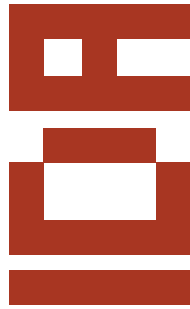


SEVILLA

IDA

**IDA: ADVANCED
DOCTORAL RESEARCH
IN ARCHITECTURE**

SEVILLA



**IDA: ADVANCED
DOCTORAL RESEARCH
IN ARCHITECTURE**

Antonio Tejedor Cabrera, Marta Molina Huelva (comp.)

IDA: Advanced Doctoral Research in Architecture
Sevilla: Universidad de Sevilla, 2017.

1.408 pp. 21 x 29,7 cm

ISBN: 38765987928376375

Legal Dep.: 236235768336

All right reserved. No part of this book may be reproduced stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or any means without prior written permission from the Publisher.

EDITOR

Universidad de Sevilla

COMPILERS

Antonio Tejedor Cabrera

Marta Molina Huelva

DESIGN AND LAYOUT BY

Pablo Blázquez Jesús

María Carrascal Pérez

Daniel Longa García

Marina López Sánchez

Francisco Javier Navarro de Pablos

Gabriel Velasco Blanco

ADMINISTRATION AND SERVICES STAFF

Adoración Gavira Iglesias

Seville, november 2017

© 2017. IDA: ADVANCED DOCTORAL RESEARCH IN ARCHITECTURE

SEVILLA

IDE

ORGANIZED BY

iuacc
INSTITUTO UNIVERSITARIO
ARQUITECTURA Y CIENCIAS DE LA CONSTRUCCION

UNIVERSIDAD DE SEVILLA
uieidus
Escuela Internacional de Doctorado

arquitectura
Escuela Técnica Superior
Universidad de Sevilla

COLLABORATORS



Consejo Andaluz
de Colegios Oficiales
de Arquitectos



fundación **arquia**

All manuscripts have been submitted to blind peer review, all content in this publication has been strictly selected, the international scientific committee that participates in the selection of the works is of international character and of recognized prestige, an scrupulous method of content filtering has been followed in terms of its veracity, scientific definition and plot quality.

COMMITTEES

CONFERENCE CHAIRPERSONS

Antonio Tejedor Cabrera, *Coordinator of the PhD Program in Architecture and Director of the University Institute of Architecture and Construction Sciences, Professor Department of Architectural Design, University of Seville*

Marta Molina Huelva, *Secretary of the University Institute of Architecture and Construction Sciences, Professor of the Department of Building Structures and Geotechnical Engineering, University of Seville*

ORGANISING COMMITTEE

María Carrascal Pérez, *Department of History, Theory and Architectural Composition, University of Seville*

Mercedes Linares Gómez del Pulgar, *Department of Architectural Graphic Expression, University of Seville*

Ángel Martínez García-Posada, *Department of Architectural Design, University of Seville*

Pilar Mercader Moyano, *Department of Architectural Constructions I, University of Seville*

Domingo Sánchez Fuentes, *Department of Urban Planning and Spatial Planning, University of Seville*

Manuel Vázquez Boza, *Department of Building Structures and Land Engineering, University of Seville*

CONFERENCE SECRETARY

Pablo Blázquez Jesús, *Ph.D. student, Department of Architectural Design, University of Seville*

Marina López Sánchez, *Ph.D. student, Department of Architectural Design, University of Seville*

FORMATO

Mesas temáticas

Las mesas temáticas son lugares de presentación de las metodologías y las experiencias de jóvenes doctores y de estudiantes de doctorado procedentes de las diferentes universidades. Son gestionadas por los propios estudiantes de doctorado que generan unas conclusiones para ser debatidas y reelaboradas en la sesión plenaria final. Las sesiones se desarrollan de manera simultánea con la presentación de los *papers* seleccionados en la *call*, organizados en cuatro áreas o líneas temáticas:

1. Tecnologías de la Arquitectura
2. Vivienda, Ciudad y Territorio
3. Patrimonio y Rehabilitación
4. Análisis y Proyectos Avanzados

Taller

El workshop del Congreso se orienta hacia el análisis de los problemas y las necesidades de gestión de los Programas de Doctorado con el fin de extraer conclusiones que pueden ser útiles a las Universidades implicadas. En el workshop participan los coordinadores de los programas de Doctorado en Arquitectura y los representantes de los doctorandos. Son temas de debate: las líneas de investigación, las metodologías, las necesidades organizativas de los programas de doctorado, el Doctorado Internacional y el Doctorado Industrial, y el futuro de la investigación doctoral.

Sesiones Plenarias

Las sesiones plenarias se realizan al inicio y al final del Congreso. En la primera sesión de bienvenida e introducción al Congreso se invita a participar a expertos investigadores del panorama nacional e internacional y a los coordinadores de los programas de doctorado. En la segunda sesión plenaria se propone un debate abierto para la reelaboración de las propuestas extraídas del taller y de las mesas temáticas. Sirve también de clausura con la presentación de las conclusiones finales del Congreso IDA_Sevilla 2017.

SCIENTIFIC COMMITTEE

José Aguiar-Universidade de Lisboa
Benno Albrecht-Università IUAV di Venezia
Francisco Javier Alejandro Sánchez-Universidad de Sevilla
Darío Álvarez Álvarez-Universidad de Valladolid
Antonio Ampliato Briones-Universidad de Sevilla
Joaquín Antuña-Universidad Politécnica de Madrid
Ángela Barrios Padura-Universidad de Sevilla
José María Cabeza Laínez-Universidad de Sevilla
Pilar Chías Navarro-Universidad de Alcalá
Juan Calatrava Escobar-Universidad de Granada
María Carrascal Pérez-Universidad de Sevilla
Helena Coch Roura-Universitat Politècnica de Catalunya
Jorge Cruz Pinto-Universidad de Lisboa
Carmen Díez Medina-Universidad de Zaragoza
Fernando Espuelas Cid-Universidad Europea
Alberto Ferlenga-Università IUAV di Venezia
Luz Fernández-Valderrama-Universidad de Sevilla
Vicente Flores Alés-Universidad de Sevilla
María del Carmen Galán Marín-Universidad de Sevilla
Jorge Filipe Ganhão da Cruz Pinto-Universidade de Lisboa
Carlos García Vázquez-Universidad de Sevilla
Sara Girón Borrero-Universidad de Sevilla
Francisco Gómez Díaz-Universidad de Sevilla
Amparo Graciani-Universidad de Sevilla
Francisco Granero Martín-Universidad de Sevilla
Francisco Hernández Olivares-Universidad P. de Madrid
Miguel Ángel de la Iglesia-Universidad de Valladolid
Paulo J.S. Cruz-Universidade do Minho
Francesc Sepulcre-Universitat Politècnica de Catalunya
Ángel Luis León Rodríguez-Universidad de Sevilla
Mercedes Linares Gómez del Pulgar-Universidad de Sevilla
María del Mar Loren Méndez-Universidad de Sevilla

