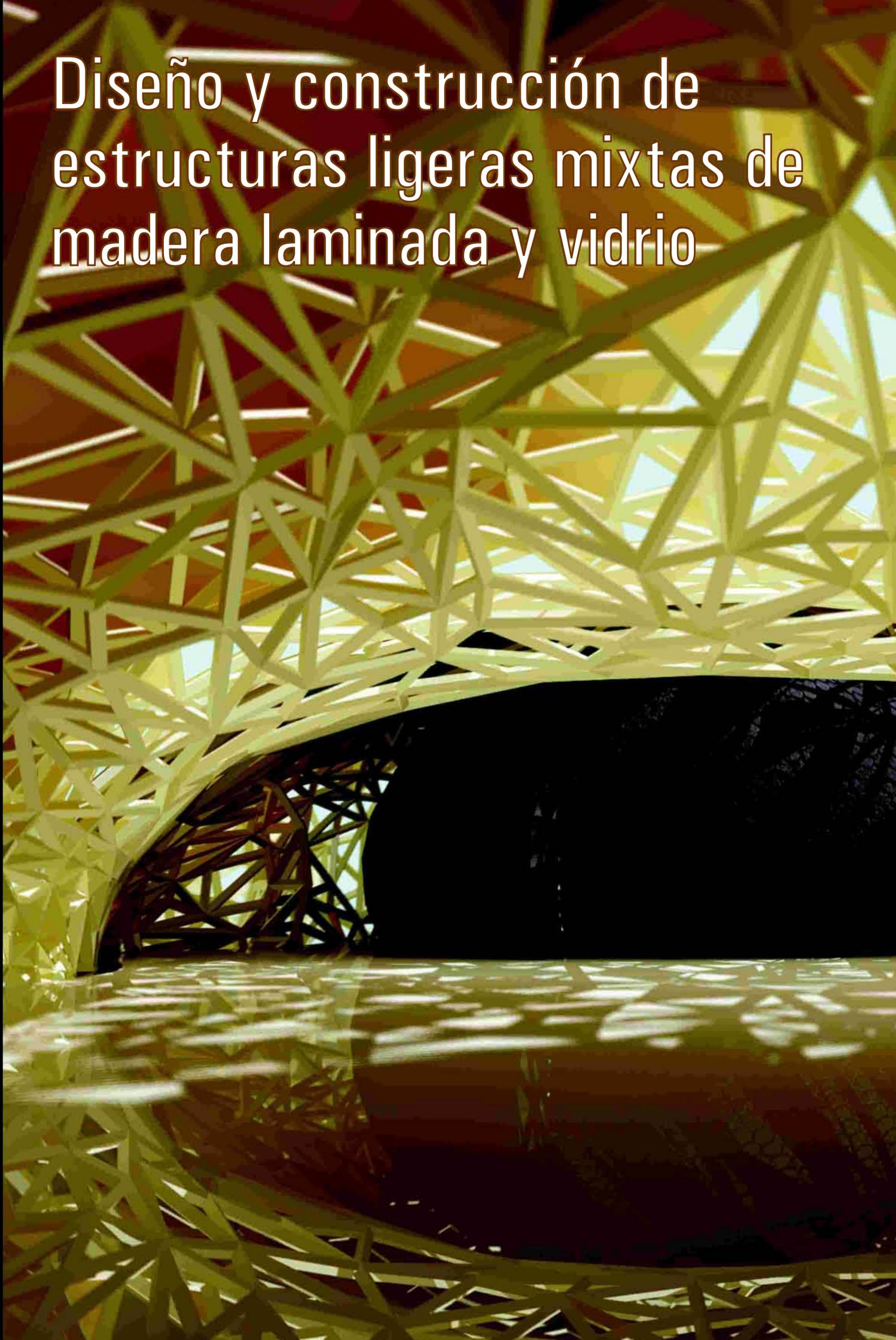


# Diseño y construcción de estructuras ligeras mixtas de madera laminada y vidrio



# Guía técnica sobre diseño y construcción de estructuras ligeras mixtas de madera laminada y vidrio

Proyecto de Investigación y Desarrollo

**“Desarrollo de sistemas constructivos mixtos de madera laminada y vidrio para estructuras ligeras de cubierta”.**

**Nº de expediente: IMDEEA/2011/20**

Entidades financiadoras

**Proyecto financiada por el Instituto de la Mediana y Pequeña Industria Valenciana (IMPIVA) y cofinanciada por fondos FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional) de la Unión Europea.**



