

Aplicación de métodos de cálculo experimentales para el diseño de secciones compuestas madera-hormigón en forjados horizontales*

Jennifer López Guevara

jlopezg@civil.cujae.edu.cu

Gabriela Moreno Díaz

Especialidad: Ingeniería Civil

Universidad Tecnológica de La Habana CUJAE (Cuba).

Resumen: Se analizó el uso de las secciones compuestas de madera-hormigón en el comportamiento estructural ante las deformaciones como una técnica para el reforzamiento de estructuras patrimoniales. Su uso en la intervención de forjados horizontales permitió la recuperación del entrepiso para enfrentar cambios de uso y, por consiguiente, las sobrecargas que esto generalmente ocasiona, incrementando la rigidez a flexión al lograr que exista una conexión adecuada entre ambos materiales para que actúen de forma solidaria. El refuerzo de forjados horizontales, mediante el uso de sección compuesta, ofreció una mejora en el trabajo del conjunto estructural. Se concluye que el empleo del hormigón ligero supone una mejora en la disminución del peso propio de la sección.

Palabras clave: secciones compuestas; conexión; rehabilitación; forjados horizontales.

* Recibido: 6 marzo 2018/ Aceptado 18 noviembre 2018.

Application of experimental calculation methods for designing concrete and timber composite structures in horizontal slabs

Abstract: The use of concrete and timber composite structures in the structural performance if deformation was analyzed as a technique for reinforcing patrimonial structures. Its use in the intervention of horizontal slabs allows recovering the mezzanine to face use changes and consequently the overloads that this usually causes, increasing the rigidity to flexion when achieving that there is an adequate connection between both materials so that they act in solidarity. The reinforcement of horizontal slabs, offers an improvement in the work of the structural set through the use of composite structures. It is concluded that the use of lightweight concrete implies an improvement in the reduction of the weight of the section itself.

Keywords: composite structures; connection; rehabilitation; horizontal slabs.

Introducción

El paso del tiempo hace que las construcciones se degraden debido a las acciones mecánicas, físicas, químicas y biológicas que actúan sobre la estructura y sus materiales constituyentes. El Centro Histórico de La Habana tiene parte de su patrimonio construido con un gran deterioro estructural, edificaciones con sumo valor histórico-artístico donde la decisión entre reforzar o sustituir un elemento estructural no se adopta solo por criterios económicos o constructivos sino por lo que verdaderamente exige su conservación siempre que la intervención no cambie la naturaleza propia del elemento. La relación de todos los problemas existentes en una edificación de valor patrimonial surge tras los procesos de inspección, levantamiento de planos, peritación y diagnóstico de la estructura; proyectar soluciones eficaces de acuerdo a las exigencias planteadas es de vital importancia para la conservación de dichos símbolos que representan el legado cultural y arquitectónico de nuestros antepasados.

La madera es un material con amplias aplicaciones en la construcción y está presente en gran parte de los elementos estructurales y no estructurales de las edificaciones a intervenir. Dicho material, para su utilización, debe cumplir con los requisitos por durabilidad o estar adecuadamente preservada; la humedad es el factor externo que más la afecta, pues si está mal controlada puede degradar biológicamente el material, o propiciar la proliferación de organismos xilófagos.

En Cuba se hace sumamente costosa la obtención de la madera con las dimensiones y escuadrías necesarias para la sustitución total de los elementos dañados, por ello se han de estudiar métodos que puedan ser factibles para la rehabilitación de las edificaciones patrimoniales. La utilización de las secciones compuestas de madera-hormigón supone ventajas notables y puede ser una solución para las estructuras que requieran de una intervención.

Consideraciones para el diseño de estructuras compuestas madera-hormigón

Según Martínez-Juan (2016) no existe hasta la fecha ningún Eurocódigo que hable específicamente de estructuras compuestas de hormigón y madera. Solo existen algunas reglas en los Eurocódigos 4 y 5 (2004).

El Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera, se refiere exclusivamente al proyecto de estructuras de madera (madera aserrada, cepillada, en forma de palo o en forma de madera laminada encolada) o paneles industriales de tablero unidos entre sí con adhesivos o elementos de fijación mecánicos. Dada la ausencia de normativa para elementos mixtos madera-hormigón con elementos de fijación se utilizan algunos criterios recogidos en el capítulo 6 de este Eurocódigo que aborda los principios y reglas que deben ser cumplidas por las uniones o elementos de fijación entre las piezas de la madera que forman la estructura.

El Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras compuestas de hormigón y acero, regula las conexiones entre el hormigón y el acero (pernos, tacos, anclajes y cercos, conectores angulares, tornillos pretensados, etc.). Las conexiones entre el hormigón y la madera no se aplican en esta normativa; sin embargo, los principios básicos de cálculo de las estructuras compuestas hormigón-acero son extrapolables a estructuras compuestas madera-hormigón sustituyendo los parámetros elásticos y geométricos del acero por el de la madera y poniendo la rigidez de la conexión correspondiente.

Las posibilidades de cálculo que ofrecen estas normativas son: posibilidad de calcular forjados con conexión total (conectores a tracción), posibilidad de calcular forjados con conexión semirrígida (conectores a cortante), posibilidad de calcular el coeficiente de desplazamiento (K_{ser}) a cortante de muchos tipos de tornillos y barras sin necesidad de realizar ensayos (cálculo a favor de la seguridad) y la posibilidad de obtener el coeficiente de desplazamiento (K_{ser}) mediante ensayo y optimizar así el número de conectores.

Aplicación del refuerzo mediante sección compuesta madera-hormigón a un caso de estudio

A pesar de los años de explotación y la falta de mantenimiento, el edificio se conserva actualmente en un estado técnico-constructivo de regular a bueno (Figura 1). Los techos son de viga y tablazón. El inmueble presenta grado de protección 2, establecido por las regulaciones urbanas del municipio de Habana Vieja y por la Oficina del Historiador. La Tabla 1 muestra los datos para el cálculo obtenidos a partir del informe del diagnóstico realizado en el año 2016 (Balmaseda, 2017).



Figura 1. Fachadas del inmueble objeto de estudio hacia las calles Monte y Zulueta.

Tabla 1. Datos del forjado objeto de estudio

Datos del forjado	Luz de trabajo: 5,89 m	Ancho: 9 cm	Peralto: 30 cm	Espaciamiento entre vigas: 38 cm
Características físico-mecánicas de la madera:	Densidad (g/cm ³)	Resistencia a flexión en las fibras extremas (MPa)	Resistencia a cortante paralela a las fibras (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)
Pinus sp (pino)	0,74	90	45	12,020

Verificación de la capacidad portante de las vigas que conforman el forjado caso de estudio

El forjado tiene vigas de madera con sección transversal de 9 cm x 30 cm espaciadas a 38 cm (Balmaseda, 2017). En el cálculo de las cargas actuantes se incluyen, como cargas permanentes, el peso de todas las partes componentes de un forjado de viga y tablazón, según la NC 283: 2003, y la carga que corresponde al uso destinado para este local, conforme a la NC-284: 2003 para auditorios con asistencias fijas en edificios para la docencia, educación e investigación científico-técnica supone una carga de uso de 3 kN/m². Las verificaciones se realizaron a flexión, cortante y deformación de acuerdo a lo establecido en la NC-53-179 (1988) por el método de los estados límites (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de la verificación de la capacidad portante de las vigas del forjado objeto de estudio

Flexión	Cortante	Deformación
$\sigma^* = \frac{M^*}{W_n} \leq R^*$	$\tau^* = 1,5 \frac{T^*}{b * h} \leq R_\tau^*$	$f_{actuante} < f_{admisible}$
1,20 kN/cm ² > 1,125 kN/cm ²	0,06 kN/cm ² > 0,046 kN/cm ²	1,76 cm < 2,45 cm
No cumple	No cumple	Cumple

Donde:

σ^* - tensión resistente de la madera en flexión;

M^* - momento flector de cálculo;

W_n - módulo de sección;

R^* - resistencia de cálculo a flexión factorizada por el coeficiente de seguridad de la resistencia;

τ^* - tensión resistente de la madera a cortante;

T^* - fuerza cortante de cálculo;

b - ancho de la viga;

h - altura de la viga;

R_τ^* - resistencia de cálculo a cortante paralela a las fibras factorizada por el coeficiente de seguridad de la resistencia;

$f_{actuante}$ - deformación de la viga de madera biapoyada;

$f_{admisible}$ - deformación admisible de una viga de madera biapoyada: (L/240).

Como se observa en la Tabla 2, la viga de sección 9 cm x 30 cm no cumple ante las solicitaciones de momento y cortante, por lo que será necesario realizar el reforzamiento del forjado.