Margarita de Luxán García de Diego-Universidad P. de Madrid
Madelyn Marrero-Universidad de Sevilla
Juan Jesús Martín del Río-Universidad de Sevilla
Luis Martínez-Santamaría-Universidad Politécnica de Madrid
Ángel Martínez García-Posada-Universidad de Sevilla
Mauro Marzo-Università IUAV di Venezia
Pilar Mercader Moyano-Universidad de Sevilla
Antonello Monaco-Università degli Studi di Reggio Calabria
Marta Molina Huelva-Universidad de Sevilla
José Morales Sánchez-Universidad de Sevilla
Eduardo Mosquera Adell-Universidad de Sevilla
María Teresa Muñoz Jiménez-Universidad Politécnica de Madrid
Jaime Navarro Casas-Universidad de Sevilla
José Joaquín Parra Bañón-Universidad de Sevilla
Víctor Pérez Escolano-Universidad de Sevilla
Francisco Pinto Puerto-Universidad de Sevilla
Mercedes Ponce Ortiz de Insagurbe-Universidad de Sevilla
Juan Luis de las Rivas Sanz-Universidad de Valladolid
Carmen Rodríguez Liñán-Universidad de Sevilla
Javier Ruiz Sánchez-Universidad Politécnica de Madrid
Joaquín Sabaté Bel-Universitat Politècnica de Catalunya
Victoriano Sáinz Gutiérrez-Universidad de Sevilla
Santiago Sánchez Beitia-Universidad del País Vasco
Domingo Sánchez Fuentes-Universidad de Sevilla
José Sánchez Sánchez-Universidad de Sevilla
Juan José Sendra Salas-Universidad de Sevilla
Julián Sobrino Simal-Universidad de Sevilla
Federico Soriano Peláez-Universidad Politécnica de Madrid
Rafael Suárez Medina-Universidad de Sevilla
Miguel Ángel Tabales Rodríguez-Universidad de Sevilla
Antonio Tejedor Cabrera-Universidad de Sevilla
Jorge Torres Cueco-Universidad Politécnica de Valencia
Elisa Valero Ramos-Universidad de Granada
Manuel Vázquez Boza-Universidad de Sevilla
Narciso Vázquez Carretero-Universidad de Sevilla
Teófilo Zamarreño García-Universidad de Sevilla

FOREWORD

The Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción (IUACC), in collaboration with the Escuela Técnica Superior de Arquitectura (ETSAS) and the Escuela Internacional de Doctorado (EIDUS) of the University of Seville are pleased to welcome the heads of research from both Spanish and overseas universities, consolidated researchers and young doctoral researchers to the First International Congress of Doctorates in Architecture IDA Sevilla, from 27th to 28th November 2017.

The **IDA_Sevilla 2017** Congress offers a general perspective of doctoral studies in the field of Architecture and its related disciplines: urban planning, heritage, landscape, construction technologies and sustainability. In the new context generated after the elimination of the doctoral programs prior to RD 99/2011, it is necessary to carry out an analysis of the complex panorama that the former programs and the new doctoral programs have drawn up, in order to know in detail both what has been achieved so far, as well as the challenges of the future of advanced doctoral research in Spain, in the European and international context.

The startling changes that are taking place in our society call for a vision of research that is not compartmentalised into traditional disciplines or areas of knowledge. Doctoral research in Architecture must adapt to changes in society and to the sustainable productive needs of territory.

The congress will take place at the Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla, organised in four simultaneous thematic tables, a workshop on the administration of doctoral programs and two plenary sessions.

The **thematic tables** are aimed at young doctors and doctoral students of the different participating universities who will present their experiences and methods of their research - in development or recently concluded. The participation in the thematic tables is carried out through the selection procedure with blind peer review established in the call for papers and through express invitations to the debate. The almost 70 communications have been structured in four thematic areas representative of the PhD programs in Architecture.

The **open workshop** will be held in two sessions with the participation of the coordinators of each of the collaborating programs of the Congress, and professors with extensive doctoral experience. Its objectives are multiple: to discuss the experiences undertaken in the different universities, exchange ideas about the approaches and models applied, address the challenges of internationalization and management, launch the new Industrial Doctorate with companies and public agencies, and so on.

There are two **plenary sessions**: one, a plenary session of introduction to the congress, with the participation of coordinators of national and foreign doctoral programs; and a closing plenary session, with an open debate for the going-over of the conclusions drawn from the thematic tables and the workshop, and the presentation of final conclusions.

We thank the Escuela Internacional de Doctorado of the University of Seville, and the Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla for the support they have provided for the holding of this meeting, which contributes so much to the clarification of the future of doctoral studies in Spanish universities in the face of the great challenge of internationalization and the continuous improvement of the quality of research in Architecture. We also thank those responsible for the participating Doctoral Programs, the Architecture library of the US and all the participants and attendees.

Antonio Tejedor Cabrera
Marta Molina Huelva

PRÓLOGO

El Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción (IUACC), con la colaboración de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura (ETSAS) y la Escuela Internacional de Doctorado (EIDUS) de la Universidad de Sevilla, se complacen en recibir a los responsables de investigación de universidades españolas y extranjeras, a los investigadores consolidados y a los jóvenes investigadores de doctorado en el I CONGRESO INTERNACIONAL DE DOCTORADOS EN ARQUITECTURA IDA_Sevilla, del 27 al 28 de noviembre de 2017.

El congreso **IDA_Sevilla 2017** ofrece una perspectiva general de los estudios de doctorado en el campo de la Arquitectura y sus disciplinas afines: urbanística, patrimonio, paisaje, tecnologías de la construcción y sostenibilidad. En el nuevo contexto generado tras la extinción de los programas doctorales anteriores al RD 99/2011 es necesario realizar un análisis del complejo panorama que han construido los programas extintos y los nuevos programas de doctorado, con el objeto de conocer con detalle tanto lo conseguido hasta ahora como los retos que depara el futuro de la investigación doctoral avanzada en España, en el contexto europeo e internacional.

Los vertiginosos cambios que se están produciendo en nuestra sociedad reclaman una visión de la investigación no compartimentada en disciplinas o áreas de conocimiento tradicionales. La investigación doctoral en Arquitectura debe adaptarse a los cambios de la sociedad y a las necesidades productivas sostenibles en el territorio.

El congreso se celebra en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla organizado en cuatro mesas temáticas simultáneas, un taller sobre la gestión de los programas de doctorado y dos sesiones plenarias.

Las **mesas temáticas** están dirigidas a los jóvenes doctores y a estudiantes de doctorado de las diferentes universidades participantes que exponen sus experiencias y métodos sobre las investigaciones en desarrollo o recientemente concluidas. La participación en las mesas temáticas se realiza por el procedimiento de selección con revisión por pares ciegos establecido en la *call for papers* y por medio de invitaciones expresas al debate. Las casi 70 comunicaciones se han estructurado en cuatro áreas temáticas representativas de los programas de doctorado en Arquitectura.

El **taller** de puesta en común se realiza en dos sesiones con la participación de los coordinadores de cada uno de los programas colaboradores del Congreso y de profesores con amplia experiencia doctoral. Sus objetivos son múltiples: debatir sobre las experiencias desarrolladas en las distintas universidades, intercambiar ideas sobre los enfoques y los modelos aplicados, abordar los retos de internacionalización y de gestión, poner en marcha el nuevo Doctorado Industrial con empresas y agencias públicas, etc.

Las **sesiones plenarias** son dos: una sesión plenaria de introducción al congreso, con la intervención de coordinadores de programas de doctorado nacionales y extranjeros; y una sesión plenaria de clausura, con un debate abierto para la reelaboración de las conclusiones extraídas de las mesas temáticas y del workshop y la presentación de las conclusiones finales.