\*Proyecto cofinanciado por los Fondos FEDER, dentro del Programa Operativo FEDER de la Comunitat Valenciana 2007-2013\*

Autores

**Miguel Ángel Abián Pérez**  
**Manuel García Barbero**  
**Kiyanshid Hedjri**

Realización técnica

**Ricardo Sáiz Mauleón**

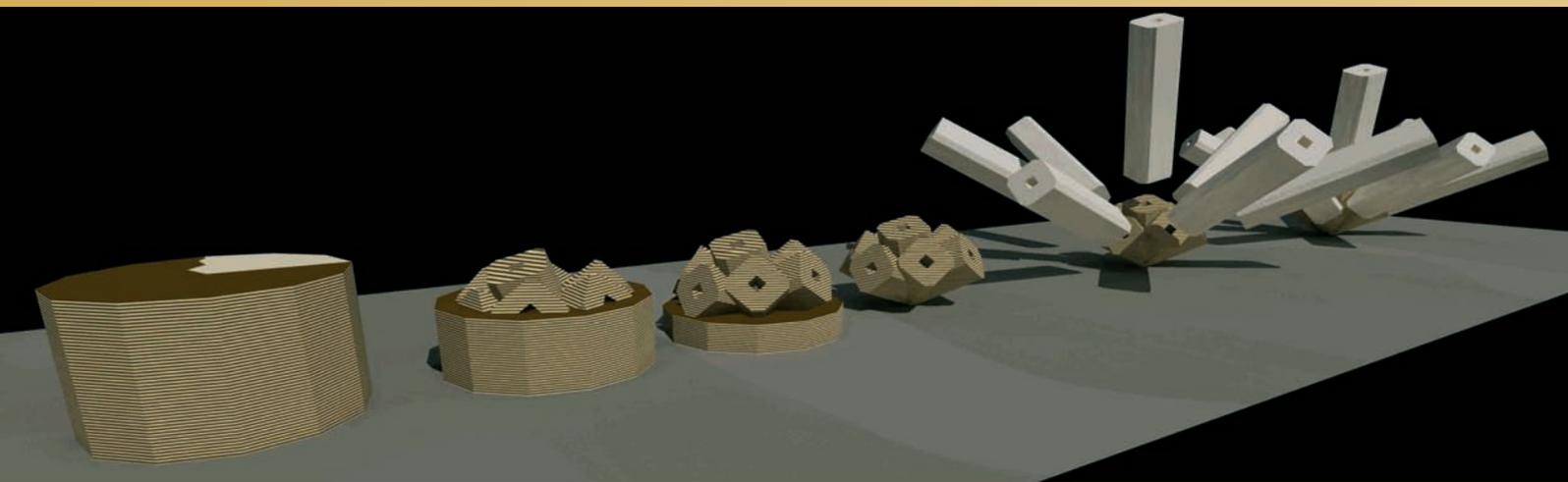
Editado por

**AIDIMA**

Instituto Tecnológico del Mueble, Madera, Embalaje y Afines  
Calle Benjamín Franklin, 13. Parque Tecnológico.  
46980 Paterna. (Valencia)

