

Vigas híbridas madera-acero para edificaciones urbanas en altura

Timber-Steel Hybrid Beams for Multi-Storey Buildings
Felipe Riola Parada

Resumen

LA SITUACIÓN: Economía, medioambiente y sociedad

El sector de la construcción contribuye al 10% del PIB y al 7,2% del empleo en la UE. Desde un punto de vista medioambiental es sin embargo el mayor consumidor de materias primas y las actividades de construcción y demolición son responsables del 33% del total de residuos generados. Las edificaciones consumen cerca del 42% de la energía usada globalmente y son responsables de la emisión del 35% de los gases de efecto invernadero.

Estos datos reflejan una situación muy desequilibrada entre el bienestar que el sector de la construcción genera y los problemas medioambientales que causa.

Hasta hace poco la energía consumida durante el uso de edificios centraba el foco de atención, pero desde las mejoras de envolventes y aislamientos desarrolladas en las última décadas, son los materiales y energía necesarias para la construcción en sí misma los que necesitan optimizarse.

Desde un punto de vista social, un 50% de la población mundial vive actualmente en ciudades y un tercio de la misma en *slums*. La población global y su concentración crecen. Prognosis apuntan a que en 50 años un 75% de la población mundial vivirá en ciudades y la mitad de la misma en *slums*.

LA ESTRATEGIA: Responsabilidad social, eficiencia y reducción del impacto medioambiental

Un reto es la búsqueda de alternativas a esta situación: ofrecer soluciones constructivas de calidad para una población creciente y principalmente urbana, pero causar mucho menor daño medioambiental que hasta ahora.

Es necesario desarrollar soluciones técnicas y constructivas que formen parte de una estrategia global. Esta estrategia tiene que ser socialmente responsable al concentrarse especialmente en edificaciones urbanas en altura para optimizar el uso de recursos y reducir un uso extensivo del terreno. En países desarrollados procesos de deconstrucción y reconstrucción en una parcela ya edificada tienen que ser mejorados y optimizados. En países en vías de desarrollo nuevas edificaciones son necesarias para ofrecer alternativas de calidad a *slums*. El uso responsable, reutilización y reciclaje de recursos son prioridades en ambos casos. Esto es especialmente relevante en los sistemas estructurales, porque es aquí donde se emplean la mayor cantidad de recursos.

LA INVESTIGACIÓN: Sistemas estructurales híbridos madera-acero para edificaciones urbanas en altura

Precisión, facilidad de recuperación de los materiales empleados durante la producción, soluciones constructivas fáciles de montar y desmontar – posibilitando la reutilización y el reciclaje – son objetivos, así como el diseño para la deconstrucción.

El potencial de la madera como recurso renovable, reciclable y con una baja intensidad energética para su producción, en combinación con acero en forma de esbeltos perfiles conformados en frío, es identificado y estudiado. Esta combinación es usada en el desarrollo de soluciones estructurales de altas prestaciones pero materializadas de manera sencilla. Una respuesta a los retos identificados. Su uso en países desarrollados y en vías de desarrollo es posible debido a su simplicidad constructiva: estas nuevas soluciones estructurales pueden ser adoptadas por pequeñas compañías de construcción que carecen de la economía de escala para hacer uso de alternativas pretendidamente eficientes y ecológicas pero complejas tecnológicamente.

En este trabajo una nueva generación de vigas híbridas madera-acero es propuesta y desarrollada. Se trató del primer paso en el desarrollo de sistemas estructurales híbridos en la Universidad Técnica de Viena. Vigas y forjados nervados híbridos así como sistemas de unión semirrígidos han sido desarrollados y ensayados ante cargas de corta y larga duración. Ensayos de resistencia al fuego han sido llevados a cabo.

Los sistemas estructurales híbridos madera-acero son presentados así como un nuevo concepto constructivo que potencia las sinergias entre ambos materiales para la optimización del empleo de recursos.

Vigas híbridas madera-acero para edificaciones urbanas en altura

Timber-Steel Hybrid Beams for Multi-Storey Buildings
Felipe Riola Parada

Índice de Contenidos

1. INTRODUCCIÓN: MARCO GLOBAL DE INVESTIGACIÓN

1.1 Tema de investigación: construir usando recursos eficientemente

- 1.1.1 Incremento de la capacidad de utilización de los edificios
- 1.1.2 Reducción de la cantidad de recursos empleados en edificios y durante los procesos constructivos
- 1.1.3 Conclusiones