Diseño de la sección compuesta madera-hormigón

Para el cálculo se tomaron los métodos experimentales que proponen Turrini & Piazza (1983) y Capretti & Ceccotti (1996), seguido de las consideraciones de las normativas antes mencionadas de los Eurocódigos. Los métodos ofrecen los valores de tensiones normales según la parte de la sección que el autor determine necesaria evaluar (Turrini & Piazza, 1983; Fragiaco & Ceccotti, 2006). Para el diseño de los conectores fue preciso el cálculo de la tensión a cortante existente en la interfaz de la sección compuesta, es decir, entre la solera de hormigón y la viga de madera; para ello se emplearon las consideraciones del Eurocódigo 5 y para la determinación de la cantidad de conectores se utilizaron las formulaciones y el coeficiente de desplazamiento de la madera (K_{ser}) que se establecen en el Eurocódigo 4, poniendo estos parámetros en

función de las tensiones normales obtenidas en cada método. A continuación, se muestran los resultados obtenidos con las variantes estudiadas.

Las tensiones normales obtenidas por el método de cálculo experimental de Turrini & Piazza (1983) se dan en cada una de las fibras, tanto superior como inferior, de los materiales que componen la sección:

Tensión en la fibra superior de la solera de hormigón: $\sigma_{C\ sup} = -0,45\text{ kN/cm}^2$

Tensión en la fibra inferior de la solera de hormigón: $\sigma_{C\ inf} = -0,37\text{ kN/cm}^2$

Tensión en la fibra superior de la viga de madera: $\sigma_{L\ sup} = 0,27\text{ kN/cm}^2$

Tensión en la fibra inferior de la viga de madera: $\sigma_{L\ inf} = 0,30\text{ kN/cm}^2$

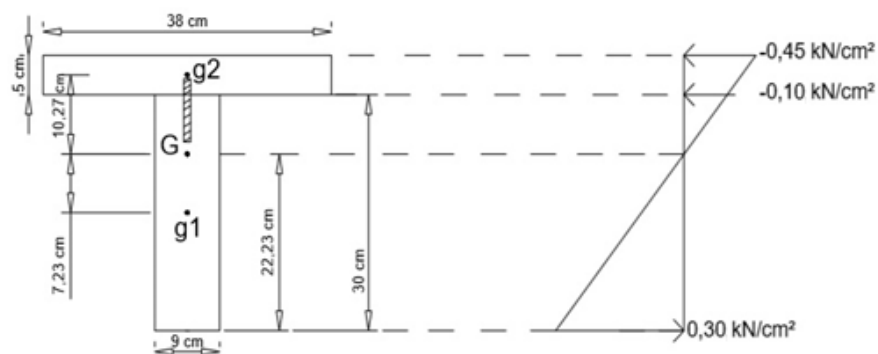


Figura 2. Diagrama de tensiones normales por el método de Turrini-Piazza (1983).

Para este método se observa que todo el hormigón se encuentra trabajando a compresión y en la viga de madera aparecen tensiones a tracción en la fibra inferior y una pequeña parte de la fibra superior se encuentra comprimida.

Para la obtención del esfuerzo cortante en la unión madera-hormigón se definieron dos tramos de cálculo (Eurocódigo 5); el primero corresponde a donde el esfuerzo cortante es máximo, en los apoyos (tramo 1) y el segundo a un 60 % del cortante actuante en los apoyos (tramo 2), valor establecido por la normativa (Figura 3). En función de estas tensiones se calcularon los espaciamientos de los conectores.

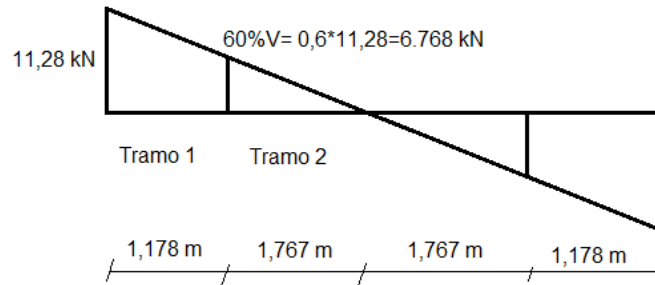


Figura 3. Gráfico de tensión cortante en función de los resultados del método de Turrini-Piazza (1983).

Los autores Cappretti-Ceccotti se centran en los valores en la fibra superior del hormigón y en la fibra inferior de la viga de madera, quedando las tensiones normales que se muestran en la Figura 4.

