

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
uideus
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*

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.

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.



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.

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

INVESTIGACIÓN SOBRE MORTEROS ESTRUCTURALES ECO-EFICIENTES

González-Kunz, Rocío N.⁽¹⁾; Pineda, Paloma⁽²⁾; Morillas, Leandro⁽³⁾; Brás, Ana⁽⁴⁾

- (1) Doctoranda del Programa de Doctorado en Arquitectura (Línea Estructuras en la Edificación y en la Obra Civil), Universidad de Sevilla. E-mail: rocgonkun@alum.us.es
- (2) Departamento de Estructuras de Edificación e Ingeniería del terreno, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Sevilla. España.
- (3) Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Ingeniería del terreno, Mecánica de medios continuos y Teoría de estructuras, Universidad de Valladolid, España
- (4) Departamento de Construcciones Medioambientales, Universidad John Moores Liverpool, UK.

Resumen: La investigación pretende encontrar morteros eco-eficientes con capacidades mecánicas suficientes para ser usados en refuerzos estructurales y que den resultados aceptables desde un punto de vista mecánico, económico y medioambiental. Tras realizar una exhaustiva revisión bibliográfica, se analizan las propiedades mecánicas, el comportamiento reológico, tiempo de fraguado, durabilidad e impacto medioambiental (GWP y EE), lo que permite realizar una comparativa cualitativa entre los resultados obtenidos y el mortero de cemento Portland de referencia. La investigación se completa con ensayos mecánicos realizados a morteros de cemento con sustitutivos de cenizas de biomasa vegetal obtenidas de plantas de producción de energía, las cuales han sido previamente caracterizadas. Con el desarrollo de la investigación se espera demostrar la viabilidad del uso de cenizas de biomasa vegetal como sustitutivo parcial del cemento con valores de resistencias suficientes, analizando el desempeño de estos morteros eco-eficientes desde la seguridad estructural, bajo cargas estáticas y dinámicas, acompañado del análisis de beneficios medioambientales para la reducción de las emisiones de CO₂. Como objetivo final, se espera concluir con la elaboración de un protocolo de selección de dichos morteros eco-eficientes empleando el método de jerarquías analíticas (AHP).

Palabras Clave: Mortero estructural, Eco-eficiente, Cenizas de biomasa.

1. Introducción

La investigación parte de la necesidad de obtener morteros eco-eficientes con determinadas capacidades físicas y mecánicas que nos permitan su uso en refuerzo, rehabilitación y consolidación de estructuras, garantizando la seguridad de la construcción y la preservación del medioambiente.

Ante esta premisa es necesario aclarar la definición del material al que nos referimos. Llamamos mortero estructural eco-eficiente a aquella mezcla formada por un conglomerante, árido, agua y adiciones que contribuya con la disminución de la contaminación del medioambiente o que no colabore con ella, y que a su vez, posee resistencia mecánica y física suficiente para ser utilizado como material de soporte estructural.

Dado los componentes de esta mezcla, es lógico pensar que los únicos factores que pueden variar para garantizar un mayor o menor grado de eco-eficiencia son el conglomerante y las adiciones usadas. En el caso de los conglomerantes, es sabido que el cemento, muy utilizado en la arquitectura contemporánea, contribuye en gran medida a la contaminación ambiental y al cambio climático debido a las altas emisiones de CO₂ que se producen en su proceso de generación y la gran cantidad de energía necesaria para este mismo proceso.

Por tanto, a partir de estos resultados obtenidos, la investigación extendió su significado de mortero estructural eco-eficiente a aquellos en los que el porcentaje de cemento utilizado sea el mínimo para asegurar una resistencia mecánica suficiente para su uso estructural y seguridad de la construcción.

En relación a las adiciones utilizadas, con ellas también era posible disminuir el carácter contaminante del mortero de dos formas, la primera, reduciendo la cantidad de cemento utilizado en la mezcla y, la segunda, contribuyendo al medioambiente en sí mismas. Un ejemplo de esto serían materiales orgánicos o inorgánicos eliminados de vertederos o que no llegan a inmovilizarse en ellos como cenizas o polvo de minerales, entre otros.

En este sentido, los objetivos buscados con la tesis basada en la viabilidad del uso de cenizas de biomasa vegetal como sustitutivo parcial del cemento son: (i) analizar el desempeño de los morteros eco-eficientes desde la seguridad estructural, (ii) analizar los beneficios medioambientales y (iii) el desarrollo de un protocolo de selección considerando las condiciones medioambientales y estructurales estudiadas.