 **AIDIMA**  
INSTITUTO TECNOLÓGICO  
MUEBLE, MADERA, EMBALAJE Y AFINES

ISBN -10 84-95077-53-1  
ISBN -13 978-84-95077-53-0



Por sus buenas prestaciones mecánicas y su baja densidad, la madera se ha utilizado desde hace miles de años para construir estructuras. Sin embargo, desde la industrialización, la madera aserrada ha ido perdiendo terreno como material constructivo conforme ha aumentado el uso de materiales tecnológicos como el acero y el aluminio. Debido al gran desarrollo científico-técnico actual de la madera como material de ingeniería y arquitectura, se está empezando a producir un cambio conceptual de su uso y muchos ingenieros y arquitectos están descubriendo que ésta supera en prestaciones técnicas a muchos materiales comúnmente utilizados ahora (hormigón, acero, plásticos). Este desarrollo técnico requiere aún mucha investigación para aprovechar al máximo las prestaciones de este material, sobre todo cuando está en conjunción con otros materiales.

Además de las excelentes prestaciones físico-mecánicas de la madera, también presenta múltiples ventajas medioambientales (materia prima renovable derivada de una gestión forestal sostenible, reciclabilidad y gestión integral de recursos, fijación de CO<sub>2</sub>, baja contaminación en sus procesos de transformación, etc.) y estéticas (gran diversidad de especies, sensación de calidez).

En un entorno de crisis económica, para muchas empresas del sector valenciano de la madera en todos sus subsectores resulta imprescindible renovar las estrategias empresariales e industriales. Hay que reinventarse haciendo uso de la innovación, que como Jano tiene dos caras: una mira hacia el pasado (puertas, ventanas, revestimientos) y otra hacia el futuro (madera modificada, arquitectura orgánica). Hasta ahora, las empresas valencianas de la madera no han potenciado suficientemente el sector del uso estructural de este material, pese a contar con una tradición histórica de excelencia en ello.

Con proyectos de I+D como el que ha dado lugar a esta guía técnica y con las actividades de difusión que AIDIMA desarrolla continuamente en el ámbito de la construcción de madera, se busca atraer

a las empresas valencianas a ese sector, con el fin de mejorar sus oportunidades de reciclaje en nuevos campos industriales y de internacionalización. El objetivo fundamental de AIDIMA desde su creación es la transferencia a las empresas valencianas de conocimientos y tecnologías derivados de proyectos de I+D, para que éstas mejoren su competitividad, desarrollen productos y procesos innovadores y de alto valor añadido, accedan a nuevos nichos de mercado e internacionalicen sus actividades.

Esta guía técnica constituye una iniciativa destinada a difundir las novedosas y enormes posibilidades que la madera ofrece para estructuras orgánicas y paramétricas, que no serían técnica o económicamente viables con otros materiales. La guía representa, por tanto, una documentación única que puede servir de orientación de futuro para arquitectos, ingenieros, empresas constructoras, empresas montadoras y para muchos técnicos especialistas que realizan su ejercicio profesional en torno al hábitat.

La guía se presenta con una estructura clara y sencilla que permite al lector obtener una visión resumida y rápida de la metodología para desarrollar prototipos virtuales de estructuras, con el sistema universal estructural paramétrico desarrollado en el proyecto. En aras de conseguir un texto útil para los muchos subsectores a los que va destinada la guía, se ha optado por la brevedad y por un vocabulario no excesivamente técnico.

En la guía se plasma un ejemplo de vanguardia en I+D en construcción con madera y se presentan algunos enfoques que dominarán en el futuro la arquitectura. Esta disciplina se encuentra ahora explorando formas innovadoras y revolucionarias de afrontar problemas técnico-arquitectónicos que difícilmente pueden resolverse con sistemas constructivos convencionales, en un entorno de incremento exponencial en las exigencias de prestaciones a los edificios. Este documento constituye, por tanto, una fuente de información para las empresas y profesionales interesados en los mencionados enfoques.