Agradecemos a la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad de Sevilla y a la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla el apoyo que han proporcionado para la realización de este encuentro que tanto contribuye a clarificar el futuro de los estudios doctorales en las universidades españolas ante el gran reto de la internacionalización y la continua mejora de la calidad de la investigación en Arquitectura. Damos las gracias también a los responsables de los Programas de Doctorado participantes, a la Biblioteca de Arquitectura de la US y a todos los participantes y asistentes.

Antonio Tejedor Cabrera
Marta Molina Huelva

OBJECTIVES

1. Analyze the research lines of the various programs and build a map of doctoral research in Spain with the support of coordinators, tutors / thesis supervisors, doctoral students and young doctors in the disciplines related to Architecture and their related areas.
2. To know the status of doctoral theses in progress or defended in the last three years, selected by means of a call with blind peer evaluation of the doctoral programs participating in the congress.
3. Discuss the structure and university management of doctoral programs in relation to employment challenges, collaboration with the productive sector and national research programs.
4. Exchange experiences with other international doctoral research programs on international mobility management, theses with international mention, co-supervised theses, theses with industrial mentions, etc.
5. No less important, consolidate a national and international network of Doctoral Programs related to Architecture, Urban Planning, Heritage, Landscape, Technologies and related disciplines.



FORMAT

Thematic tables

The thematic tables are places to present the methodologies and experiences of young doctors and doctoral students from different universities. They are managed by the doctorate students themselves, who generate conclusions to be debated and reworked in the final plenary session. The sessions are developed simultaneously with the presentation of the papers selected in the call, organized in four areas or thematic lines:

1. Architectural technologies
2. Housing, city and territory
3. Heritage and Rehabilitation
4. Analysis and advanced projects

Workshop

The workshop of the Congress is oriented towards the analysis of the problems and management needs of the Doctorate Programs, with the objective of arriving at conclusions that may be useful to the Universities involved. The coordinators of the Doctorate in Architecture programs and the doctoral students' representatives will participate in the workshop. The following are topics for debate: lines of research, methodologies, organizational needs of the doctoral programs, the International Doctorate and the Industrial Doctorate, and the future of doctoral research.

Plenary Sessions

The plenary sessions are held at the beginning and end of the Congress. In the first session of welcome and introduction to the Congress, researchers from the national and international scene and the coordinators of the doctorate programs are invited to participate. In the second plenary session an open debate is proposed for the going over of the proposals drawn from the workshop and the thematic tables. It also serves as a closing ceremony with the presentation of the final conclusions of the 2017 IDA_Sevilla Congress.

Beams were tested in bending, according to UNE-EN 408 (2011) (Fig.6), and the effects of GFRP reinforcements in the MOE, ultimate strength (MOR) and improvement in the dispersion of results were measured and analyzed. The failure modes of each beam were also observed.



Fig. 6 Duo beams test according to UNE EN-408.

The results of these tests on reinforced Populus beams are shown in Figure 7, with a significant improvement with increments in the moduli of elasticity of 10% for GFRP reinforcements of 1200 gr / m² and of around 15% for GFRP reinforcements of 2400 gr / m².

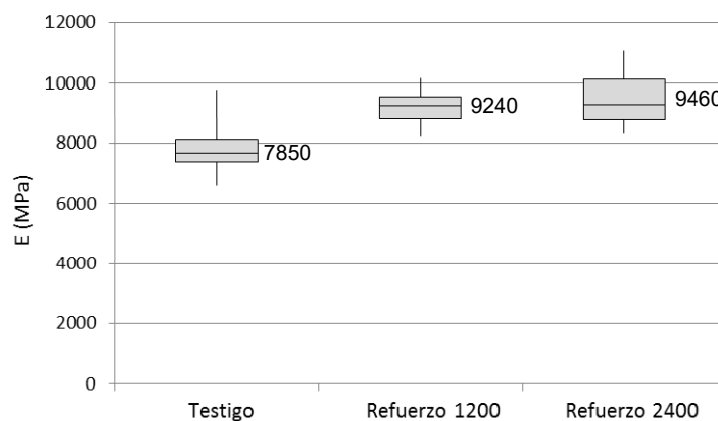


Fig. 7 Box and whiskers graph with the modulus of elasticity of poplar duo beams.

At the present time only the previous data analyzes of the poplar duo beams are available, and the bending test of the Pinaster beams is scheduled for close dates.

3.3. Creep tests

In order to study the long-term behavior of the reinforced duo beams, in relation to unreinforced ones, a long-term test has been set up, according to UNE-EN 380 (1998), with a total load of 10 kN, which represents approximately 50% of ultimate load of the beams. The ambient conditions of the laboratory remain nominally constant, $20 \pm 2^\circ\text{C}$; $65 \pm 5\%$ humidity in air, corresponding to a hygroscopic balance of 12% HR in the wood (Kollman 1959).

The load is applied by means of the filling and filling of individual tanks (Figure 8), single wall polyethylene (PE), with a useful capacity of 1000 liters and dimensions of approximately 1650x720x1260 mm, with upper filling nozzles and lower emptying device, with locking key. The support of the tanks on the beams is made with an intermediate resistant platform, which allows to apply the load on the beams on two points, following the support distances proposed by UNE-EN 408 (2011).

OBJETIVOS

1. Analizar las líneas de investigación de los diversos programas y construir el mapa de la investigación doctoral en España con el apoyo de los coordinadores, los tutores/directores de tesis, los doctorandos y los jóvenes doctores en las disciplinas relacionadas con la Arquitectura y sus áreas afines.
2. Conocer el estado de las tesis doctorales en marcha o defendidas en los últimos tres años, seleccionadas por medio de una *call* con evaluadores por pares ciegos de los programas de doctorado participantes en el congreso.
3. Debatir sobre la estructura y la gestión universitaria de los programas de doctorado en relación con los retos de empleo, colaboración con el sector productivo y los programas nacionales de investigación.
4. Intercambiar experiencias con otros programas de investigación doctoral a escala internacional sobre gestión de la movilidad internacional, tesis con mención internacional, tesis en cotutela, tesis con mención industrial, etc.
5. No menos importante, consolidar una red nacional e internacional de Programas de Doctorado relacionados con la Arquitectura, la Urbanística, el Patrimonio, el Paisaje, las Tecnologías y sus disciplinas afines.



ICF

SEVILLA

LT1

TECNOLOGÍAS DE
LA ARQUITECTURA

ARCHITECTURE TECHNOLOGIES / TECNOLOGÍAS DE LA ARQUITECTURA

p. 23-30: **ANALYSIS OF INCIDENCE OF LICENSE MANAGEMENT ACTIVITIES IN THE PROCESSES OF THE INTERNATIONAL STANDARD UNE ISO 21,500** / p. 31-39: **ANÁLISIS DE INCIDENCIA DE LAS ACTIVIDADES DE GESTIÓN DE LICENCIAS EN LOS PROCESOS DE LA NORMA INTERNACIONAL UNE ISO 21.500**

García Ruiz-Espiga, Adolfo; Soler Severino, Manuel

p. 41-49: **ENVELOPE'S ENERGY PERFORMANCE OF UNIVERSITIES BUILDINGS LOCATED IN BAHIA – BRAZIL** / p. 50-58: **DESEMPEÑO ENERGÉTICO DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA DE EDIFICACIONES UNIVERSITARIAS CONSTRUIDAS EN BAHIA - BRASIL**