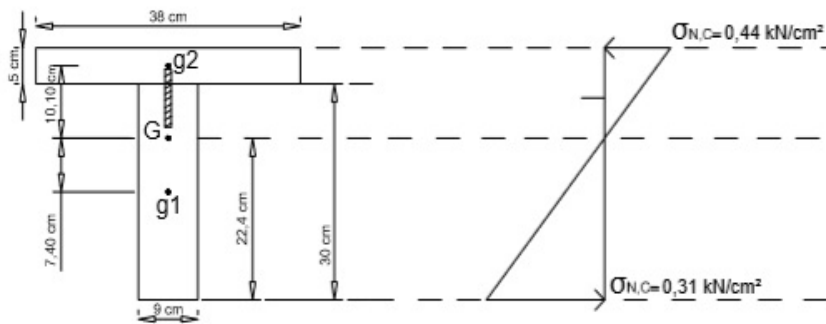


Figura 4. Diagrama de tensiones normales por el método de Cappretti-Ceccotti.

Ocurre en este caso lo mismo, una parte de la viga de madera se encuentra trabajando a compresión en la fibra superior. No se observa diferencia significativa entre los valores de tensiones normales, con respecto al método planteado por los autores Turrini & Piazza (1983). De igual manera se obtuvo el esfuerzo cortante en la unión madera-hormigón; los tramos para este método son definidos en la Figura 5.

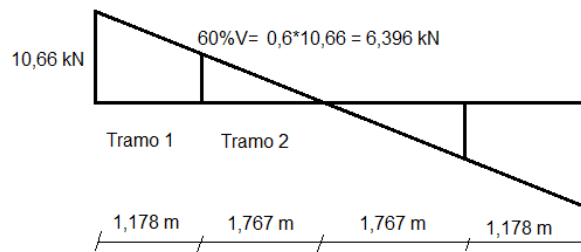


Figura 5. Gráfico de tensión cortante en función de los resultados del método de Capretti-Ceccotti.

Se realizó, además, el cálculo para el mismo caso de estudio realizando la homegenización de la sección compuesta (Pardo, 1994) en relación al factor de proporción del módulo de Young (n), empleando hormigón ligero y hormigón convencional para comparar los resultados en cuanto a tensiones obtenidas en las fibras analizadas. En la Tabla 3 se muestran los datos empleados de ambos hormigones en el cálculo, para una combinación de carga permanente y carga de uso: 1,2CP+1,6CU, según la NC 450: 2006 de combinaciones de carga.

Tabla 3. Datos de los hormigones empleados en el cálculo

	Hormigón ligero	Hormigón convencional
Carga mayorada	$q^* = 3,62 \text{ kN/m}$	$q^* = 3,83 \text{ kN/m}$
Momento actuante de viga biapoyada	$M = 15,7 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M = 16,6 \text{ kN}\cdot\text{m}$
Cortante en el apoyo	$V = 10,66 \text{ kN}$	$V = 11,28 \text{ kN}$
Densidad	15 kN/m^3	24 kN/m^3
Módulo de elasticidad	$E_c \text{ ligero} = 12490,4 \text{ MPa}$	$E_c \text{ convencional} = 23500 \text{ MPa}$

Empleando el factor de proporción del módulo de Young, queda para el hormigón ligero:

$n = \frac{E_m \text{ hormigón ligero}}{E_m \text{ madera}} = \frac{1249}{1202} = 1,04$ se ensancha la sección parcial de hormigón multiplicando el ancho inicial de la solera de hormigón, tomado igual al espaciamiento entre vigas del forjado; $38 \cdot 1,04 = 39,52 \approx 40 \text{ cm}$. Aplicando el teorema de Steiner, se obtienen las tensiones normales que se observan en la Figura 6.