A lo largo de la historia, la Comunidad Valenciana ha sabido extraer lo máximo de la madera en la construcción, como demuestra la existencia desde el siglo XIII de uno de los gremios de carpinteros más antiguos de Europa. Con enfoques como los que propone la guía, la industria valenciana de la madera en construcción puede revivir mediante la I+D+i y la calidad. A partir de sistemas muy tecnificados y prefabricados, como los expuestos en la guía, puede conseguir tanto una potente proyección en todos los mercados del área mediterránea como un aumento y optimización del uso en construcción de este material sostenible y técnicamente avanzado.

Miguel Ángel Abián, responsable del Dpto. de Tecnología y Biotecnología de la Madera de AIDIMA, ha sido el coordinador y director técnico del proyecto de I+D durante sus tres años de duración. En este tiempo ha contado con la colaboración de un excelente equipo de trabajo, que se encuentra formado por especialistas de la arquitectura y del sector de la madera. Sus resultados, junto con los procesos y tratamientos desarrollados en AIDIMA a partir de investigaciones y ensayos sobre materiales y estructuras, han servido para la redacción de esta guía.

Para visualizar con más detalle el desarrollo del proyecto pueden visualizar el video alojado en Youtube titulado "Sistemas constructivos y estructurales mixtos de madera laminada encolada AIDIMA", con la dirección: <http://www.youtube.com/watch?v=PkoPWfsO994>

## Los autores



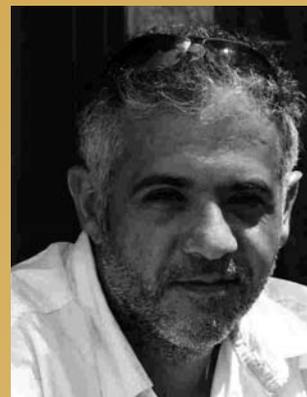
**Miguel Ángel Abián Pérez**  
Licenciado con grado en Ciencias Físicas

Obtuvo la suficiencia investigadora en el Dpto. de Física Aplicada de la Universidad de Valencia con una tesina sobre electromagnetismo. Realizó varios cursos de doctorado relacionados con electromagnetismo, electrónica, semiconductores y cristales fotónicos. Ha recibido becas del IMPIVA y de la Universidad Politécnica de Valencia. Es Máster estadounidense en UML y Java. Se incorporó en 1998 a AIDIMA, donde ha participado como investigador en 23 proyectos de investigación nacionales e internacionales relacionados con madera en construcción, biosensórica, bioelectrónica, telecomunicaciones, visión artificial y web semántica; así como en la Red de Excelencia de la Comisión Europea INTEROP 2003-2007. El año 2006 estuvo cuatro meses como investigador invitado en el departamento Lehrstuhl für Messsystem und Sensortechnik de la Universidad Politécnica de Munich (TUM), donde colaboró en el desarrollo de nuevos métodos para la detección de defectos en superficies acabadas y en el diseño e implementación de sistemas distribuidos de sensores para el sector del automóvil y de energías renovables. En 2007 recibió un premio BANCAJA-UPV por un proyecto final de carrera relacionado con la calidad interna de la madera. En 2009 recibió el premio internacional Schweighofer Innovation Prize -el premio más prestigioso en el sector forestal y de la madera- por su aportación al desarrollo de nuevas tecnologías de evaluación no destructiva de la madera en construcción. Actualmente es Responsable del Departamento de Tecnología y Biotecnología de la Madera y del Área de Construcción de Madera. Es coautor de 7 libros y guías técnicas relacionadas con el uso de la madera en la construcción y la visión artificial. También ha publicado varios artículos científicos en revistas como IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques; y ha participado como ponente en congresos y conferencias como European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering e IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, y en reuniones COST (European Cooperation in Science and Technology). Ha publicado más de 22 artículos técnicos en revistas sectoriales. Es autor o coautor de 6 patentes, algunas de ellas en trámite. Tres de ellas corresponden a dispositivos y métodos para detectar la biodegradación de la madera en construcción.