2. Morteros estructurales eco-eficientes

Morteros eco-eficientes son aquellos en los que el cemento Portland es sustituido total o parcialmente. Para el inicio de la investigación, se comienza con una revisión bibliográfica para conocer el estado actual del desarrollo del conocimiento. Como resultado de dicha revisión se desarrolla el artículo presentado al Congreso Internacional de Construcciones Sostenibles y Soluciones Eco-eficientes, denominado *The use of structural eco-efficient mortars. A critical review from a SWOT analysis* (González-Kunz, Pineda, Brás, & Morillas, 2017). En éste se deja constancia de los datos obtenidos acerca de los morteros con sustitución total o parcial del cemento por materiales orgánico e inorgánicos, mostrando las diferentes respuestas dadas por las mezclas y, según las conclusiones obtenidas, los próximos pasos de la investigación a desarrollar.

2.1. Determinación de los morteros estructurales eco-eficientes de estudio

Para un mejor entendimiento, estas sustituciones se dividen en orgánicas e inorgánicas. Ejemplo de las primeras tenemos las ceniza de cáscara de arroz, ceniza de aceite de palma o ceniza de cáscara de bagazo de azúcar, y como ejemplo de materiales inorgánicos se considera las cenizas volantes procedentes de la combustión del carbón, las escorias granuladas de altos hornos o el polvo de caliza.

Analizando los sustitutivos obtenidos de la revisión bibliográfica se considera que el uso de materiales orgánicos contribuiría en mayor medida a la conservación del medioambiente, ya que se evita la contaminación del suelo por su inmovilización en éste y porque es considerada nuestra responsabilidad el fomentar la reutilización de cenizas vegetales obtenidas por la generación de energía por combustión y co-generación de biomasa vegetal.

Para comprobar la viabilidad inicial del uso de cenizas de biomasa vegetal como sustitutivo del cemento para morteros estructurales se realiza un análisis DAFO de los datos obtenidos de la revisión bibliográfica. Como resultados principales se puede destacar lo mostrado a continuación en las Tablas 1-3, fragmento de la investigación realizada:

1. Mortero de cemento con ceniza de cáscara de arroz: la alta producción de cenizas de arroz, al igual que las buenas propiedades que confieren al mortero, hacen de este residuo un valioso material para la mejora de la sostenibilidad.

Tabla 1 DAFO del mortero de cemento y ceniza de cáscara de arroz (González-Kunz, Pineda, Brás, & Morillas, 2017)

DEBILIDADES - Empeoramiento del tiempo de reacción	FORTALEZAS - Alta actividad puzolánica. - Resistencia a compresión suficiente para ser usado como material estructural
AMENAZAS - Problemática en el depósito y transporte de la ceniza de cáscara de arroz debido a su baja densidad.	OPORTUNIDADES - Procede de uno de los productos más consumidos en el mundo

2. Mortero de cemento y ceniza de aceite de palma: es importante destacar el beneficio aportado por este residuo a dicho mortero, al igual que su alta producción.

Tabla 2 DAFO del mortero de cemento y ceniza de aceite de palma (González-Kunz, Pineda, Brás, & Morillas, 2017)

DEBILIDADES - La ceniza de palma produce un detrimento de la fluidez del mortero	FORTALEZAS - Alta resistencia a compresión para valores del 10% sustituido
AMENAZAS - Inexistencia de mecanismos de aprovechamiento del creciente uso del aceite de palma.	OPORTUNIDADES - Anualmente aumenta la producción del aceite de palma

3. Mortero de cemento y ceniza de bagazo de caña de azúcar: este mortero proporciona los mejores valores de resistencia a compresión.

Tabla 3 DAFO del mortero de cemento y ceniza de bagazo de caña de azúcar (González-Kunz, Pineda, Brás, & Morillas, 2017)

DEBILIDADES	FORTALEZAS
- La alta porosidad aumenta la demanda de agua del mortero y, como consecuencia empeora su trabajabilidad y fluidez	- La resistencia a compresión aumenta proporcionalmente con la cantidad de residuo sustituido entre cierto valores
AMENAZAS	OPORTUNIDADES
- Carencia de sistema de gestión de estos residuos.	- El etanol obtenido del azúcar de caña es reconocido el principal bio-combustible del mercado, hecho que aumenta la producción de esta ceniza.

Por otro lado, en calidad de resumen y para dejar constancia de la investigación realizada se destacan las propiedades mecánicas de morteros de cemento con sustitución parcial por materiales inorgánicos:

1. Mortero de cemento con sustitutivo de cenizas volantes: este mortero puede alcanzar alrededor de los 37 MPa de resistencia a compresión a los 28 días, utilizando mezclas con una relación a/c 0,30 y siendo sustituido el 52% del mismo (Berry, Hemmings, & Cornelius, 1990).
2. Mortero de cemento con sustitutivo de escorias granuladas de altos hornos: Barnett et al. (Barnett, Soutsos, Millard, & Bungey, 2006) exponen que con una sustitución del 35% del cemento por escorias granuladas de altos hornos a 20° de temperatura es posible alcanzar a los 8 días 24 MPa de resistencia a compresión.
3. Mortero de cemento con sustitutivo de polvo de caliza: el mortero formado con una sustitución del 10% del cemento por polvo de caliza permite alcanzar alrededor de 55,5 MPa de resistencia a compresión (Benn, Baweja, & Mills, 2014).