Santana, Bruno; Coch, Helena

p. 59-66: **A STUDY OF THE ESSENTIAL CHARACTERISTICS OF A GLOBAL DANCE FLOOR SYSTEM** / p. 67-74: **ESTUDIO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS ESENCIALES DE UN SISTEMA DE SUELO GLOBAL PARA LA DANZA**

Turiel, Claudia; García-Santos, Alfonso

p. 75-83: **THE ROOF THERMAL BEHAVIOR IN A TROPICAL-EQUATORIAL CLIMATE** / p. 84-93: **EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LA CUBIERTA EN EL CLIMA TROPICAL-ECUATORIAL**

Torres-Quezada, Jefferson; Coch-Roura, Helena; Isalgué, Antonio

p. 95-103: **FRP REINFORCEMENT AND PRODUCTION OF DUO TIMBER BEAMS** / p. 104-112: **FABRICACIÓN Y REFUERZO DE VIGAS LAMINADAS DÚO CON FRP**

Balmori, Jose Antonio; Basterra, Luis-Alfonso

p. 113-121: **METHODOLOGY OF COMPLEMENTARY ASSESSMENT TO A LIFE CYCLE ANALYSIS OF THE SUSTAINABILITY OF USE GADUA BAMBOO IN CONSTRUCTIVE SOLUTIONS** / p. 122-130: **METODOLOGÍA DE VALORACIÓN COMPLEMENTARIA A UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA SOSTENIBILIDAD DEL USO DEL BAMBÚ GUADUA EN SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS**

Torres Rojas, José Eduardo; Neila Gonzalez, Francisco Javier

p. 131-141: **THERMODYNAMICS OF MEDITERRANEAN COURTYARDS: QUANTIFICATION AND APPLICATIONS IN ECO-EFFICIENT ARCHITECTURAL DESIGN** / p. 142-152: **TERMODINÁMICA DEL PATIO MEDITERRÁNEO: CUANTIFICACIÓN Y APLICACIÓN AL DISEÑO DE ARQUITECTURAS ECO-EFICIENTES**

Rojas Fernández, Juan Manuel; Galán Marín, Carmen; Fernández Nieto, Enrique

p. 153-160: **COMPLEMENTARY TECHNIQUES FOR THE CHARACTERIZATION OF NEW CONSTRUCTION MATERIALS: ANALYSIS AND REVIEW** / p. 161-169: **TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE NUEVOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS: ANÁLISIS Y REVISIÓN**

Pedreño-Rojas, M. Alejandro; Morales-Conde, M. Jesús; Rodríguez-Liñán, Carmen; Pérez-Gálvez, Filomena; Rubio-de-Hita, Paloma

p. 171-181: **CURRENT AND FUTURE DEMAND-SIDE MANAGEMENT POTENTIAL RELATED TO THE THERMAL MASS OF RESIDENTIAL BUILDINGS IN EUROPE BACKGROUND AND METHODOLOGICAL APPROACH** / p. 182-192: **POTENCIAL ACTUAL Y FUTURO DE GESTIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA ASOCIADA A LA MASA TÉRMICA DE EDIFICIOS RESIDENCIALES EN EUROPA ANTEDEGENDES Y PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

de-Borja-Torrejón, Manuel; León-Rodríguez, Ángel-Luis; Auer, Thomas

p. 193-203: **STUDY AND ASSESSMENT OF THE SEISMIC VULNERABILITY OF PRIMARY SCHOOL BUILDINGS LOCATED AT THE ALGARVE AND HUELVA: STATE OF THE ART** / p. 204-214: **ESTUDIO Y VALORACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICIOS DE EDUCACIÓN PRIMARIA EN EL ALGARVE Y HUELVA: ESTADO DEL ARTE**

Requena-García-de-la-Cruz, María-Victoria; Fazendeiro-Sá, Luis; Morales-Esteban, Antonio; Estêvão, João M.C.; Ferreira, Mónica A.; Durand-Neyra, Percy; Oliveira, Carlos Soussa

p. 215-222: **RESEARCH ON ECO-EFFICIENT STRUCTURAL MORTARS** / p. 223-231: **INVESTIGACIÓN SOBRE MORTEROS ESTRUCTURALES ECO-EFICIENTES**

González-Kunz, Rocío N.; Pineda, Paloma; Morillas, Leandro; Brás, Ana

p. 233-242: **TOWARD A CONTEMPORARY PLANNING METHOD: TECHNOLOGICAL AND CITIZENSHIP COMMITMENT** / p. 243-253: **HACIA UN MÉTODO DE PLANIFICACIÓN CONTEMPORÁNEO: COMPROMISO TECNOLÓGICO Y CIUDADANO**

Luque Martín, Irene

FABRICACIÓN Y REFUERZO DE VIGAS LAMINADAS DÚO CON FRP

Balmori, Jose Antonio ^{(1)(*)} and Basterra, Luis-Alfonso ⁽¹⁾

(1) Grupo de Investigación Reconocido en Estructuras y Tecnología de la Madera. Universidad de Valladolid.

(*)balmori@arq.uva.es

Resumen: El objetivo principal de la investigación es otorgarle un uso y valor añadido a maderas de rápido crecimiento y bajo coste económico de Castilla y León como son el *Populus x euroamericana* I-214 y el *Pinus pinaster* Ait.; fabricando un material industrializado (vigas dúo reforzadas) competitivas en propiedades mecánicas y costes con otros productos de madera industrializada comercializados en la actualidad. El trabajo recoge la metodología seguida y los resultados parciales alcanzados en la fabricación de vigas dúo y vigas dúo reforzadas de madera de *Populus x euroamericana* I-214 y *Pinus pinaster* Ait. con bandas rígidas de fibra de vidrio (GFRP). Se muestran los resultados alcanzados en ensayos previos de selección de fibras de refuerzo, adhesivos epoxis y tratamientos superficiales de las bandas rígidas GFRP. Inicialmente se realizan ensayos de flexión con vigas dúo de tablero de fibras de densidad media (MDF) con el fin de eliminar la variabilidad de la madera, alcanzando incrementos en los módulos de elasticidad de entre el 26-38%. En los ensayos finales sobre vigas dúo de madera los resultados muestran mejoras de entre el 10-15% en los módulos de elasticidad, alcanzando en las vigas dúo reforzadas de chopo valores semejantes a maderas laminadas comerciales. Así mismo se realizan ensayos de fluencia de larga duración ante bajos niveles de carga comparando el comportamiento de vigas dúo sin refuerzo y vigas dúo reforzadas con GFRP.

Palabras Clave: Refuerzo estructural, Madera, Viga dúo, Polímero reforzado con fibras (FRP), Sistemas compuestos.

1. Introducción

El refuerzo de estructuras de madera en servicio con materiales Fiber Reinforced Polymers (FRP) está extensamente desarrollado en la literatura (Barkis et al 2002). Sin embargo, su aplicación directa a productos comerciales de madera para uso en obra nueva (Parvez 2004) se limita a casos aislados. Partiendo de investigaciones previas (Theakston 1965, Bulleit 1984, Schober et al 2015), este trabajo se centra en la mejora y puesta en valor de maderas de bajas prestaciones mecánicas, rápido crecimiento y bajo precio, mediante la incorporación de refuerzos FRP internos. Para ello se han fabricado vigas laminadas tipo dúo reforzadas, con especies que actualmente no se utilizan en estructuras de modo intensivo en España como el chopo (*Populus x euroamericana* I-214) y el pino pinaster (*Pinus pinaster* Ait.).