2. EL POTENCIAL DE LA COMBINACIÓN DE MADERA Y ACERO

2.1 Mejora del comportamiento de la madera con acero

- 2.1.1 Propiedades físicas
- 2.1.2 Propiedades mecánicas

2.2 Mejora del comportamiento del acero con madera

- 2.2.1 Propiedades físicas
- 2.2.2 Propiedades mecánicas
- 2.2.3 Consideraciones medioambientales y económicas

2.3 Compatibilidad de madera y acero: potencial y riesgos

- 2.3.1 Propiedades físicas
- 2.3.2 Consideraciones de carácter tecnológico

2.4 El potencial de la combinación de madera y acero en vigas desde el punto de vista del comportamiento estructural

3. ESTADO DEL ARTE: COMBINACIONES DE MADERA Y ACERO EN VIGAS

3.1 Propuesta de una clasificación sistemática

3.2 Combinaciones con acero pasivo

- 3.2.1 Con acero pasivo dispuesto horizontalmente
- 3.2.2 Con acero pasivo dispuesto verticalmente
- 3.2.3 Con combinaciones de acero pasivo dispuesto vertical y horizontalmente

3.3 Combinaciones con acero activo

- 3.3.1 Con acero activo en dirección de la fibra: pretensado y postesado
- 3.3.2 Con acero activo en dirección perpendicular a la fibra

3.4 Evaluación de investigaciones existentes y ejemplos construidos

3.5 Críticas y lecciones aprendidas

3.6 Conclusiones: ¿Dónde reside el potencial?

3.7 Adición: Aproximación a soluciones madera-acero en los proyectos de investigación "8+" y "Das erdbebensichere Holzhaus"

4. VIGAS HÍBRIDAS MADERA-ACERO

4.1 Introducción: la estrategia híbrida

4.1.1 Terminología

4.2 El potencial de la estrategia híbrida: condiciones de diseño y objetivos

4.2.1 Combinación de materiales para un uso eficiente de recursos

4.2.2 Reducción de costes

4.2.3 Reusabilidad y reciclabilidad

4.2.4 Comportamiento estructural

4.2.5 Reducción de la variabilidad

4.2.6 Sistemas de carga compartida

4.2.7 Protección contra el fuego

4.2.8 Canto estructural permisible

4.3 Descripción de las secciones transversales propuestas

4.3.1 Tecnología de acero conformado en frío

4.3.2 Producción de secciones de acero conformado en frío

4.3.3 Disposición doblemente simétrica en la sección transversal

4.3.4 Disposición simétrica en la sección transversal

4.4 Criterios de diseño de la sección transversal

4.4.1 Concepto estructural básico

4.4.2 Canto estructural permisible

4.4.3 Estrategia de diseño contra el fuego

4.4.4 Optimización de la eficiencia mecánica. Análisis elástico

4.4.5 Determinación de la rigidez a flexión total necesaria

4.4.6 Proporción de rigidez a flexión necesaria entre madera y acero

4.4.7 Comprobación de la capacidad estructural a cortante

4.4.8 Influencia de cargas de larga duración en la optimización de la sección transversal

4.5 Resumen: diseño de la sección transversal en siete pasos

4.6 Cálculo de vigas biapoyadas

4.6.1 Métodos simplificados para vigas biapoyadas

4.6.2 Modelo matricial de cálculo

4.6.3 Comprobación de los estados-límite últimos

4.6.4 Comprobación de los estados-límite de servicio

4.7 Evaluación de sistemas isostáticos

4.7.1 Conclusiones: evaluación estructural, económica y ecológica

4.8 Evaluación de sistemas hiperestáticos

4.8.1 Comportamiento de vigas biapoyadas. Influencia de la deformación cortante

4.8.2 Comportamiento de sistemas hiperestáticos. Influencia de la deformación cortante

4.8.3 Evaluación de sistemas hiperestáticos

4.8.4 Conclusiones

5. ENSAYOS DE CARGA DE CORTA DURACIÓN

5.1 Estimación de cargas y predimensionado

5.2 Cálculo de vigas biapoyadas

- 5.2.1 Cálculo de deformaciones, momento de inercia del acero y módulo elástico de la madera
- 5.2.2 Ancho efectivo de alas

5.3 Primera campaña experimental

- 5.3.1 Especímenes
- 5.3.2 Producción, transporte y montaje
- 5.3.3 Dispositivos y procedimientos de ensayo. Técnicas de medición
- 5.3.4 Series de ensayos A – Evaluación del módulo global de elasticidad de vigas de madera laminada
- 5.3.5 Series de ensayos B – Secciones transversales y resultados
- 5.3.6 Series de ensayos C – Secciones transversales y resultados
- 5.3.7 Series de ensayos D – Secciones transversales y resultados
- 5.3.8 Series de ensayos E – Secciones transversales y resultados
- 5.3.9 Interpretación de resultados y conclusiones