Por tanto, como conclusión a esta primera parte de la investigación basada en la revisión bibliográfica y el análisis DAFO de morteros estructurales eco-eficientes, se demuestra la posibilidad de usar sustituciones orgánicas en morteros de cemento que garanticen tanto la seguridad de la construcción como la preservación del medioambiente.

2.2. Viabilidad de morteros estructurales eco-eficientes con sustitución de cenizas de biomasa vegetal

Una vez decidido centrar la investigación en aquellos morteros formados por la sustitución de cemento por cenizas de biomasa vegetal obtenidas de la generación de energía por combustión o co-generación, se estudia la viabilidad de estas mezclas como morteros estructurales. Para ello se realiza una revisión bibliográfica exhaustiva centrada en las propiedades mecánicas de estos, su comportamiento reológico, tiempo de fraguado, durabilidad e impacto medioambiental (GWP y EE).

De esta revisión bibliográfica se obtienen para estudio doce cenizas de biomasa vegetal analizadas en investigaciones actuales para el uso en morteros estructurales. Estas cenizas de biomasa vegetal son las obtenidas de la combustión de la cáscara de arroz (RHA), del aceite de palma (POFA), del bagazo de la cáscara de la caña de azúcar (SCBA), del residuo de madera (WWA), de la hoja de bambú (BLA), de la mazorca de maíz (CCA), de los residuos del olivo (OBFA), del agave (ABA), del residuo del corcho (CWA), del trigo (WSA), del residuo de la industria del papel (WPSA) y de la semilla del coco (CSA).

El desarrollo de esta parte de la investigación fue recogido en el artículo llamado *Plant biomass ashes in cement-based building materials. Feasibility as eco-efficient structural mortars and grouts* (González-Kunz R. , Pineda, Bras, & Morillas, 2017) publicado en la revista *Sustainable Cities and Society* en 2017. En él también se aporta una comparativa cualitativa entre estos morteros eco-eficientes y el mortero de cemento Portland de referencia, además de los vacíos de conocimiento detectados en cada área y mezcla.

Para el estudio de la viabilidad del uso de cenizas de biomasa vegetal se considera también la descripción general del residuo de procedencia atendiendo al modo y potencial de obtención de la ceniza, otros usos dados o detalles particulares de cada una de ellas. Por ejemplo, un dato a destacar es la sobresaliente producción de arroz en el mundo, alrededor de 740,20 millones de toneladas de arroz fueron producidas en 2015 (Seguimiento del mercado del arroz de la FAO, 2015) al igual que la evidencia del uso en la actualidad de la cáscara de arroz como combustible para la obtención de energía en países subdesarrollados (Hensley Duku, Gu, & Ben Hagan, 2011).

Entrando en el análisis de las propiedades físico-químicas de los morteros, se realiza una subdivisión en dos grupos fundamentales, el primero es el estudio de la actividad y potencial puzolánico, muy relacionado con la composición química de la ceniza y su reacción en contacto con el cemento, y la segunda son las propiedades mecánicas reflejadas en el uso y puesta en obra del mortero.

Es importante destacar que un material es considerado que tiene carácter puzolánico cuando su concentración química de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ es mayor o igual al 70% (American Society for Testing and Materials, 1994), además de que la relación CaO/SiO_2 debe siempre mantenerse mayor que 1 para mantener la basicidad del material (Nkinamubanzi, Baalbaki, & Bickley, 1998). En esta sentido es importante destacar el alto carácter puzolánico mostrado por la ceniza de bagazo de caña de azúcar con una proporción de 89,65% de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (Arif, Clark, & Lake, 2016) y 81,92% en el estudio de Martirena Hernández et al. (Martirena Hernández, Middendorf, Gehrke, & Budelmann, 1998).

Para la segunda parte del estudio se consideran las aportaciones de Wang et al. (2005) donde justifica que con altos valores de contenido en SiO_2 y Al_2O_3 se obtiene un alto grado de geopolimerización y por consecuencia, alta resistencia mecánica.

Los resultados obtenidos en relación a la resistencia a compresión mostrada por los morteros eco-eficientes estructurales estudiados en relación al mortero de cemento de referencia, es considerada una importante aportación a la investigación en curso. Esto es debido a que el enfoque planteado desde un principio es el uso de estos morteros para su uso en refuerzo, rehabilitación y consolidación de estructuras, garantizado la seguridad de la construcción y la preservación del medioambiente.

