

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*

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.



LT 1

ARCHITECTURE
TECHNOLOGIES

LT 2

HOUSING, CITY
AND TERRITORY

LT 3

HERITAGE AND
REHABILITATION

LT 4

ANALYSIS AND
ADVANCED PROJECTS

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.



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

DESEMPEÑO ENERGÉTICO DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA DE EDIFICACIONES UNIVERSITARIAS CONSTRUIDAS EN BAHIA - BRASIL

Santana, Bruno ⁽¹⁾; Coch, Helena ⁽²⁾

(1) Architecture & Energy. School of Architecture of Barcelona UPC. bosantana@gmail.com.

(2) Architecture & Energy. School of Architecture of Barcelona UPC. helena.coch@upc.edu.

Resumen: El tema de la tesis doctoral es la eficiencia energética en edificaciones universitarias ubicadas en distintas ciudades de Brasil. Basado en la reciente expansión universitaria brasileña, fueron elegidos como objeto de estudio tres pabellones de aula implantados en distintas ciudades del interior de Bahia / Brasil (Barreiras, Cruz das Almas y Vitória da Conquista). En esas ciudades fueron construidos pabellones basado en un mismo proyecto arquitectónico. Ese trabajo académico evaluará el comportamiento energético de la envolvente térmica de las tres edificaciones y sus repercusiones en el desempeño térmico de esos ambientes. Los análisis energéticos hasta ahora realizados se basan en informaciones técnicas sobre los tres pabellones de aula, colectadas *in situ*, y en simulaciones computacionales. A partir de esos datos ya es posible apuntar algunos puntos débiles del desempeño térmico de cada edificación y principales directrices para una futura rehabilitación.

Palabras Clave: Eficiencia energética, Arquitectura escolar, Rehabilitación, Clima cálido.

1. Introducción

La investigación define como tema la eficiencia energética en edificaciones universitarias ubicadas en distintas ciudades de Brasil, todas caracterizadas por sus climas cálidos. Basado en la reciente expansión universitaria brasileña, fueron elegidos como objeto de estudio tres pabellones de aula implantados en ciudades del interior de Bahia / Brasil (Barreiras, Cruz das Almas y Vitória da Conquista), entre los años de 2006 y 2008, y en las cuales fue utilizado un mismo proyecto arquitectónico.

Su objetivo es analizar el comportamiento energético de la envolvente térmica de ese proyecto modelo en sus distintas implantaciones. Para eso, serán evaluados los siguientes aspectos: las estrategias bioclimáticas del diseño estándar, la implantación de cada edificación y el impacto térmico de los elementos constructivos de fachadas y cubierta en el ambiente interior.

Diversos autores dedicados a la eficiencia energética en edificaciones apuntan la arquitectura vernácula como fuente de ejemplos de estrategias de diseño pasivas adaptadas al clima (Olgay, 1963; Givoni, 1969; Serra y Coch, 1995; Lechner, 2000). Por otro lado, los sistemas de climatización de los ambientes están tan incorporados a las edificaciones y al modo de vida urbano del siglo XXI que el desafío de la eficiencia energética, en esos casos, es integrar soluciones pasivas con sistemas que consuman menos energía y que proporcionen las condiciones adecuadas al desarrollo de las actividades.

Se plantea como hipótesis que la utilización de un mismo proyecto, en climas distintos, perjudicará el comportamiento energético en alguna de sus implantaciones. Kowaltowski (2011) subraya que la adaptación del proyecto estándar a distintos emplazamientos, con sus respectivas topografías, orientaciones solares y direcciones de los vientos, es el principal problema enfrentado por ese tipo de construcción. Orce Schwarz et al. (2012) presentan un ejemplo de utilización de un proyecto arquitectónico para escuelas construido en sitios distintos de Argentina pero con sus debidas modificaciones. Fueron realizadas mediciones y simulaciones para guiar las modificaciones de las estrategias bioclimáticas del proyecto y la utilización de distintos materiales. Esta experiencia indica una estrategia de cómo construir edificaciones escolares basadas en un diseño modelo, pero adaptado a las condiciones climáticas de cada sitio de implantación.

En 2009 fue publicada en Brasil la normativa a cerca de la eficiencia energética, que establece etiquetas de consumo energético: desde "A" (más eficiente) hasta "E" (menos eficiente), considerando las ocho zonas climáticas del país. Se estima un ahorro energético de 30% para las edificaciones existentes que aplicaren la normativa y hasta 50% para las nuevas edificaciones (Melo et al. 2014).