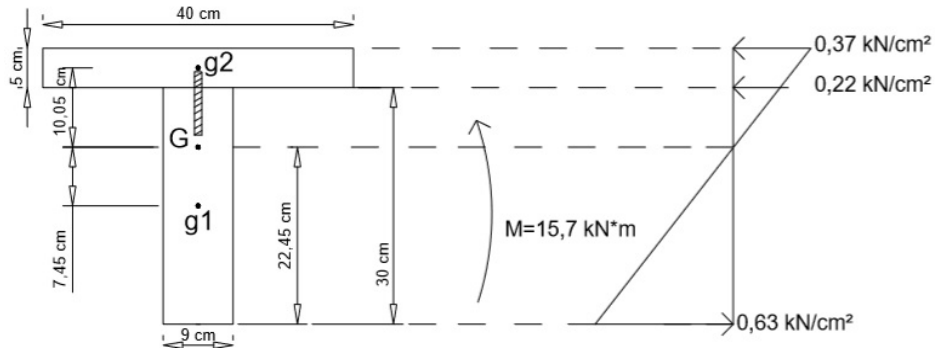


Figura 6. Diagrama de tensiones normales en la sección compuesta empleando hormigón ligero.

De igual manera, se determina la tensión cortante en la unión, se obtiene en este caso 11 conectores en el tramo 1 y 7 conectores en el tramo 2.

Ahora, empleando hormigón convencional, el factor de proporción del módulo de Young queda: $n = \frac{E_{m \text{ hormigón convencional}}}{E_{m \text{ madera}}} = \frac{2350}{1202} = 1,955$; se ensancha la sección parcial de hormigón multiplicando el ancho inicial de 38 $1,955 = 74,29 \approx 75$ cm. Los valores de las tensiones normales se observan en la Figura 7.

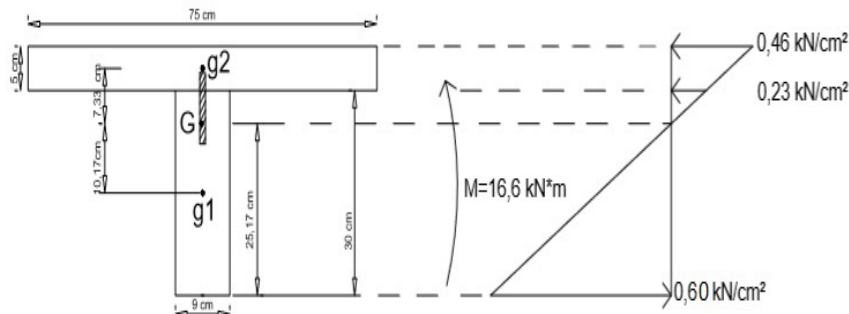


Figura 7. Diagrama de tensiones normales en la sección compuesta empleando hormigón convencional.

Luego, determinada la tensión a cortante en la unión, usando hormigón convencional, se obtiene que la tensión cortante en la unión entre la madera y el hormigón no cumple con la tensión admisible de cálculo a cortante paralela a las fibras, por lo que se debe rediseñar la sección.

Comprobación de la distribución de los conectores

La distribución de los conectores se realizó según la NC-53-179 (1988). En ella aparecen un conjunto de criterios para determinar la separación entre los conectores en cada uno de los ejes. De los métodos de estudio desarrollados anteriormente se

halla que en el caso más desfavorable existen once conectores en un metro del primer tramo y siete conectores en un metro del segundo tramo (Figura 8).

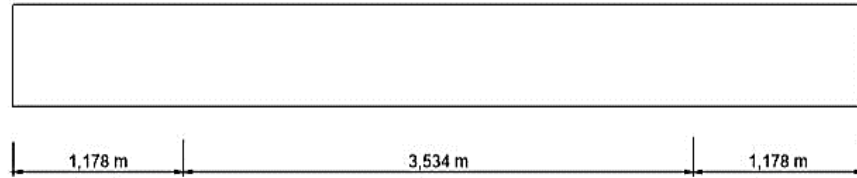


Figura 8. Viga en elevación con tramo 1 de 1,178 m y tramo 2 de 3,534 m.

Si un metro del primer tramo tiene 11 conectores, en los 0,178 m restantes del mismo corresponden dos conectores, quedando así un total de 13 conectores en el tramo 1. El segundo tramo tiene siete conectores por metro, por lo que, si el mismo cuenta con una longitud de 3,534 m, le corresponden 24 conectores. Para el cálculo de los métodos estudiados se asumió una separación teórica entre los conectores de 15 cm; para hallar la separación real se divide la distancia del tramo analizado entre la cantidad de conectores que han de estar en este. Para el primer tramo la separación real entre los conectores es de 9 cm, mientras que en el segundo tramo, que corresponde al centro del vano, será de 15 cm, como se observa en la Figura 9.



Figura 9. Separación de los conectores para el tramo 1 y tramo 2.