Estos resultados son mostrados en la **figura 1** tomada del artículo publicado donde es importante destacar que sólo cuatro de las mezclas analizadas aportan una mejora de la resistencia a compresión con respecto al mortero de cemento de referencia y éstas son las formadas por ceniza de aceite de palma (POFA), de bagazo de caña de azúcar (SCBA), de mazorca de maíz (CCA) y de residuos de la industria del papel (WPSA).

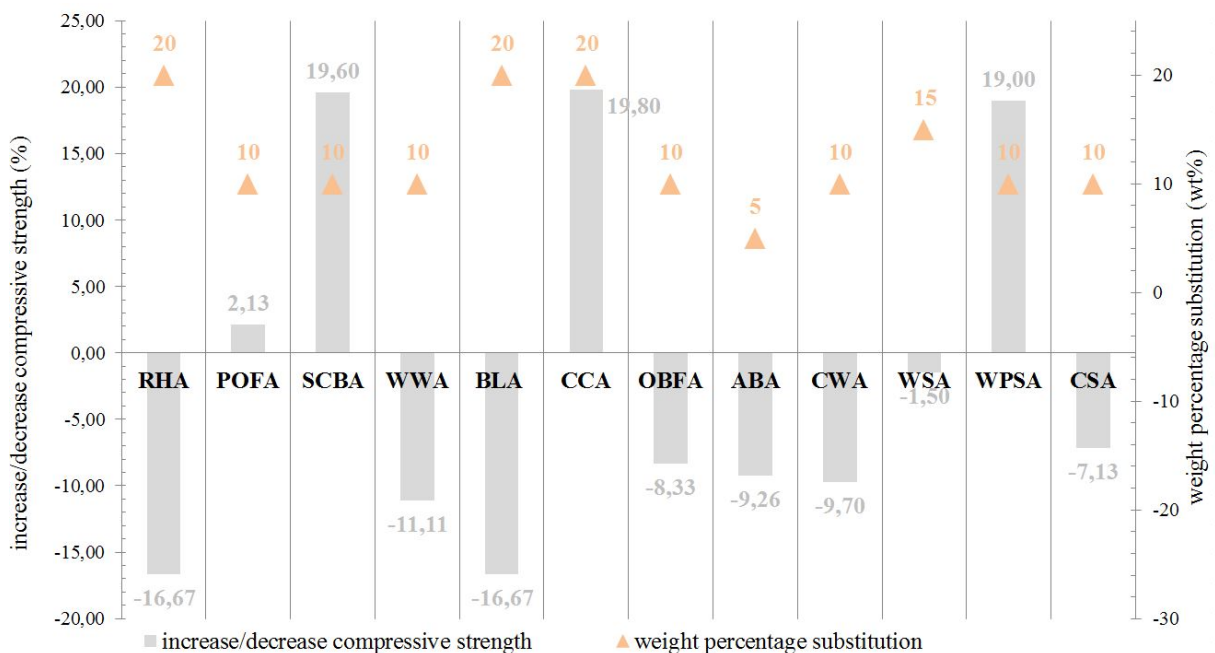


Figura 1 Resistencia a compresión de los morteros de cementos con sustitución por cenizas de biomasa vegetal a 28 días: porcentaje de incremento/decremento con respecto al cemento Portland de referencia.

Además de las propiedades mecánicas mostradas, la investigación explora datos del comportamiento reológico de los morteros eco-eficientes estudiados. Esto aportará una visión más completa sobre el uso de los mismos. Estos valores son obtenidos de la fluidez, la consistencia y trabajabilidad que presenten así como del análisis de las imágenes SEM obtenidas de cada una de las cenizas mediante la revisión bibliográfica. De este estudio se puede destacar que el mortero formado por sustitución de ceniza de residuos del olivo (OBFA) presenta una consistencia y trabajabilidad aceptable mientras que la mezcla donde es usada la ceniza de aceite de palma (POFA) muestra un comportamiento reológico potencialmente satisfactorio.

El tiempo de fraguado también es estudiado como un factor importante en la puesta en obra de la mezcla diferenciando entre tiempo de fraguado inicial y final. Con respecto al inicial, la mayoría de las

sustituciones estudiadas mejoran este tiempo en relación al ofrecido por el mortero de cemento de referencia, al igual que el tiempo de fraguado final, salvo la mezcla formada por sustitución de cenizas de cáscara de arroz.