En ese aspecto, algunas investigaciones se dedican a buscar soluciones para mejorar el comportamiento térmico de las envolventes térmicas de las edificaciones en Brasil: la utilización de

fachadas ventiladas en las zonas climáticas de Brasil (Atem, 2016; Barbosa et al., 2015), cuya adecuada utilización depende de la orientación de la fachada y de la correcta definición de las entradas y salidas del aire a fin de proporcionar tasas de flujos de aire adecuadas; el uso de simulaciones como una herramienta de evaluación de distintas soluciones de envolvente térmica para edificios de oficinas ubicados en el clima cálido-húmedo del Noreste de Brasil (Venancio y Pedrini, 2009). Esos trabajos académicos apuntan para la importancia de la carga térmica de las fachadas hacia los ambientes interiores. En el caso de las zonas climáticas más calurosas, evitar las ganancias térmicas desde el ambiente exterior hacia el interior se vuelve una estrategia pasiva fundamental.

Esta investigación también buscó referencias bibliográficas sobre rehabilitación de edificaciones escolares en Europa, en especial aquellas que tratan de cumplir con los objetivos del estándar *nZEB* (*nearly Zero Energy building*). A pesar de las diferencias climáticas, esas referencias contribuyen con los nuevos parámetros técnicos para la investigación (Trachte y De Herde, 2014; Gaitani et al., 2015). Además, en algunos estudios realizados en escuelas de la región del Mediterráneo se encuentran situaciones donde se evitan la utilización de la iluminación natural a causa de su repercusión térmica negativa en primavera e inicio del verano europeo (Carbonari, 2012).

2. Metodología

La metodología utilizada en esa investigación se basa en: descripción de los climas de las distintas ciudades; caracterización del proyecto estándar utilizado; colecta de datos *in situ*, incluso datos de temperatura interior en las aulas de las tres edificaciones; elaboración de modelo computacional para simulación de desempeño energético con el software Designbuilder v. 4.5. Para validación de cada modelo fueron utilizadas las mediciones realizadas y las informaciones colectadas.

A partir de la validación de los modelos computacionales, fueron elaboradas gráficas para evaluar la piel de las tres edificaciones y sus repercusiones en el desempeño térmico de sus respectivas aulas.

2.1. Descripción de los climas de las distintas ciudades

Las ciudades del interior de Bahia – Brasil donde fueron implantados nos pabellones de aulas son Vitória da Conquista, Barreiras e Cruz das Almas. Ellas están clasificadas en distintas zonas climáticas (NBR 15520/2003). Sus características climáticas son:

- Vitória da Conquista: 14°5'S, ubicada a 923 metros sobre el nivel del mar, su clima tiene las siguientes características (INMET): temperatura media anual de 20°C; oscilación media anual de 11°C; humedad relativa media anual de 80,8%; pluviosidad anual de 765 mm; con dos estaciones definidas (verano e invierno). Está clasificada como Zona Climática 5 por la NBR 15.220/2003 (Fig. 1);

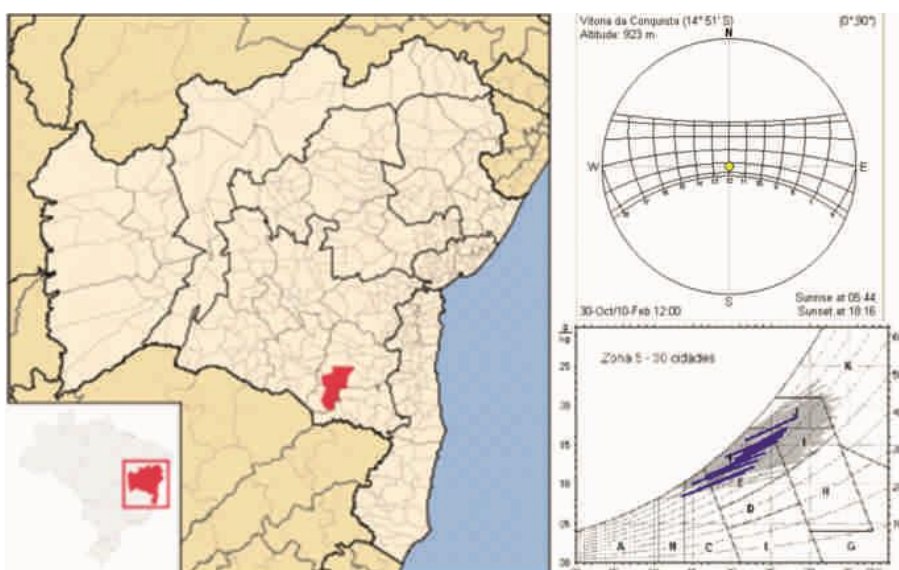


Fig. 1 Ubicación de Vitória da Conquista, su carta estereográfica y el ábaco psicrométrico de la Zona Climática 5. Fuente: <http://www.ibge.gov.br> (acceso en diciembre/2015); NBR 15.220/2003; Heliodon v. 2.6-01

- Barreiras: 12°S, ubicada a 452 metros sobre el nivel del mar, su clima tiene las siguientes características (INMET): temperatura media anual de 25°C; oscilación media anual de 13°C; humedad

relativa media anual de 61,5%; pluviosidad anual de 956,5 mm; no hay estaciones pues es siempre caluroso, pero con un periodo seco entre los meses de mayo y septiembre. Está clasificada como Zona Climática 7 por la NBR 15.220/2003 (Fig. 2).

