifolia*) de 400 kg/m^3 para un Grado 2 [6] y se corrigió el valor por el contenido de humedad. La resistencia a flexión ($f_{m,g,k}$) se tomó igual a 20 MPa y el módulo de elasticidad ($E_{0,g,medio}$) igual a 13 GPa [7]. El resto de los valores característicos se estimaron a partir de los anteriores [1], [4]: resistencia a esfuerzo cortante ($f_{v,g,k}$) igual a 3,5 MPa y módulo de elasticidad transversal ($G_{g,medio}$) igual a 0,8 GPa. En cuanto a los perfiles, las chapas y los pernos metálicos, se consideró un módulo de elasticidad de 200 GPa y la resistencia especificada por los fabricantes.

4. MODELO NUMÉRICO

Para el cálculo de las tensiones y deflexiones originadas cuando se produjo la rotura de las vigas principales, durante el proceso de rehabilitación de éstas y al final de dicho proceso, se realizó un modelo de elementos finitos 3D en el software comercial SAP2000. Las vigas principales fueron modeladas mediante elementos de área *Shell Layered/Nonlinear* considerando el comportamiento no lineal y ortótropo de la madera [11]. Las correas y los cabios fueron modelados por elementos de línea con el mismo material que las vigas principales. Los módulos de elasticidad a tracción (E_t) y a compresión (E_c) se determinaron a partir de (1) [4]. Se obtuvo un módulo de elasticidad a tracción (E_t) igual a 14,0 GPa y de compresión (E_c) igual a 11,7 GPa. Además se consideró un módulo de elasticidad perpendicular a la fibra (E_{90}) igual a 0,425 GPa, coeficientes de Poisson (μ) igual a 0,4, módulo de corte longitudinal-radial y longitudinal-tangencial (G_{lr} y G_{lt}) igual a 0,80 GPa y módulo de elasticidad radial-tangencial (G_{rt}) igual a 0,08 GPa [4].

$$E_{0,g,medio} = \frac{4E_t E_c}{(\sqrt{E_t} + \sqrt{E_c})^2} ; \frac{E_t}{E_c} = 1,2 \quad (1)$$

Los vidrios se modelaron mediante elementos de área *Shell Thin*, y se los vinculó a la estructura de madera mediante resortes. Los tornillos y los perfiles UPN-120 se los modeló mediante elementos de línea y se unieron entre sí mediante resortes que modelan el aplastamiento del acero del perfil. Análogamente, la unión entre los tornillos y las vigas de madera se realizó mediante resortes que modelan el aplastamiento de la madera. Se introdujeron las etapas constructivas de la propuesta de rehabilitación y se efectuó un análisis *Nonlinear Staged Construction*, obteniéndose así las tensiones y deflexiones para cada etapa ingresada, variando como parámetro las contraflechas a adoptar.

En la Tabla 1 se presentan las contraflechas que se resolvió aplicar en ambos puntos de cada viga, de acuerdo a la Figura 3, en cada fase de apuntalamiento. El valor de 24 mm de contraflecha, adoptado para colocar el refuerzo en las vigas con descarga desde los dos lados, se determinó de manera de que los valores máximos de tensión en la zona fisurada de las vigas V2 y V4, una vez terminada la rehabilitación no fueran mayores a los que dicha sección tenía previo a la falla.

Tabla 1: Contraflecha de diseño a aplicar en los puntos A y C de las vigas en cada fase de apuntalamiento.

	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4	Viga 5	Viga 6
Fase 1	12 mm	x	x	x	X	x
Fase 2	12 mm	24 mm	12 mm	x	X	x
Fase 3	X	12 mm	24 mm	12 mm	X	x
Fase 4	X	x	12	24 mm	12 mm	x
Fase 5	x	x	x	12	24 mm	12 mm
Fase 6	x	x	x	x	12 mm	17 mm

5. RESULTADOS DE LA REHABILITACIÓN

Durante la aplicación de las contraflechas se midieron los desplazamientos en los puntos de aplicación de la carga mediante comparadores analógicos fijados a un punto fijo y las fuerzas aplicadas mediante dinamómetros conectados a un puente de Wheatstone, tal como se muestra en la Figura 5 a).