Se emplea la viga laminada dúo por ser el sistema de industrialización más básico. El refuerzo GFRP se introduce en la línea de encolado, protegido de la acción del fuego y agentes atmosféricos (Martin et Tingley 2000). Ello permite distintas variaciones de gramaje, sin ninguna repercusión visual (Fig 1).

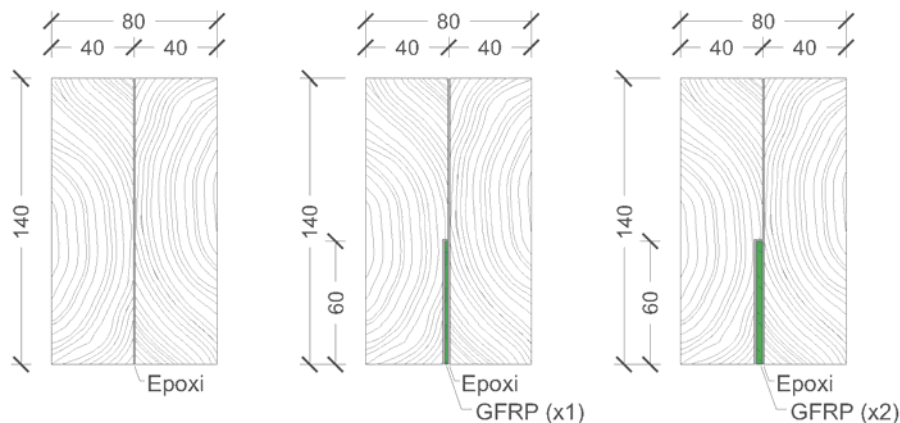


Fig. 1 Disposición de refuerzos y dimensiones de las vigas dúo ensayadas.

2. Métodos

Se estudia la utilización de distintos tipos de refuerzos FRP, adhesivos y cuantía de refuerzo empleado para aumentar la rigidez de las piezas y homogeneizar sus prestaciones mecánicas, a costes comercialmente competitivos. Se realiza una selección y caracterización de los distintos materiales (madera, FRP, adhesivos) mediante distintas campañas de ensayos (tabla 1).

Tabla 1. Programa de ensayos previsto.

Ensayo	Norma aplicable
Tejidos FRP (CFRP, BFRP, GFRP)	ASTM D2256-02
Adhesivos (poliuretanos, epoxi,...)	UNE-EN 56543:1988
Vigas dúo DM+FRP (Escala 1:4)	UNE-EN 408:2011
Bandas rígidas GFRP	ISO 527-5:2010
Vigas dúo populus (Escala 1:2)	UNE-EN 408:2011
Vigas dúo pinaster (Escala 1:2)	UNE-EN 408:2011
Ensayos de delaminación	UNE-EN 302:2013
Ensayos de fluencia	UNE-EN 380:1998

2.1. Madera empleada

La madera utilizada en la fabricación de las probetas de ensayo pertenece a las especies *Populus x euroamericana* I-214 y *Pinus pinaster* Ait., ambas provenientes de explotaciones forestales de Castilla y León. Las características básicas de la madera ensayadas se muestran en la tabla 2:

Tabla 2. Propiedades mecánicas de la madera.

Tipo de madera	Modulo de Young (GPa)	Tensión última (MPa)
Populus x euroamericana I-214	7.83 (10.18*)	36.02 (25.51*)
Pinus pinaster Ait	11.01 (14.77*)	54.75 (25.41*)

* COV% entre paréntesis.

Estas especies forestales se extienden por toda la meseta fruto de políticas de reforestación; concentrándose el chopo en las riberas de los ríos y el pinaster en zonas áridas. Actualmente estos recursos madereros se destinan principalmente a usos industriales de primera transformación con valores económicos bajos.

2.2. Selección y caracterización de fibras FRP

La primera fase de la investigación se centró en el ensayo y caracterización de diversos tejidos, incorporando en el estudio tanto fibras naturales como fibras sintéticas de alto módulo elástico. Se realizaron ensayos de tracción, según ASTM D2256-02 (2002), para obtener los módulos de elasticidad de cada material, realizándose posteriormente una comparación entre sus prestaciones mecánicas y su coste. Como puede observarse en la figura 2, las fibras naturales no presentan las propiedades mecánicas necesarias para reforzar significativamente la sección de las vigas. Dentro de las fibras sintéticas de alto módulo se pueden observar dos escalones prestacionales; las fibras de carbono y el resto (fibra de vidrio, fibra de basalto,...).

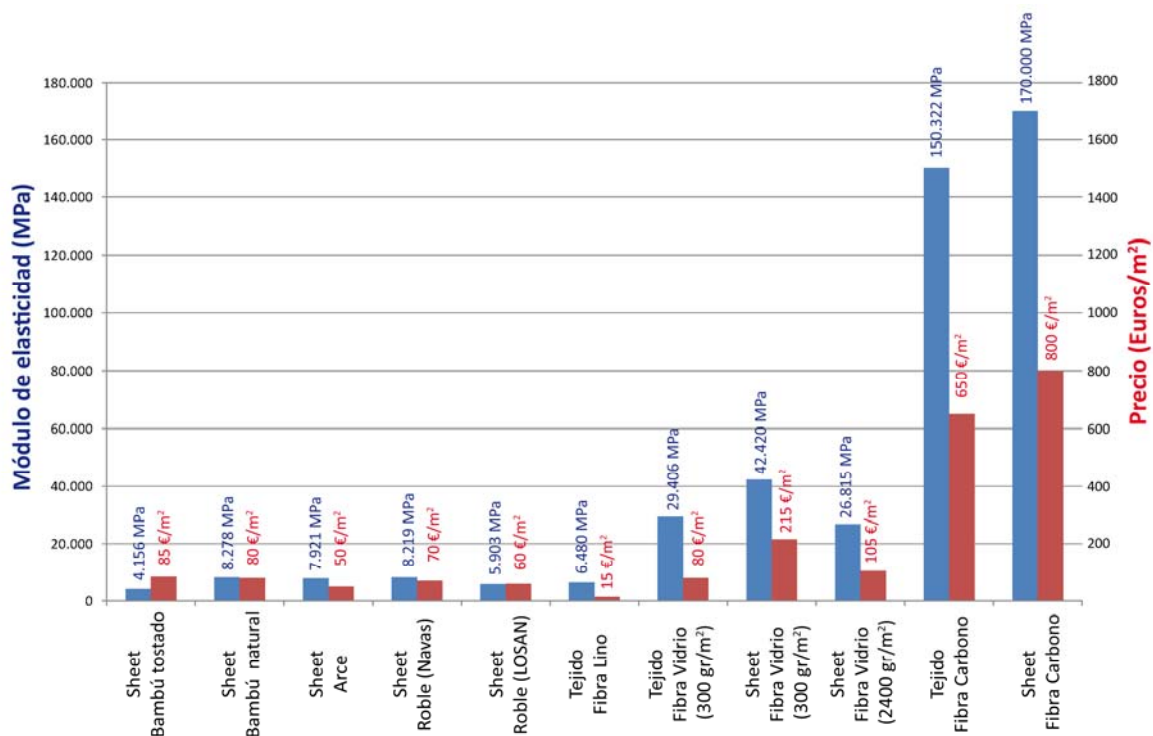


Fig. 2 Comparación entre módulo de elasticidad y precio de las distintas fibras ensayadas.