En relación a la contracción durante el secado se obtienen sólo valores satisfactorios para las mezclas con cenizas de bagazo de caña de azúcar (SCBA) y cenizas de residuos procedente de la industria del papel (WPSA). En este dato también es importante señalar el vacío de conocimiento al respecto, ya que sólo son conocidos datos para los sustitutivos anteriores y la ceniza de aceite de palma (POFA).

En relación a la durabilidad del mortero, su estudio es importante para la investigación ya que, manteniendo la línea de la búsqueda de un mortero eco-eficiente y sostenible, éste debe proporcionar también muy baja necesidad de mantenimiento o renovación en el tiempo. En este sentido, la información encontrada es escasa. Para su búsqueda se subdividió en dos factores determinantes de la durabilidad del mortero, resistencia a la penetración de iones de cloruro y resistencia a sulfatos. Tras el análisis de los resultados se obtuvo que la mezcla que contiene cenizas de residuos de corcho empeoran la resistencia a la penetración de iones de cloruro en relación al mortero de cemento de referencia, la mezcla con cenizas de residuos de mazorca de maíz y de aceite de palma empeora la resistencia a sulfatos, y la mezcla que contiene cenizas de cáscara de arroz empeora el comportamiento en ambos casos.

Por otro lado, un factor esencial en la investigación de los morteros estructurales de ceniza de biomasa vegetal es su impacto medioambiental, valorado según su aportación de CO₂ al medio y la energía necesaria durante su producción. En este caso, este dato no fue tomado directamente de revisión bibliográfica, si no calculado. Es importante destacar que este cálculo se ciñó a las proporciones y condiciones de las mezclas estudiadas para obtención del resto de las propiedades descritas. En la **figura 2** puede verse el aporte al calentamiento global (Global Warming Potential (GWP)) de los morteros estructurales calculados, que a su vez, éste cálculo estuvo limitado a la información sobre los valores de GWP de las cenizas de biomasa vegetal estudiadas. En la **figura 3** se desarrollan los resultados obtenidos para el estudio del contenido energético(Embodied Energy (EE)) para los morteros estructurales donde ha sido posible hallar la información suficiente.

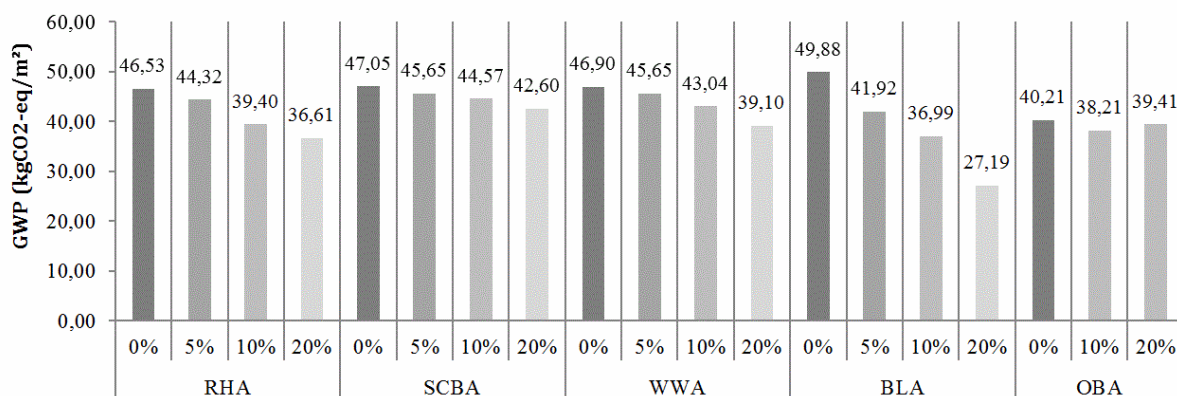


Figura 2 Global Warming Potencial de morteros de cemento formados por sustitución de cenizas de biomasa vegetal (kgCO₂-eq/m²) para diferentes porcentajes de sustitución (de 0 a 20%) (González-Kunz R. , Pineda, Bras, & Morillas, 2017)