Previo a la inspección y propuesta de rehabilitación de la estructura se habían apuntalado las vigas principales V2 a V5, tal como se muestra en la Figura 1 b), para intentar detener el proceso de rotura y delaminación de las líneas de cola y uniones dentadas. Ya sea porque al colocar los puntales se ejerció una fuerza vertical o porque posteriormente se produjeron flechas por el fallo o por el comportamiento viscoelástico de la MLE, se encontró que muchos de estos puntales se encontraban con cierta sollicitación axial de compresión. Este fue el principal inconveniente en la intervención puesto que implicó que en ciertos puntos se aplicara una fuerza con los gatos sin que se midiera una flecha relativa. En estos casos se trazó la pendiente de la curva fuerza-flecha para el tramo lineal y se proyectó hasta cortar con el eje horizontal de la gráfica, de forma de conocer la flecha impuesta por los puntales y eliminar el efecto de estos sobre la rehabilitación.

El otro imprevisto de importancia surgió al re-inspeccionar la viga principal V1. En las láminas superiores se detectó delaminación en las líneas de cola, posiblemente debido a una combinación de la succión del viento y la entrada de agua desde el exterior, entre la placa cementicia de revestimiento y el vidrio de la cubierta. Para resolver esta delaminación se previó el cosido de estas láminas mediante tirafondos VGZ9200/500mm [8] colocados desde la cara superior, lo más próximo posible al eje de la viga, atravesando el perfil de aluminio que separa los bordes de los vidrios.

Aún con los inconvenientes antes comentados, la rehabilitación de la estructura se realizó de forma exitosa y sin mayores complicaciones. Se siguieron todos los pasos presentados en la metodología de rehabilitación y se aplicaron los valores de contraflechas indicados en la Tabla 1. De esta forma, fue posible una intervención que minimizó el impacto económico y la dificultad del procedimiento constructivo debido a que no fue necesario el desmonte total del cerramiento de vidrio de la cubierta. En la Figura 5 b) se muestra el estado de la cubierta y la piscina una vez finalizada la obra y en la Figura 5 c) el detalle de una viga terminada.



Figura 5: a) Dinamómetro y comparador colocado para medir la fuerza y flecha aplicada por el gato; b) estado de la cubierta y la piscina una vez finalizada la obra; c) detalle de la viga V4 terminada.

6. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

En la Tabla 2 se presentan las tensiones máximas en servicio en la sección central y a una distancia aproximada de un tercio del apoyo, sobre la fisura, de la viga principal V4 para las distintas etapas de la rehabilitación, a partir del modelo simplificado y numérico. En la Tabla 3 se muestran las flechas máximas y las producidas en los puntos de apuntalamientos para ambos modelos, así como las medidas obtenidas experimentalmente.

Tabla 2: Tensiones de tracción (σ_T) y compresión (σ_C) máximas en servicio de la viga V4.

Etapa	Modelo simplificado		Modelo numérico			
	Sección central		Sección central		Sección en la fisura	
	σ_T	σ_C	σ_T	σ_C	σ_T	σ_C
Antes de producida la fisura	6,7 MPa	-6,7 MPa	7,0 MPa	-6,4 MPa	6,0 MPa	-5,5 MPa
Después de producida la fisura	-	-	7,0 MPa	-6,4 MPa	8,7 MPa	-6,6 MPa
Aplicada la contraflecha	2,8 MPa	-2,8 MPa	2,9 MPa	-2,7 MPa	3,1 MPa	-2,2 MPa
Final	4,8 MPa	-5,8 MPa	5,1 MPa	-5,6 MPa	5,9 MPa	-5,4 MPa

Tabla 3: Flechas máximas (f_{max}) y sobre el apuntalamiento (f_{ap}) en servicio de la viga V4.