**Manuel García Barbero**  
Arquitecto

Cursó estudios de arquitectura en ETSA-Sevilla, RWTH-Aachen, TU-Berlín y TU-Graz. Está especializado en arquitectura bioclimática por la TU-Graz y desarrolla una actividad profesional muy centrada en la construcción con madera y la eficiencia energética de la edificación. Ha cursado estudios de máster orientados a la construcción con madera en la Universidad austriaca de Linz y el máster de ingeniería de la madera de la Universidad de Santiago de Compostela. Ha colaborado en diferentes estudios de arquitectura en Berlín, Graz, Viena, Murcia y Almería. También ha desarrollado proyectos que abarcan la rehabilitación de estructuras de madera en edificios religiosos y civiles, la construcción en nueva planta con un sistema constructivo energéticamente muy eficaz en entramado ligero de madera y la recuperación de un edificio del siglo XVIII utilizando sistemas prefabricados en contralaminado con destino hostelero para una certificación energética de clase A. Desde el año 2006 viene desarrollando un trabajo de colaboración muy estrecha con AIDIMA en el desarrollo de nuevas perspectivas técnicas para la aplicación de la madera en la construcción, mediante diferentes proyectos de investigación, como el reflejado en la presente guía. Desde el año 2005 es el consultor técnico para Proholz Austria en España y es responsable de la generación y publicación de diversos documentos técnicos y divulgativos, del desarrollo de la versión en castellano de dataholz.com y de ctdesigner.at; así como de la organización de seminarios técnicos por toda la península, de la organización de los nuevos Impulsos Proholz y de la coordinación de otras actividades con socios de Proholz en España.



**Kiyanshid Hedjri**  
Arquitecto

Estudió arquitectura en la Universidad Técnica de Viena con una especial atención al urbanismo y al uso del parametricismo, basándose en las teorías de la arquitectura crecida y no planeada y en su comparación con la naturaleza. Trabajó durante los estudios como tutor en el instituto de viviendas de la Facultad de Arquitectura. También cursó estudios en Barcelona y Múnich sobre los temas de "Pasivhaus" y de programas informáticos para la construcción con madera. Ha colaborado después de la carrera en varios estudios de arquitectura en Viena y Barcelona, donde ganó como colaborador varios concursos arquitectónicos de importancia. Desde 2007 ejerce como arquitecto autónomo enfocado en la arquitectura bioclimática y paramétrica. El punto central de su labor profesional es la combinación de la arquitectura bioclimática con nuevas tecnologías del diseño y tecnología informática para la optimización del resultado. Colabora con AIDIMA desde el año 2009 en proyectos de I+D relacionados con la búsqueda de soluciones innovadoras para la construcción industrializada y modularizada con madera mediante nuevas tecnologías.

## Índice

1. INTRODUCCIÓN	<u>6</u>
1.1. OBJETIVOS Y RESULTADOS DEL PROYECTO	
1.2. IMPACTO TÉCNICO DEL PROYECTO	
1.3. IMPACTO SECTORIAL Y SOCIO-ECONÓMICO DEL PROYECTO	
2. BIOMIMETISMO Y PARAMETRICISMO	<u>7</u>
2.1. BIOMIMETISMO	
2.2. PARAMETRICISMO	
3. SISTEMA ESTRUCTURAL PARAMÉTRICO AIDIMA	<u>8</u>
3.1. CONCEPTO DEL SISTEMA.	
3.2. ESTRATEGIAS ESTRUCTURALES	
4. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE PROTOTIPOS VIRTUALES CON EL SISTEMA ESTRUCTURAL PARAMÉTRICO AIDIMA	<u>10</u>
5. CONSIDERACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS A PARTIR DE PROTOTIPOS VIRTUALES DISEÑADAS CON EL SISTEMA ESTRUCTURAL PARAMÉTRICO AIDIMA	<u>12</u>
6. APLICACIONES PRÁCTICAS DEL SISTEMA ESTRUCTURAL PARAMÉTRICO AIDIMA	<u>13</u>
7. IMÁGENES Y FOTOGRAFÍAS REPRESENTATIVAS DEL TRABAJO REALIZADO DURANTE EL PROYECTO DE I+D	<u>15</u>