La NC-53-179 (1988) plantea formulaciones para hallar la separación mínima entre conectores (Figura 10). El primer mecanismo de trabajo entre el conector y la madera es el rozamiento, posteriormente el conector entra en flexión y se deforma; por último, se deforma la madera y aparecen en ella esfuerzos laterales de tracción, de ahí que las comprobaciones son las siguientes:

$$S_1 \geq 4d = 4 \cdot 9,5 = 38 \text{ mm} = 3,8 \text{ cm}$$

$$e_1 \geq 7d \text{ para elementos en tracción} = 7 \cdot 9,5 = 66,5 \text{ mm} = 6,65 \text{ cm}$$

$$e_2 \geq 1,5d = 1,5 \cdot 9,5 = 14,25 \text{ mm} = 1,425 \text{ cm.}$$

En todos los casos las separaciones entre conectores calculadas cumplen con los criterios normados.

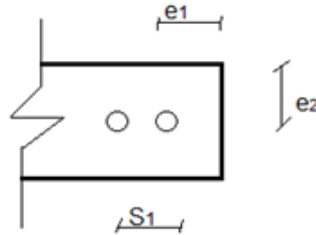


Figura 10. Separación mínima entre conectores según la NC-53-179 (1988).

En el diseño se emplearon conectores de barra de acero corrugado de 3/8 de pulgada. Se plantea la colocación de manta impermeable sobre la cara superior de las vigas de madera y extenderla hacia toda la superficie, la cual, a modo de barrera, evitará que el hormigón se infiltre en la fibra de madera, contaminándola, añadiéndole humedad y afectando parcialmente el fraguado del hormigón. Se propone, además, la colocación en la solera de hormigón de una malla de acero electrosoldada para evitar fisuras por retracción (Figura 11).

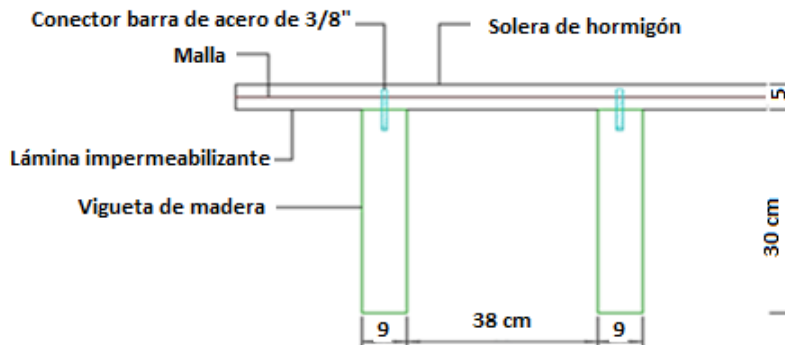


Figura 11. Sección transversal del forjado reforzado mediante sección compuesta madera-hormigón.

Discusión de los resultados

Las hipótesis consideradas para el cálculo de una sección compuesta establecen que ambos materiales son lineales y continuos (Pardo, 1994). Por esta razón, se pueden aplicar las tensiones límites para comparar con las tensiones obtenidas por los métodos de cálculo desarrollados. En el hormigón la tensión límite es $0,45f'c$ y en la

madera es el cociente entre su resistencia a flexión y el coeficiente de seguridad de la resistencia, tomado de la NC-53-179 (1988), igual a 8, referido a valores de resistencia obtenidos de ensayos realizados a madera del mismo tipo (blanda, media o dura).

Los estados tensionales que se generan en la sección compuesta madera-hormigón, obtenidos mediante los métodos de cálculo experimentales empleados, no superan en ningún caso las tensiones límites del hormigón y de la madera (Figura 12).