De todos los materiales estudiados se eligieron 3 tipos para la fabricación de un primer lote de vigas dúo: FIDFLAX UNI 300 HS 50 (fibra natural de lino), FIDGLASS UNI 300 HT 73 (fibra de vidrio) y SIKAWRAP-203 C/45 (fibra de carbono). Se fabricaron 100 unidades de cada series de vigas reforzadas escala 1:25 (40x60x1200 mm), y se sometieron a ensayos de flexión de cuatro puntos, según UNE EN-408 (2011). Los resultados obtenidos mostraron las mejoras producidas por los distintos refuerzos utilizados (Basterra et al 2012). De esta primera fase se obtuvo como conclusión parcial que la mejor relación mejora mecánica/precio en los ensayos de flexión se alcanzaron con los refuerzos de fibra de vidrio.

Estos ensayos iniciales sirvieron, además, para evidenciar los problemas de estabilidad que generan los refuerzos en tejidos introducidos en la línea de encolado y la necesidad de utilizar refuerzos rígidos para mantener las fibras en su correcta posición.

2.4. Fabricación y ensayo de GFRP bandas rígidas

Se fabricaron, mediante técnicas de infusión por vacío, bandas rígidas de GFRP de fibra de vidrio unidireccional E-glass, con gramajes de 1200 g/m² y 2400 g/m², embebida en resina de poliéster isoftálica insaturado. De estas bandas rígidas se obtuvieron por corte con chorro de agua a alta presión controlado numéricamente varios lotes de probetas y se ensayaron a tracción hasta rotura (figura 3), según ISO 527-5 (2010) 20 unidades de cada gramaje, para obtener su módulo de elasticidad y tensión última de rotura (Tabla 4). Los ensayos se realizaron en una máquina de ensayos a tracción INSTRON Modelo MEN-102/100 con una célula de carga de 1000 kN, y mordazas acunadas con cierre neumático. La deformación de las probetas durante el ensayo se miden con un extensómetro de pinza Marca IBERTEST Mod. IB-MFA 2, con distancia inicial (L₀) 50 mm y recorrido máximo de medida (ΔL_{max}) de 2 mm.



Fig. 3 Ensayo a tracción acorde con ISO 527-5 de las bandas rígidas GFRP.

Tabla 4. Dimensiones y propiedades mecánicas de las bandas rígidas GFRP.

Tipo de composite	Sección (mm)	Modulo de Young (GPa)	Tensión última (MPa)
GFRP 1200 g/m ²	2.1 x 15	21.6 (4.4*)	455 (6.3*)
GFRP 2400 g/m ²	3.4 x 15	26.8 (8.4*)	570 (7.2*)

* COV% entre paréntesis.

También se estudiaron distintos tipos de acabado superficial para mejorar la adherencia de las bandas rígidas GFRP, siendo la abrasión superficial mediante granalla cerámica tipo B-60 con diámetro de micro esferas cerámicas comprendido entre 0.125 – 0.250 mm la que presentó mejores resultados.

2.3. Selección y caracterización de adhesivos

Se realizaron ensayos previos con diferentes tipos de resinas epoxi con el fin de comprobar las propiedades mecánicas y su compatibilidad con las especies de madera y las bandas rígidas GFRP seleccionadas. Se ensayaron, según UNE-EN 56543 (1988), una selección de adhesivos epoxi (tabla 5) de varias marcas comerciales, siendo la resina epoxi Sikadur 30 la que presentó mejores resultados, y compatibilidad, con los refuerzos GFRP y especies de madera utilizadas. Esta resina epoxi incorpora en su composición cargas seleccionadas que permiten aumentar los espesores de la línea de encolado sin debilitar la unión.

Tabla 5. Adhesivos epoxi ensayados.

Spabond	Sika	Mapei
Spabond 340LV	Sikadur 30	Mapewood Primer 100
	Sikadur 330	Mapewood Gel 120
	Sikadur 31CF	Paste 140

3. Resultados y discusión

3.1. Ensayos de vigas dúo de tablero de fibras (MDF) (escala 1:25)

Con el objetivo de eliminar la variabilidad en los ensayos debida a la heterogeneidad de la madera, y así poder observar con exactitud el comportamiento del refuerzo GFRP en la sección, previamente al ensayo con maderas de *populus* y *pinaster*, se fabricaron 60 vigas tipo dúo de dimensiones (19+19) x 60 x 1200 mm, con tablero de fibras de densidad media "MDF FIBRALAC", de la marca FINSA (tabla 6). Los ensayos se realizaron a flexión según norma UNE-EN 408 (2011) hasta rotura en maquina universal de ensayos IBERTEST modelo ELIB-100W con una célula de carga de 100 kN. Se mide un tramo elástico inicial hasta 1.5 kN con extensómetro LVDT marca HBM WA_20 (figura 4). Superado este escalón de carga se retira el extensómetro y se continúa con el ensayo hasta rotura.

Tabla 6. Lotes de vigas dúo MDF ensayadas.

serie	n	Especie	Sección	tipo
1	20	MDF FIBRALAC	38x60x1200 mm	Sin refuerzo
2	20	MDF FIBRALAC	38x60x1200 mm	GFRP 300 g/m ²
3	20	MDF FIBRALAC	38x60x1200 mm	GFRP 600 g/m ²



Fig. 4 Ensayo de vigas dúo MDF de acuerdo a UNE EN-408.

Los ensayos muestran diferencias significativas entre los resultados obtenidos en los 3 grupos, alcanzándose mejoras en los módulos de elasticidad (MOE) de las secciones reforzadas entre el 26 y 38 % respecto a la sección sin reforzar (figura 5). No se detectan fallos en la línea de encolado ni daños internos por deslizamiento de fibras en las bandas rígidas GFRP.

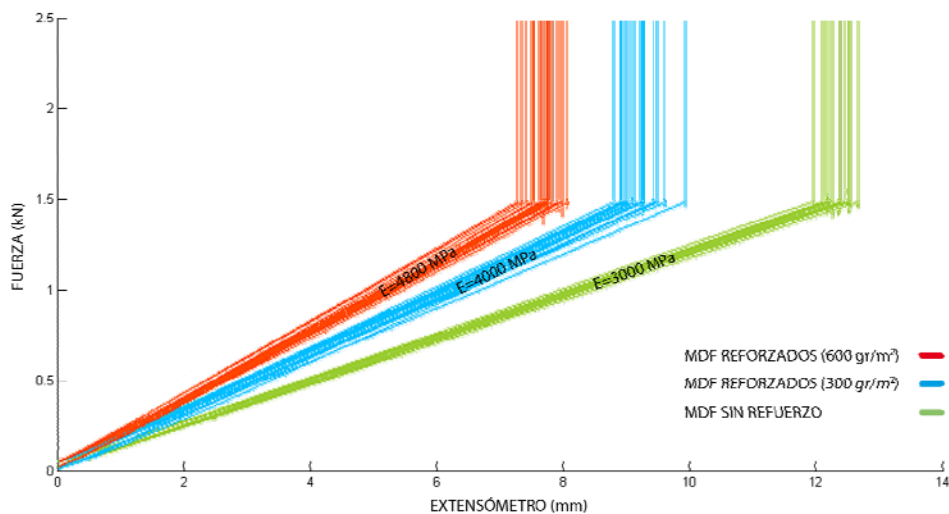


Fig. 5 Gráfico fuerza-deformación de las vigas dúo MDF de acuerdo a UNE EN-408.