Etapa	Modelo simplificado		Modelo numérico		Resultado experimental
	f_{max}	f_{ap}	f_{max}	f_{ap}	f_{ap}
Antes de producida la fisura	47 mm	40 mm	46 mm	39 mm	-
Después de producida la fisura	48 mm	42 mm	-	-	-
Diferencia de contraflecha	- 29 mm	- 24 mm	- 28 mm	- 24 mm	- 24 mm
Aplicada la contraflecha	19 mm	18 mm	18 mm	15 mm	-
Descenso después de reparada	+ 19 mm	+ 15 mm	+ 18 mm	+ 15 mm	+ 14 mm
Final	38 mm	33 mm	36 mm	30 mm	-

En la Figura 6 se muestran las tensiones y deflexiones obtenidas del modelo computacional para la viga V4 antes de producida la fisura, después de producida la fisura, durante el proceso de rehabilitación y terminado el proceso de rehabilitación.

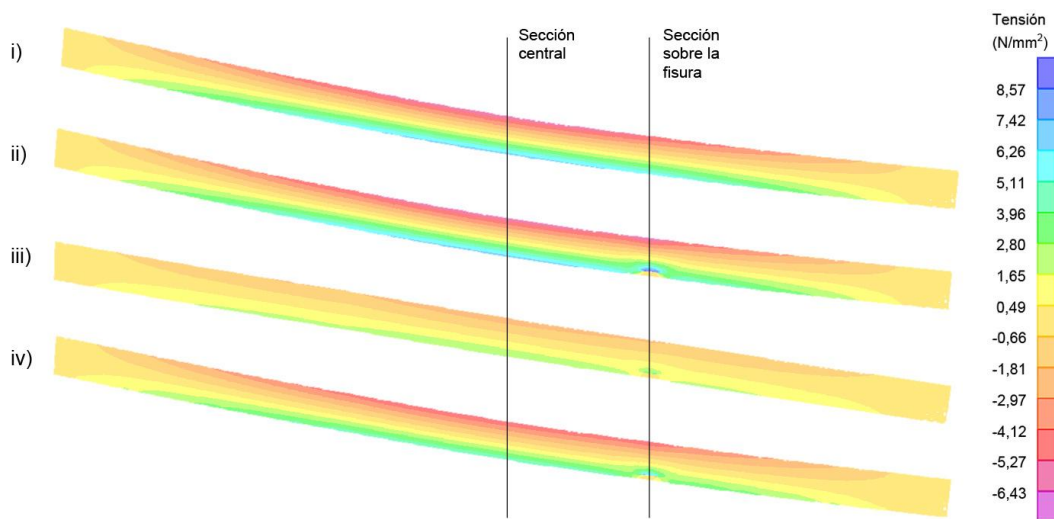


Figura 6: Tensiones y deflexiones i) antes de producida la fisura, ii) después de producida la fisura, iii) durante el proceso de rehabilitación, iv) terminado el proceso de rehabilitación.

La fuerza a aplicar para producir una contraflecha de 24 mm en los puntos del apuntalamiento fue calculada igual a 11,7 kN, tanto por el modelo simplificado como por el computacional. Finalmente, se debió aplicar una fuerza promedio de 12,0 kN. Este resultado, junto con el descenso de la viga después de reparada, muestra una excelente correlación entre los modelos y la estructura real.

En cuanto a los resultados de los modelos, antes de producida la rotura de la viga, las tensiones y deflexiones son las esperadas de acuerdo a la geometría y a las cargas actuantes. Una vez producida la rotura, las tensiones en la sección central no se ven afectadas, lo que resulta esperable si se considera el principio de Saint-Venant. Sin embargo, en la sección sobre la fisura las tensiones aumentan considerablemente, particularmente las de tracción, haciéndose incluso mayores a las de la sección central. Las deflexiones se modifican relativamente poco, aumentando la deflexión máxima un 2%.