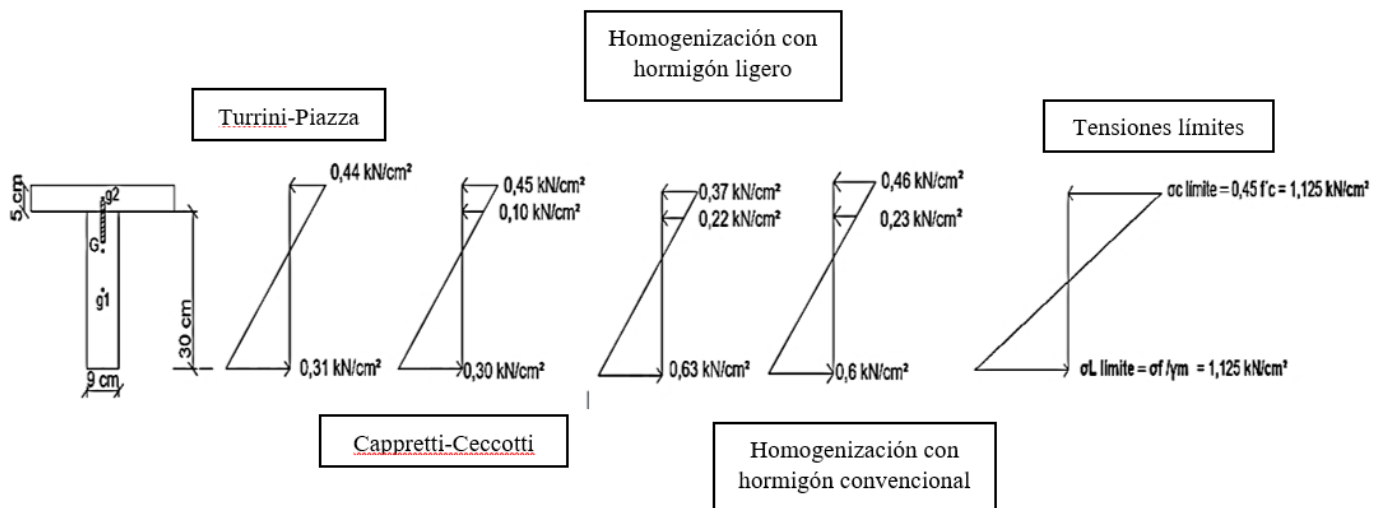


Figura 12. Diagramas de tensiones normales y tensiones límites.

En la Tabla 5 se muestran los porcentajes que representan las tensiones normales de cálculo respecto a las tensiones límites de la madera y el hormigón, respectivamente, siendo el valor más significativo el 56 % en que difiere la tensión normal en la fibra inferior de la viga de madera en relación a la tensión límite para el caso en que se empleó para el diseño el hormigón ligero.

Tabla 4. Por cientos que representan las tensiones normales de las tensiones límites

Método de cálculo	Hormigón	Madera
Turrini & Piazza (1983)	40 %	28,4 %
Capretti & Ceccotti (1996)	39,1 %	27,5 %
Homogenización con hormigón ligero	32,8 %	56 %
Homogenización con hormigón convencional	40,8 %	53,3 %

En cuanto al diseño, atendiendo al punto más vulnerable, que son los conectores, se obtuvieron de forma general dos resultados, que se reflejan en la tabla 6.

Tabla 5. Cantidad de conectores por tramo según el método de cálculo

Turrini & Piazza (1983)		Capretti & Ceccotti (1996)	
Tramo 1	Tramo 2	Tramo 1	Tramo 2
11	7	10	6

Como se muestra en la Tabla 6, no existe diferencia en cuanto al número de conectores obtenidos empleando el método de Turrini & Piazza (1983) o el de los autores Capretti-Ceccotti, por lo que ambos son factibles a emplear en el diseño de estructuras compuestas de madera-hormigón.

Consideraciones para la ejecución y puesta en obra

La puesta en obra del refuerzo por la cara superior de las vigas es fundamental para evaluar los estados tensionales que se van a producir. A continuación, se enumeran las acciones a seguir para una correcta ejecución:

1. Demolición del sistema de piso existente y mortero de agarre, dejando al mínimo posible el forjado original (solamente las vigas de madera, como en el caso de estudio) o el tablero, en algunos casos que se utiliza de encofrado perdido.
2. Apuntalamiento de las vigas de madera de la forma más continua posible, ya que a efectos del cálculo se suponen todas las cargas actuando sobre la sección compuesta completa.
3. Intervenir las vigas de madera que presentan lesiones según el informe de diagnóstico.
4. Limpiar la superficie de la madera con cepillo de púas de acero.
5. Colocación de dos capas de papel asfáltico o manta impermeable sobre la cara superior de las vigas de madera y extenderla hacia toda la superficie, la cual, a modo de barrera, evitará que el hormigón se infiltre en la fibra de madera, contaminándola, añadiéndole humedad y afectando parcialmente el fraguado del hormigón.
6. Colocación de los elementos de conexión (barras de acero corrugado), ancladas a la madera con resina epoxi previo a su taladrado y a la sección parcial de hormigón por adherencia.
7. Colocación de una malla electrosoldada con los separadores necesarios, que no entra a formar parte del cálculo de la sección compuesta, pero se dispone para cubrir los efectos de la retracción del hormigón y para dar monolitismo al conjunto.
8. Prever una adecuada conexión con los muros de carga.