3.2. Ensayos de vigas dúo de *Populus x euramericana* y *P. pinaster* beams (escala 1:2)

A la vista de estos resultados parciales obtenidos se fabrican 90 vigas dúo de chopo y 90 vigas dúo de pinaster reforzadas con bandas rígidas GFRP de distintos gramajes (tabla 7). La fabricación se realiza en taller carpintero bajo condiciones climáticas sensiblemente estables, empleando resina epoxi Sikadur 30 a temperatura controlada (10°C) y respetando estrictamente los tiempos de trabajo (<45 minutos) y curado (72 horas). Los trabajos de encolado de las vigas dúo se realizan en un tiempo máximo de 48 horas desde el mecanizado (regruessado y cajead) de los tablonos. Sobre las bandas rígidas GFRP se realiza un trabajo de mejora superficial mediante granallado con micro esferas cerámicas (\varnothing 0.125 -0.250 mm), realizándose una limpieza previa al encolado con acetona industrial.

Tabla 7. Lotes de vigas dúo populus y pinaster ensayadas

serie	n	Especie	Sección (mm)	tipo
4	30	<i>Populus x euroamericana</i> I-214	80x140x2500 mm	Sin refuerzo
5	30	<i>Populus x euroamericana</i> I-214	80x140x2500 mm	GFRP 1200 g/m ²
6	30	<i>Populus x euroamericana</i> I-214	80x140x2500 mm	GFRP 2400 g/m ²
7	30	<i>Pinus pinaster</i> Ait	80x140x2500 mm	Sin refuerzo
8	30	<i>Pinus pinaster</i> Ait	80x140x2500 mm	GFRP 1200 g/m ²
9	30	<i>Pinus pinaster</i> Ait	80x140x2500 mm	GFRP 2400 g/m ²

Las vigas dúo se ensayaron a flexión, según norma UNE-EN 408 (2011) (Figura 6) y se analizaron las mejoras debidas a la introducción de los refuerzos GFRP en los módulos de elasticidad (MOE), fuerza última de rotura (MOR) y mejora en la dispersión de resultados. También se analizaron los modos de rotura de cada viga individualmente.



Fig. 6 Ensayo de vigas dúo de acuerdo a UNE EN-408.

Los resultados de estos ensayos en las vigas de *Populus* reforzadas se muestran en la figura 7 apreciándose una mejora significativa con incrementos en los módulos de elasticidad de entorno al 10% para los refuerzos GFRP de 1200 gr/m² y de entorno al 15% para los refuerzos GFRP de 2400 gr/m².

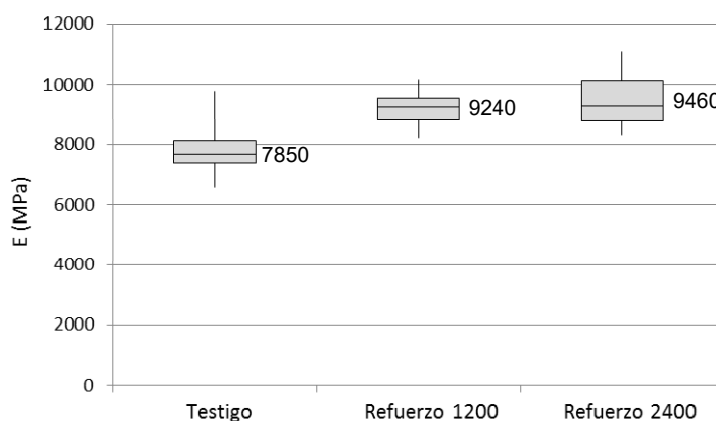


Fig. 7 Gráfico de caja y bigotes con los módulos de elasticidad de las vigas dúo de chopo.

En el momento actual se dispone únicamente de los análisis de datos previos de las vigas dúo de chopo, estando programado el ensayo a flexión de las vigas de *Pinaster* para fechas próximas.

3.3. Ensayos de fluencia (Creep test)

Para estudiar el comportamiento a largo plazo de las vigas dúo reforzadas, en relación con las vigas de control, sin refuerzo, se ha preparado un ensayo de larga duración, de acuerdo a la norma UNE-EN 380 (1998), con una carga total de 10 kN que representa aproximadamente el 50% de la fuerza de rotura de las piezas. Las condiciones ambientales del laboratorio se mantienen sensiblemente constantes, 20±2°C y 65±5% humedad en aire, que se corresponde con un equilibrio higroscópico del 12% HR en la madera (Kollman 1959).

La carga se aplica mediante la colocación y llenado de sendos depósitos (figura 8), de pared simple de polietileno (PE), con una capacidad útil de 1000 litros y dimensiones aproximadas de

1650x720x1260 mm, con bocas de llenado superiores y dispositivo de vaciado inferior, con llave de cierre. El apoyo de los depósitos sobre las vigas se realiza con una plataforma resistente intermedia, que permite aplicar la carga en las vigas sobre dos puntos, siguiendo las distancias de apoyo propuestas por la norma UNE-EN 408 (2011).

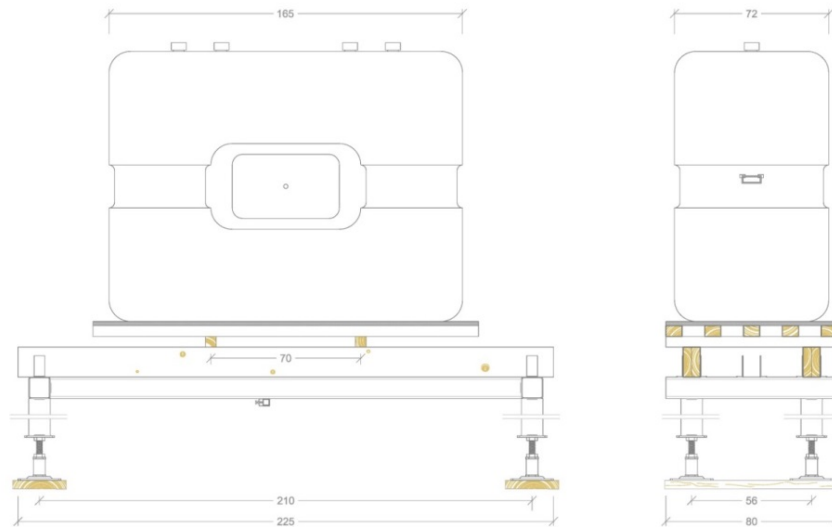


Fig. 8 Configuración del ensayo de fluencia.

Para la monitorización de las deformaciones se empleó un sistema de adquisición de datos HBM, mod. QuantumX-MX840B, y extensómetros inductivos (LVDT) HBM, modelo LVDT WA_100, de gran precisión (0,01mm). El modelo utilizado tiene un rango de medida de hasta 100 mm, presentando una gran estabilidad (<0,1%) frente a los cambios de temperatura y humedad. Adicionalmente al equipo anterior, se utilizó otro sistema de adquisición de datos en paralelo, marca HBM, mod. CanHead CB1010, equipado con bandas extensométricas HBM, modelo LY41-10/120, de acero ferrítico con longitud de rejilla 10 mm y resistencia 120Ω, conectadas a cuarto de puente con banda de compensación (figura 9).



Fig. 9 Monitorización y puesta en carga de los ensayos de fluencia.