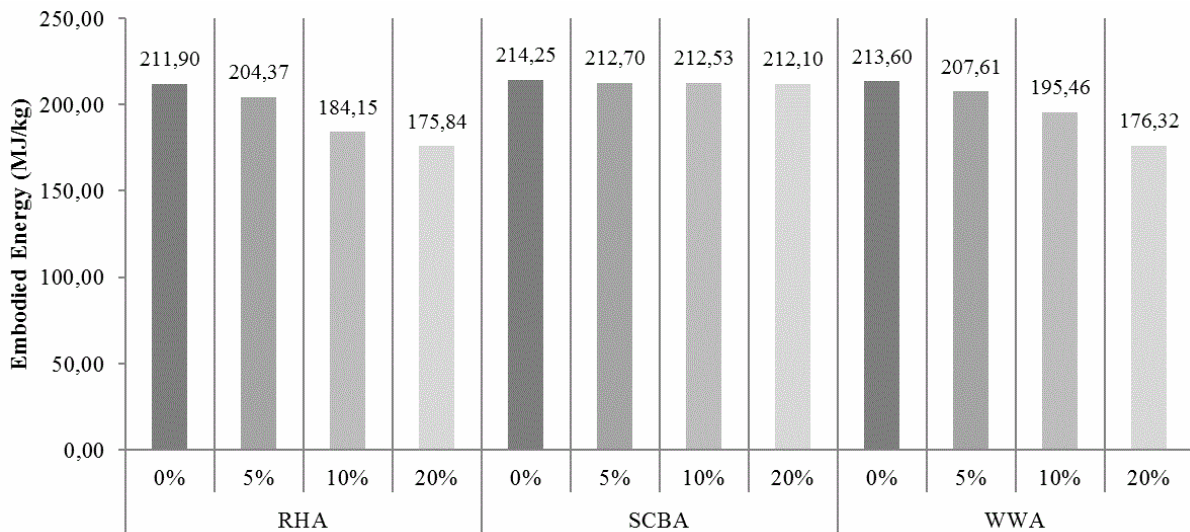


Figura 3 Embodied Energy de morteros de cemento formados por sustitución de cenizas de biomasa vegetal (MJ/kg) para diferentes porcentajes de sustitución (de 0 a 20%) (González-Kunz R. , Pineda, Bras, & Morillas, 2017)

Ante este análisis es importante destacar que todos los morteros estudiados disminuyen los valores presentados por el mortero de cemento de referencia ante la aportación de CO₂ al medio (GWP) siendo el mortero compuesto con sustitución de cenizas de hojas de bambú (BLA) el que exhibe los valores más bajos. En relación al contenido energético o energía gris (EE) el uso de cenizas de cáscara de arroz (RHA) y residuos de madera (WWA) disminuyen los valores presentados por el mortero de cemento mientras que el uso de cenizas de bagazo de azúcar (SCBA) lo aumenta. Como conclusión al estudio realizado se aporta la **figura 4** incluida en el artículo González-Kunz R. et al. (2017) como análisis cualitativo de los morteros estructurales estudiados en comparación con el comportamiento del mortero de cemento de referencia para las distintas propiedades físicas y mecánicas estudiadas. Los espacios sin color indican el vacío de conocimiento en la propiedad estudiada para dicha mezcla.

Physical-chemical properties	<i>Pozzolanic activity</i>	Green	Light Green	Green	Yellow	Green	Light Green	Yellow	Red	Orange	Light Green	Orange	Light Green
	<i>Compressive strength</i>	Orange	Light Green	Green	Yellow	Orange	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Yellow
Rheological behaviour	<i>Consistency, workability</i>			Yellow	Light Green	Yellow						Yellow	
	<i>SEM</i>	Yellow	Green	Yellow	Orange	Orange	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Orange	Yellow	Orange
Setting times	<i>Initial setting time</i>	Green		Green	Green	Green					Green	Yellow	Green
	<i>Final setting time</i>	Green		Green	Green	Green					Green	Yellow	Green
Drying shrinkage			Red	Green								Green	
Durability	<i>Chloride penetration</i>	Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Green						
	<i>Chloride diffusion coef.</i>	Red								Red			
	<i>Resistance chloride</i>	Green	Green	Green									
	<i>Sulfate resistance</i>	Green	Light Green				Green			Red			
Environmental features	<i>GWP</i>	Green		Green	Green	Green		Green	*				
	<i>EE</i>	Green		Light Green	Light Green								
		RHA	POFA	SCBA	WWA	BLA	CCA	OBFA	ABA	CWA	WSA	WPSA	CSA

COLOR CODE:

improvement/worsening with respect to OPC or qualitative mark

better



worse



neutral



* value from bottom ash

Figura 4 Principales características analizadas para morteros de cemento con sustitución de cenizas de biomasa vegetal desde un punto de vista cualitativo (González-Kunz R, Pineda, Bras, & Morillas, 2017)

2.3. Estudios químicos y mecánicos a morteros estructurales eco-eficiente con cenizas de biomasa locales

Tras los resultados obtenidos y la posibilidad de acceder a cuatro tipos de cenizas de biomasa vegetal procedentes de centrales de co-generación de energía, la investigación se centra en el ensayo de estos materiales con la intención de verificar los obtenidos de la revisión bibliográfica anterior. La procedencia de las cenizas es principalmente residuos de olivo, madera y poda.

Estos ensayos, tanto químicos como mecánicos, aportan una información de gran valor ya que permiten observar directamente las propiedades estudiadas de las cenizas y las reacciones de las mezclas y su influencia en los morteros de estudio.