# Diseño y construcción de estructuras ligeras mixtas de madera laminada y vidrio

## I. INTRODUCCIÓN

Durante los años 2009, 2010 y 2011, AIDIMA ha desarrollado el proyecto de I+D "Desarrollo de sistemas constructivos mixtos de madera laminada y vidrio para estructuras ligeras de cubierta". Las tres anualidades del proyecto han sido financiadas por el IMPIVA (Instituto de la Mediana y Pequeña Industria Valenciana). El proyecto ha sido cofinanciado por fondos FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional) de la Unión Europea.

### I.1. OBJETIVOS Y RESULTADOS DEL PROYECTO

Este proyecto ha tenido como objetivo general el desarrollo de una tecnología innovadora de sistemas constructivos integrales mixtos de madera laminada encolada y vidrio laminado con chapa de madera para ser utilizados en estructuras ligeras de cubierta.

Las conclusiones generales y específicas obtenidas a lo largo de los tres años del proyecto se han recopilado con un enfoque apropiado para su difusión en los sectores de interés (principalmente, arquitectos, diseñadores, empresas de madera, chapa y vidrio) y para el público en general. A partir de dichas conclusiones se ha preparado esta guía técnica para el diseño y construcción de estructuras ligeras mixtas de madera laminada y vidrio laminado.

El principal resultado del proyecto, en el que se centra esta guía, es el Sistema Estructural Paramétrico AIDIMA (SEPA) para sistemas constructivos mixtos, que constituye el resultado conceptual del análisis de tres campos: la técnica estructural del momento, el diseño arquitectónico actual y las tendencias de éste en el futuro. Considerando en detalle estas tendencias actuales y sus posibles consecuencias futuras, se ha desarrollado una aproximación ingeniero-industrial compatible que se anticipe a la técnica y diseño actual, de manera que el sistema desarrollado pueda incluirse en algunas tendencias arquitectónicas todavía incipientes, pero que tendrán gran relevancia en las próximas décadas.

Los objetos, productos y estructuras que se diseñan y construyen dependen tanto de la potencia de las herramientas de diseño como de la capacidad tecnológico-industrial existente para su producción. La realidad virtual simulada, cada vez más potente y eficaz tanto en el software como en el hardware, abre nuevas vías para plantear la resolución de problemas antes imposibles de abordar, con una seguridad técnica hasta ahora insospechada.

El SEPA constituye una fusión de los avances en realidad virtual simulada con los desarrollos tecnológicos de la madera como material avanzado, de manera que se ha obtenido un solo sistema versátil que permite nuevas formas de diseñar y construir.

### I.2. IMPACTO TÉCNICO DEL PROYECTO

En el sistema SEPA tiene un papel crucial la madera, que como principal material estructural

que ofrece la naturaleza ha sido aprovechada por el hombre desde el principio de su evolución. Este material presenta una estructura totalmente optimizada en la que diferentes polímeros (celulosa, lignina) se complementan entre sí para formar una matriz de células y paredes celulares que admiten una gran resistencia en relación con su baja densidad. Además, tiene una buena resistencia al fuego.

La madera técnica es madera transformada para conseguir dimensiones, formas y características que en muchos casos resultan imposibles de conseguir con madera maciza o aserrada. Mediante la madera técnica, pueden superarse las limitaciones de la madera aserrada para estructuras de grandes dimensiones y de cualquier forma.

Maderas técnicas como la madera laminada encolada permiten construir estructuras de una manera estandarizada y con una gran ventaja en coste respecto a materiales como el hormigón o el acero, aparte de sus ventajas medioambientales (reducción del consumo energético, reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, estímulo para la gestión forestal). La madera técnica es una inmejorable elección tanto para la arquitectura orgánica -que simula formas naturales y promueve la armonía entre el hábitat humano y el mundo natural- y la arquitectura paramétrica -cada vez más popular y reconocida, y que es posible por las nuevas tecnologías informáticas de diseño automático-.