La puesta en carga de las vigas se realizó en varias fases o escalones de carga, con el fin de registrar el comportamiento progresivo de la estructura, permitir su estabilización, y comprobar el correcto reparto de cargas y deformación sobre cada una de las piezas. De acuerdo con las directrices marcadas por la UNE-EN 380 (1998) para ensayos a largo plazo (procedimiento 3), se elaboró un procedimiento de carga, en magnitud y tiempo que se muestra en la figura 10.

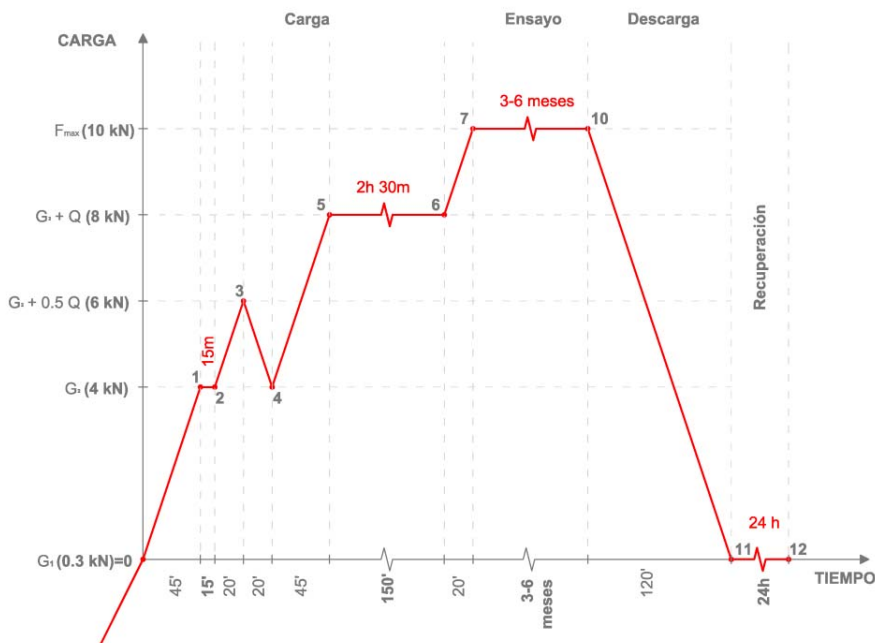


Fig. 10 Protocolo de carga del ensayo de fluencia de acuerdo a UNE-EN 380.

Para conocer con precisión el volumen de agua introducido en el depósito en cada fase de carga se utilizó un contador volumétrico de pistón rotativo Zenner, modelo RNK-L-RP-N, con una precisión de medida de 0,02 litros. La velocidad del caudal de agua durante el llenado de los depósitos fue de 0,24 l/seg. Las deformaciones de las vigas fueron monitorizadas durante todo el plazo del ensayo (6 meses) y, una vez descargadas por completo, se continuó con la monitorización del durante 24 h, en una última fase de recuperación, con el fin de conocer la deformación permanente adquirida por las vigas, tras la descarga. Estos ensayos se mantienen aún activos para las vigas dúo de chopo.

4. Conclusiones

Fibras de refuerzo

Los análisis previos sobre distintos materiales de refuerzo muestran que, para el caso concreto estudiado, las fibras naturales no presentan unas propiedades mecánicas adecuadas. Entre las fibras sintéticas de refuerzo (FRP) de alto módulo ensayadas, los refuerzos FRP con mejor relación prestaciones/precio de los ensayados en esta investigación son los refuerzos rígidos de fibra de vidrio (GFRP).

Adhesivos

De todos los adhesivos epoxi ensayados, el adhesivo con mayor compatibilidad para los refuerzos GFRP y especies de madera utilizadas es la resina epoxi Sikadur-30.

Vigas dúo reforzadas

Los ensayos con testigos dúo, a partir de tablero DMF, demuestran que la incorporación de refuerzos GFRP en la disposición empleada mejora de forma significativa las propiedades de resistencia y rigidez de las vigas, alcanzándose en el caso de las vigas dúo MDF mejoras de entre un 26-38% en la rigidez con cuantías de refuerzo del 1.05 al 1.1 de la sección.

Las vigas dúo reforzadas de *Populus* con GFRP en cuantías del 1.06 al 1.1, se mejoran significativamente sus propiedades mecánicas de resistencia y rigidez (10-15%), equiparándose sus propiedades a las de maderas de Clase Resistentes C24 con costes comercialmente competitivos.

Además de mejorar directamente la rigidez de las vigas, la incorporación de refuerzos GFRP disminuye la variabilidad en las propiedades mecánicas de las vigas, reduciendo la incidencia de los nudos e irregularidades de la madera, e incrementando de este modo los valores característicos de resistencia y rigidez.

Se espera que en las vigas dúo reforzadas de *Pinaster* con GFRP, se alcancen mejoras de rigidez y resistencia semejantes a las recogidas para las vigas dúo de *Populus*.

Comportamiento a largo plazo (Creep)

Los datos recogidos hasta el momento en los ensayos de larga duración a fluencia, no muestran aparentemente mejoras significativas en el comportamiento reológico de las vigas dúo ante la incorporación de refuerzos GFRP en las cuantías anteriormente expuestas. No obstante estas afirmaciones deberán ser contrastadas a la finalización de los ensayos en curso.

5. Referencias

Bakis CE, Bank LC, Brown VL, Cosenza E, Davalos JL, Lesko JJ, Machida A, Rizkalla SH, Triantafillou TC, (2002) Fiber-Reinforced polymer composites for construction - State of the art review. *J. Compos. Constr.* 6-2 (73): 73–87.

Parvez A (2004) The reinforcement of timber for structural applications and repair. Dissertation, University of Bath.

Theakston FH (1965) A feasibility study for strengthening timber beams with fiberglass. *Can. Agric. Eng.* January: 17–19.

Bulleit WM (1984) Reinforcement of wood: A review, *Wood Fiber Sci.* 16 (3): 391–397.

Schober KU, Harte AM, Kliger R, Jockwer R, Xu Q, Chen JF (2015) FRP reinforcement of timber structures, *Constr. Build. Mater.* 97: 106–118.

Martin ZA, Tingley DA, (2000) Fire resistance of FRP reinforced glulam beams. Paper presented at the Proc. World Conf. Timber Eng., Whistler, Canada, 2000.

ASTM D2256-02 (2002) 'Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by the Single-Strand Method'.

Basterra Otero LA, Acuña L, Casado M, López G, Bueno A. (2012) Strength testing of Poplar duo beams, *Populus x euramericana* (Dode) Guinier cv. I-214, with fiber reinforcement. *Constr. Build. Mater.* 36: 90–96.

UNE-EN 56543 (1988) Physical and mechanical properties of wood. Determination of shear stress.

ISO 527-5 (2010) Plastics - Determination of tensile properties - Part 5: Test conditions for unidirectional fiber-reinforced plastic composites.

UNE-EN 408 (2011) Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties.

UNE-EN 380 (1998) Timber structures. Test methods – General principles for static load testing.

Kollman F (1959) *Tecnología de la madera y sus aplicaciones* (tomo 1). 2ª Edición. IFIE, Madrid.

6. Agradecimientos

Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España; subprograma de Proyectos de Investigación Fundamental No Orientada, 2013-2015 (BIA 2012-31233). Los autores también quieren agradecer la colaboración de la empresa SIKA.