Dentro de los ensayos realizados para la caracterización de las cenizas, se han considerado los siguientes:

- Análisis de dosificación: que nos permite conocer la distribución de los diferentes tamaños de las partículas.
- Picnómetro: con el que se dará la densidad real de las cenizas.
- Método BET bajo absorción de N₂: para conocer el área superficial de las partículas.
- Análisis gravimétrico térmico (TGA): con este ensayo conoceremos la presencia de sustancias orgánicas e inorgánicas, además de los mecanismos de degradación y patrones de descomposición de las dichas partículas.
- Análisis térmico diferencial (DTA): donde se analizan reacciones exotérmicas/ endotérmicas, cambios de fase y diagramas, cambio de entalpía y descomposición de las cenizas.
- Difracción de rayos X: para la caracterización de material cristalino e identificación de minerales de grano fino.
- Espectroscopía de fluorescencia de rayos X: con el que obtendremos la composición elemental y química; el análisis químico principal; los elementos traza; Identificación semi-cuantitativa

Los ensayos son realizados siguiendo la normativa vigente, siendo ésta también estudiada para ofrecer una comparación con las adiciones normalmente utilizadas.

Sin embargo, los avances más destacados en los últimos pasos de la investigación son los enfocados a los ensayos mecánicos realizados a morteros eco-eficientes y hormigones, con diferentes porcentajes en masa de sustitución del cemento por cenizas de biomasa vegetal.

En el caso de los ensayos a morteros, se realizan con muestras de 4x4x16cm según lo especificado por la norma Europea EN 196-1:2004 (European Committee for Standardization, 2005). En estas muestras, cemento Portland CEM I 42.5 R es sustituido con tres sustituciones en 5, 10 y 20% de masa. Esta elección es basada en la experiencia absorbida de investigaciones contemporáneas mediante la revisión bibliográfica comentada anteriormente. De cada una de estas muestras son preparadas tres probetas tal y como indica la normativa EN 1015-11:1999 de métodos de ensayo de morteros.

De las tres muestras obtenidas de cada mezcla, dos de ellas son testadas a 28 días y la tercera continúa la espera hasta el día 90, donde también es ensayada a flexión y compresión.

Las **figuras 5 y 6** muestran los resultados de resistencia a compresión, flexión y densidad de los ensayos realizados en relación al mortero de cemento de referencia. De forma general, dichas propiedades empeoran de forma proporcional al aumento de la cantidad de ceniza sustituida. Morteros con sustitución de la ceniza A02 (línea gris) y A03 (línea de color naranja) presentan valores en dicho estudio bajos y podrían no ser considerados materiales estructurales. Por lo tanto, de las cenizas restantes y teniendo en cuenta las conclusiones alcanzadas, se realizan muestras cilíndricas en moldes de 150x300mm de hormigón con sustitución del 5 y 10%. Los resultados de las pruebas de fluidez y resistencia a compresión a 28 días está en proceso. Estos ensayos han sido diseñados para caracterizar y consolidar el conocimiento del desempeño de las cenizas de biomasa locales.

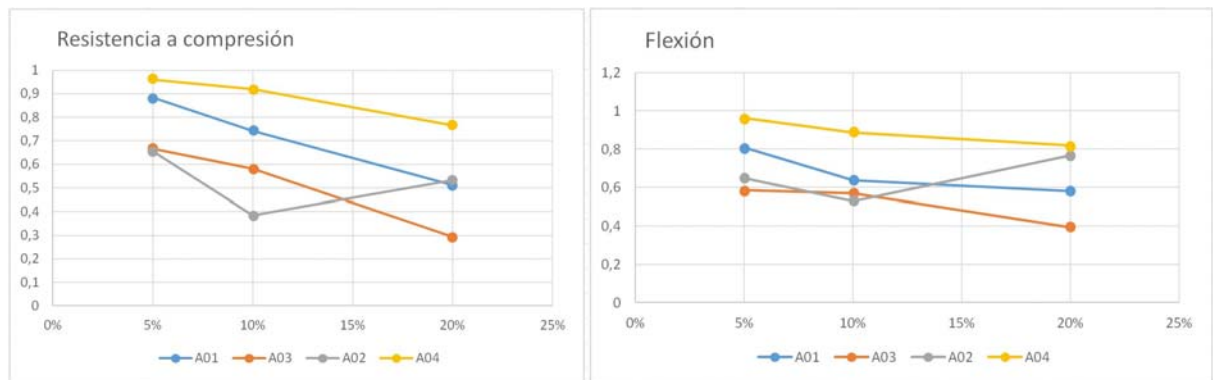


Figura 5 Primeros resultados obtenidos de los ensayos mecánicos en morteros estructurales eco-eficientes. Resistencia a compresión y flexión