5.4 Segunda campaña experimental

- 5.4.1 Especímenes
- 5.4.2 Diseño y dimensionado
- 5.4.3 Producción, transporte y montaje
- 5.4.4 Dispositivos y procedimientos de ensayo. Técnicas de medición
- 5.4.5 Implementación de cargas y condiciones de apoyo
- 5.4.6 Series de ensayos G – Secciones transversales y resultados
- 5.4.7 Series de ensayos H – Secciones transversales y resultados
- 5.4.8 Series de ensayos I – Secciones transversales y resultados
- 5.4.9 Series de ensayos J – Secciones transversales y resultados
- 5.4.10 Interpretación de resultados y conclusiones

5.5 Conclusiones globales – Ensayos de carga de corta duración

6. ENSAYOS DE CARGA DE LARGA DURACIÓN - FLUENCIA

6.1 Introducción

6.2 Evaluación acorde al Eurocódigo 5

6.3 Objetivos de los ensayos

6.4 Criterios de diseño de los especímenes

6.5 Cálculo del nivel de tensiones deseado

6.6 Procedimientos de ensayo

6.7 Resultados

6.8 Interpretación y conclusiones – Ensayos de fluencia

7. LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

7.1 Diseño de uniones, modelización y ensayos

7.2 Diseño de forjados híbridos, modelización y ensayos

7.3 Diseño de pórticos, modelización y optimización

7.4 Protección contra el fuego, modelización y ensayos

7.5 Análisis económico detallado y análisis de ciclo de vida

8. CONCLUSIONES

8.1 Sistemas híbridos madera-acero como una alternativa para la construcción de edificios urbanos en altura

Vigas híbridas madera-acero para edificaciones urbanas en altura

Timber-Steel Hybrid Beams for Multi-Storey Buildings
Felipe Riola Parada

Adecuación a la línea editorial de Arquia-Tesis

El texto presentado a concurso es una tesis de carácter extremadamente técnico y experimental. Se requeriría de una reelaboración del texto original, contenidos y organización para hacerla accesible a un público no especializado.

Este hecho no supone un problema, sino una oportunidad con mucho potencial: la ocasión de acercar a un público amplio un tema de investigación muy técnico pero con una conexión directa con preocupaciones de carácter social y medioambiental.

El “*Resumen*” presentado en este documento es un ejemplo de cómo esto sería posible. Intencionadamente no se han “resumido” los puntos de los que consta la tesis, sino “hecho visible” para no especialistas el porqué de la toma de decisiones que han conducido la investigación.

Los temas marco de la investigación se consideran de interés tanto para públicos especializados como generalistas y serían ampliados. Ofrecer respuestas al cómo construir usando recursos eficientemente, no generar residuos y posibilitar la reutilización y reciclaje, son temas necesarios, urgentes y de actualidad.

El capítulo “*Estado del Arte*”, sería resumido y reelaborado, pero se mantendría para mostrar cómo un análisis sistemático y crítico de soluciones ya propuestas actúa como catalizador de la creación técnica y abre puertas a nuevos desarrollos.

La parte experimental de la tesis sería resumida. El objetivo sería reflejar someramente los procedimientos de ensayo seguidos y sus resultados: mostrar la necesidad de un trabajo detallado y riguroso para garantizar la viabilidad de una innovación de carácter técnico. Lectores con un interés más profundo siempre podrían acceder al texto original.

Los puntos reflejados en el capítulo “*Líneas futuras de investigación*” han sido ya parcialmente desarrollados por equipos de investigación de los que el autor forma parte. Utilización de parte de este material sería posible para ofrecer una visión global del potencial de sistemas estructurales híbridos madera-acero.

Nota biográfica_Felipe Riola Parada



Nace en Ferrol en 1978.

Arquitecto por la *Universidade da Coruña*, amplía su formación con títulos de postgrado referentes al diseño estructural, profundizando especialmente en el campo de las estructuras de madera.

Colabora con CREUSECARRASCOarquitectosSLP para luego pasar a ejercer la profesión liberal como arquitecto y consultor de diseño y cálculo estructural.

En el año 2010 obtiene una beca para estudios de doctorado en el extranjero, trasladándose a Austria y doctorándose en la *Universidad Técnica de Viena*.

Desde 2014 es Profesor Asistente en el *Departamento de Diseño Estructural e Ingeniería de la Madera* de la *Universidad Técnica de Viena*.