La creación de una metodología completa de diseño, construcción y prefabricación de estructuras ligeras orgánicas hechas con madera laminada y vidrio laminado de chapa de madera constituye una novedad absoluta con respecto al estado del conocimiento de la construcción en madera, tanto más relevante cuanto que en el proyecto se han involucrado arquitectos y empresas europeas de prestigio en el campo de la construcción en madera.

En el caso del vidrio, las posibilidades que ofrece el uso de chapas de madera dentro del vidrio resultan también muy innovadoras e interesantes. En concreto, pueden lograrse efectos llamativos mediante el uso de chapas tan finas que sean casi translúcidas. Con ellas puede obtenerse un medio muy interesante de mitigación lumínica en muros cortina y también un efecto de superficie retroiluminada, bien sea con luz natural de día o con luz artificial de noche.

Existen infinidad de aplicaciones que justifican el esfuerzo investigador dirigido hacia la obtención de sistemas constructivos en los que la madera y el vidrio trabajen conjuntamente. Vidrio y madera tienen características opuestas que, si consiguen equilibrarse, aportan la posibilidad de lograr un balance interesante en el que estos materiales se compensen y complementen entre sí.

### I.3. IMPACTO SECTORIAL Y SOCIOECONÓMICO DEL PROYECTO

Con el SEPA, los sectores españoles de la madera, el vidrio y la construcción se suman a la imparable realidad de una tendencia de futuro

diferente en el diseño, control y ejecución de la arquitectura e ingeniería. Este futuro pasa por la incorporación de la parametrización en los procesos de diseño industrial y arquitectónico, así como por la incorporación de la industrialización y la prefabricación más avanzadas para lograr una optimización y previsión fiable de los recursos.

La investigación en el aprovechamiento de dimensiones pequeñas de material y la prefabricación de elementos estructurales de madera laminada encolada de coníferas constituyen una oportunidad de generar valor añadido para las empresas que trabajan la madera maciza, sobre todo para la empresa auxiliar del mueble, que en la actualidad está perdiendo competitividad por la crisis que afecta a este sector.

La mencionada prefabricación constituye una muy buena alternativa al uso de madera aserrada, lo cual puede permitir que el subsector valenciano del aserío reciba un nuevo impulso de innovación. Estas empresas se ubican sobre todo en zonas de interior de la Comunidad Valenciana; así que los resultados obtenidos pueden contribuir al desarrollo industrial en zonas rurales, y por lo tanto en áreas geográficas con problemas socioeconómicos estructurales.

También el sector de la chapa de la madera, muy concentrado dentro de España en la Comunidad Valenciana, tiene muchas dificultades por la caída de producción de muebles. El uso de chapa de madera como elemento intermedio en laminados de vidrio abre una gran oportunidad para dar un muy alto valor añadido a esta industria muy orientada al mobiliario, lo cual permitiría diversificar en producto y en mercados, contribuyendo así a la mejora de la competitividad de las empresas y a la creación de puestos de trabajo, basados en la infraestructura industrial existente y en la innovación derivada del proyecto.

También la industria valenciana del vidrio puede salir reforzada con los resultados de este proyecto de I+D, al integrarse en un sector estratégico como la madera. La cooperación entre empresas de la madera y del vidrio en el campo de la construcción resulta altamente innovadora en la Comunidad Valenciana.

Los resultados del proyecto pueden potenciar también en la Comunidad Valenciana tecnologías innovadoras de construcción sostenible basada en madera, así como la eficacia energética en las construcciones. Asimismo, son una vía para que las empresas valencianas aprendan nuevas técnicas para prefabricar y montar estructuras de madera con forma orgánica, a fin de establecer nuevas líneas de negocio y adelantarse a las necesidades de los arquitectos y de sus clientes.