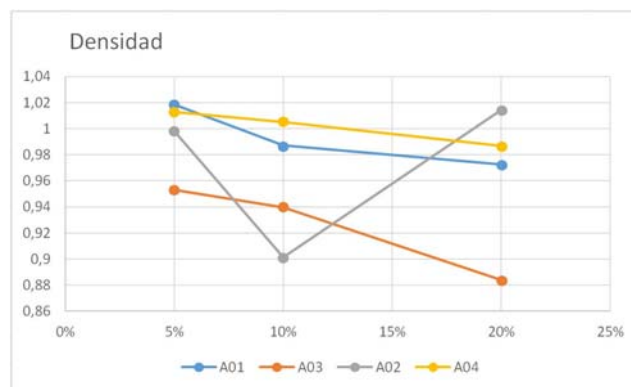


Figura 6 Primeros resultados obtenidos de los ensayos mecánicos en morteros estructurales eco-eficientes. Densidad

3. Conclusiones

La investigación realizada, ha dado lugar a diferentes artículos y comunicaciones en congreso que muestran los resultados y avances obtenidos. Éstos están enfocados en las propiedades mecánicas, el comportamiento reológico, tiempo de fraguado, durabilidad e impacto medioambiental (GWP y EE) de morteros estructurales eco-eficientes, lo que nos permite realizar una comparativa cualitativa entre los resultados obtenidos y el mortero de cemento Portland de referencia. La investigación se completa con ensayos mecánicos realizados a morteros de cemento con sustitutos de cenizas de biomasa vegetal obtenidas de plantas de producción de energía y de caracterización de éstas.

4. Referencias

- (Diciembre de 2015). *Seguimiento del mercado del arroz de la FAO*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- American Society for Testing and Materials. (1994). ASTM C618-94 Standard specification for fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in Portland cement concrete. En A. S. Materials, *Annual Book of ASTM Standards, 04.02*. Philadelphia.
- Arif, E., Clark, M. W., & Lake, N. (2016). Sugar cane bagasse ash from a high efficiency co-generation boiler: Applications in cement and mortar production. *Construction and Building Materials, 128*, 287-297.
- Barnett, S., Soutsos, M., Millard, S., & Bungey, J. (2006). Strength development of mortars containing ground granulated blast-furnace slag: Effect of curing temperature and determination of apparent activation energies. *Cement and Concrete Research, 36*, 434-440.

- Benn, B., Baweja, D., & Mills, J. (2014). 23rd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials. *The compressive strength of mortar made with cement containing limestone mineral addition, cement kiln dust and fly ash*. Southern Cross University: ePublications@SCU.
- Berry, E., Hemmings, R., & Cornelius, B. (1990). Mechanisms of Hydration Reactions in High Volume Fly Ash Pastes and Mortars. *Cement & Concrete Composites*(12), 253-261.
- European Committee for Standardization. (2005). EN 196-1. Methods of testing cement-Part 1: Determination of strength.
- González-Kunz, R., Pineda, P., Bras, A., & Morillas, L. (2017). Plant biomass ashes in cement-based building materials. Feasibility as eco-efficient structural mortars and grouts. *Sustainable Cities and Society*, 31, 151-172.
- González-Kunz, R., Pineda, P., Brás, A., & Morillas, L. (2017). The use of structural eco-efficient mortars. A critical review from a SWOT analysis. *PROCEEDINGS OF THE 3RD INTERNATIONAL CONGRESS ON SUSTAINABLE CONSTRUCTION AND ECO-EFFICIENT SOLUTIONS*, (pp. 965-986). Sevilla.
- Hensley Duku, M., Gu, S., & Ben Hagan, E. (2011). A comprehensive review of biomass resources and biofuels potential in Ghana. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 404-415.
- Martirena Hernández, J., Middendorf, B., Gehrke, M., & Budelmann, H. (1998). Use of wastes of the sugar industry as pozzolana in lime-pozzolana binders: study of the reaction. *Cement and Concrete Research*, 28(11), 1525-1536.
- Nkinamubanzi, P., Baalbaki, M., & Bickley, J. (1998). The use of slag for making high performance concrete. *Sixth NCB International Seminar on Cement and Building Materials*, (págs. 13-39). New Delhi.
- Pineda, P., Robador, M. D., & Perez-Rodriguez, J. L. (2013). Characterization and repair measures of the medieval building materials of a Hispanic–Islamic construction. *Construction and Building Materials*(41), 612-633.
- Wang, H., Li, H., & Yan, F. (2005). Synthesis and mechanical properties of metakaolinite-based geopolymer. *Colloids and Surfaces A*, 268, 1-6.