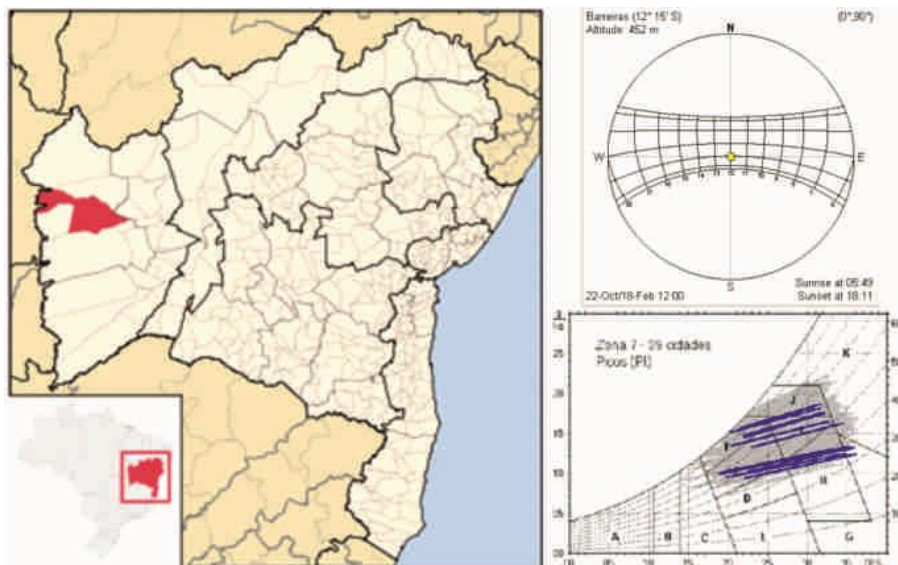


Fig. 2 Ubicación de Barreiras, su carta estereográfica y el ábaco psicrométrico de la Zona Climática 7. Fuente: <http://www.ibge.gov.br> (acceso en diciembre/2015); NBR 15.220/2003; Heliodon v. 2.6-01

- Cruz das Almas: 12° S, es la ciudad más cerca de la costa, ubicada a 220 metros sobre el nivel del mar. Su clima tiene las siguientes características (INMET): temperatura media anual es de 23°C; oscilación media anual de 4°C; humedad relativa media anual de 83,6%; pluviosidad anual de 1.136 mm; no hay estaciones pues es siempre caluroso y húmedo. Está clasificada como Zona Climática 8 por la NBR 15.220/2003 (Fig. 3).

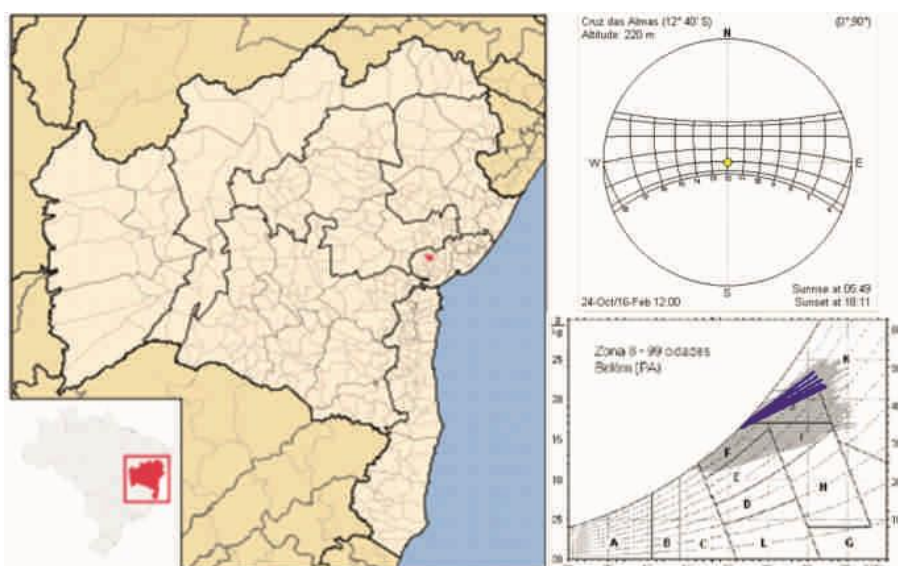


Fig. 3 Ubicación de Cruz das Almas, su carta estereográfica y el ábaco psicrométrico de la Zona Climática 8. Fuente: <http://www.ibge.gov.br> (acceso en diciembre/2015); NBR 15.220/2003; Heliodon v. 2.6-01