Durante la fase 4 del proceso de rehabilitación, correspondiente a la aplicación de la máxima contraflecha sobre la viga V4, las tensiones no cambian de signo y son significativamente menores. Por esta razón no se compromete el funcionamiento ni la seguridad de la viga de madera durante la rehabilitación. Una vez terminada la rehabilitación, las tensiones máximas resultan menores a las originales, propias de la etapa anterior a la rotura. En la sección de la fisura las tensiones máximas son prácticamente iguales a las originales; resultado esperado puesto que las contraflechas fueron adoptadas para recomponer el funcionamiento estructural original de la sección dañada. Como consecuencia del aumento de la rigidez global y de las contraflechas producidas, la deflexión máxima final resulta en un 18% menor a la deflexión máxima antes de producirse la fisura.

7. CONCLUSIONES

En el trabajo se presenta el proceso de rehabilitación de la estructura de una cubierta de madera laminada encolada con daño estructural en sus vigas principales y secundarias y se compara los resultados numéricos considerados para el planteamiento de la rehabilitación con los valores experimentales obtenidos durante la misma.

Tanto el modelo simplificado como numérico brindaron muy buenos resultados cuando se los compara con los resultados experimentales y constituyeron herramientas muy aproximadas para el cálculo de los estados límites últimos y de servicio.

En cuanto a la metodología planteada, esta tuvo en cuenta las exigencias estructurales y estéticas, y permitió reducir el impacto económico y la dificultad del procedimiento constructivo debido a que no fue necesario el desmonte total del cerramiento de vidrio de la cubierta. La ejecución de la obra fue exitosa, ya que se logró según lo planificado, sin la rotura de vidrios ni mayores complicaciones. La estructura recuperó su aspecto original y con un razonable mantenimiento podrá continuar en servicio durante muchos años.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Comité Europeo de Normalización (CEN). *UNE-EN 14080:2013. Estructuras de madera. Madera laminada encolada y madera maciza encolada. Requisitos*. CEN, 2013, 110 p.
- [2] Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). *IRAM 9660-1. Madera laminada encolada estructural. Parte 1: Clases de resistencia y requisitos de fabricación y control*. IRAM, 2005, 27 p.
- [3] Baño, V.; Domenech, L.; Cetrangolo, G.; Morquio, A. Inspección y restauración de la cubierta de madera laminada encolada de una piscina climatizada. *XIII Congresso Latino-Americano de Patologia da Construção*. Lisboa, Portugal, setiembre de 2015.
- [4] Arguelles, R.; Arriaga, F.; Martínez, J.J. *Estructuras de madera: diseño y cálculo*. AITIM, Madrid, España, 2000, 720 p.
- [5] Comité Europeo de Normalización (CEN). *UNE-EN 1995 (2004+A2:2014). Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación*. CEN, 2006, 138 p.
- [6] Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). *CIRSOC 601: Reglamento argentino de estructuras de madera*. INTI, 2013, 176 p.
- [7] Cortina, A. D.; Piter, J. C.; Oribe, M. D.; Belvisi, D. S.; Cuffré, A. G.; González, A. A.; Stefani, P. M.; Villalba, D. I. La madera laminada encolada como material estructuras. Clases resistentes y propiedades mecánicas para tres especies cultivadas en Argentina. *XIX Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural*. Mar del Plata, Argentina, octubre de 2006.
- [8] Rotho Blaas. *Rothofixing: Carpintería de madera*. Bolzano, Italia, 2012, 260 p.
- [9] Timoshenko, S. *Resistencia de materiales. Primera parte: Teoría elemental y problemas*. Espasa-Calpe, S. A., Madrid, España, 1957, 350 p.
- [10] American Institute of Steel Construction (AISC). *Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago, Estados Unidos de América, 2010, 240 p.
- [11] Computers & Structures Inc. *CSI Analysis Reference Manual: For SAP2000, ETABS, SAFE and CSI Bridge*. Berkeley, Estados Unidos de América, 2014, 524 p.