9. Vertido y vibrado del hormigón. El hormigonado debe realizarse sin juntas a ser posible; en caso de no ser así, es conveniente que las juntas sean paralelas a las propias vigas y se localicen sobre el entrevigado, nunca sobre las vigas. Si debieran hacerse juntas perpendiculares, lo cual no es recomendado, estas deben de alejarse de los extremos de apoyo del forjado. Usualmente se toma como posición de la junta una distancia igual a un tercio de la luz del mismo.
10. Esperar el fraguado total del hormigón cuidando su curado.

Conclusiones

El refuerzo de forjados horizontales mediante el uso de sección compuesta ofrece una mejora en el trabajo del conjunto estructural, aportando rigidez y manteniendo la estética de los elementos a intervenir al no añadir visiblemente otros elementos, como pudieran ser perfiles metálicos.

En el caso del diseño, empleando la homogenización por el factor de proporción del módulo de Young, los valores de tensiones en cuanto a porcentaje difieren dependiendo de la variante de hormigón; en relación al hormigón convencional la tensión debida a esfuerzo cortante no cumple con la tensión límite.

Empleando como solución hormigón ligero, la tensión que se genera debido a esfuerzo axial difiere en un 32,8 % de la tensión límite del hormigón, con respecto a la que se emplea hormigón convencional que difiere en un 40,8 %.

Con respecto a la tensión que se genera en la fibra de la madera, la tensión con hormigón ligero difiere en un 56 % de la tensión límite de la madera, siendo menor para la sección diseñada con hormigón convencional que difiere en un 53,3 %.

Comparando ambos valores, de tensiones en el hormigón ligero con el convencional, la diferencia es menor del 20 %, por lo que el empleo del hormigón ligero supone una mejora en la disminución del peso propio de la sección.

Reconocimientos

Los autores agradecen la colaboración del Departamento de diagnóstico de la Empresa de proyectos RESTAURA de la Oficina del Historiador de La Habana y la asistencia de los profesores Braulio Lima y Rafael Larrúa de la Universidad de Camagüey.

Referencias bibliográficas

- BALMASEDA, R. 2017. Informe de diagnóstico de Monte 51 del Departamento de diagnóstico y levantamiento de la Empresa de Proyectos de Arquitectura y Urbanismo RESTAURA de la Oficina del Historiador de La Habana.
- CAPRETTI, S. & CECCOTTI, A. 1996. Service behaviour of timber-concrete composite beams: a 5-year monitoring and testing experience. International Wood Engineering Conference. New Orleans, USA. 3, 443-449.
- FRAGIACOMO, M. & CECCOTTI, A. 2006. Simplified approach for the long-term behaviour of timber-concrete composite beams according to the Eurocode 5 provisions. International council for research and innovation in building and construction. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10092/18>.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). 2004. *EUROCODE 4 Design of composite steel and concrete structures*. Part 1-1: General rules and rules for buildings. British Standard Institution, London.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). 2004. *EUROCODE 5 Design of timber structures*. Part 1-1: General–Common rules and rules for buildings. Bruxelles, Belgium.
- MARTÍNEZ-JUAN, B. 2016. *Elemento estructural mixto de hormigón y madera. Análisis estructural y criterios de diseño*. Tesis doctoral. Universidad de Alicante.
- NC-53-179. 1988. Estructuras de Maderas. Métodos de cálculo. Oficina Nacional de Normalización, La Habana.
- NC-283. 2003. Densidad de materiales naturales, artificiales y de elementos de construcción como carga de diseño. Oficina Nacional de Normalización, La Habana.
- NC-284. 2003. Edificaciones. Cargas de uso. Oficina Nacional de Normalización, La Habana.
- NC-450. 2006. Edificaciones—Factores de Carga o Ponderación—Combinaciones. Oficina Nacional de Normalización, La Habana.

PARDO, J. M. J. L. 1994. Refuerzo de forjados de madera con solera de hormigón: influencia de la conexión.

TURRINI, G. & PIAZZA, M. 1983. Il comportamento statico della struttura mista legno calcestruzzo. Revista técnica *Recuperare* 6: 214-225. PEG Editrice, Milano.