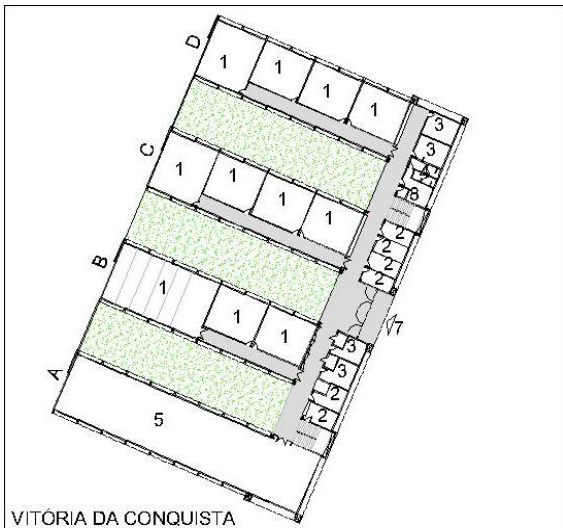
2.2. Caracterización del proyecto estándar utilizado en las distintas ciudades

El proyecto arquitectónico estándar utilizado a la construcción de los pabellones de aula en Vitória da Conquista, Barreiras e Cruz das Almas se caracteriza por (Fig 4 – 5):

- Edificación de dos plantas formada por un bloque central que conecta otros cuatro bloques (A, B, C, D). En el bloque central se concentran la entrada principal, la circulación principal y espacios administrativos. En los otros bloques los espacios están destinados para aulas y gabinetes de profesores. En Vitória da Conquista fue necesario ocupar la planta baja de uno del bloque A con la

biblioteca, mientras no se construye un edificio específico para ese fin. Su área construida total es de 4,284.60 m².

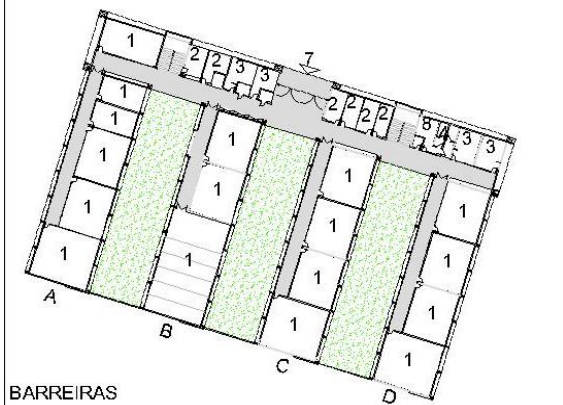
- Las paredes fueron construidas con bloques perforados de concreto de 11cm, revestidas de mortero de cemento y pintadas exteriormente con colores claros. Su transmitancia térmica es de 2.28 W/m².K y su masa térmica es de 1.67 kJ/m².K. La norma brasileña indica que ese sistema constructivo posee una inercia térmica aproximada de 3.7 horas (NBR 15.220/2003). Las ventanas exteriores son de vidrio simple con marcos de aluminio, con transmitancia térmica de 5.70 W/m².K.
- Las principales estrategias bioclimáticas del proyecto estándar son: evitar las ganancias solares por las ventanas, por medio de lamas delante de todas ellas; proveer ventilación natural cruzada en todos las aulas por medio de ventanas ubicadas en paredes paralelas entre sí. Las celosías existentes en la fachada de la circulación de los bloques A, B, C y D buscan permitir la ventilación cruzada para las aulas que sólo poseen una fachada exterior.
- Hay una diferencia entre los proyectos de Cruz das Almas y las otras dos edificaciones: la modulación estructural de los bloques A, B, C y D del primer coincide con una pared exterior y con la pared de la circulación, mientras que en los otros coincide con las dos paredes exteriores. Así, la última aula del pasillo posee dimensiones distintas.



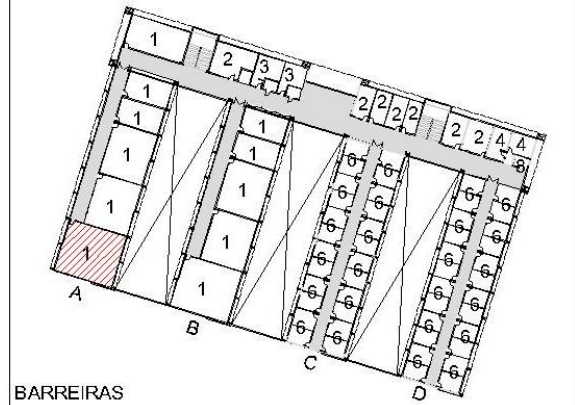
VITÓRIA DA CONQUISTA



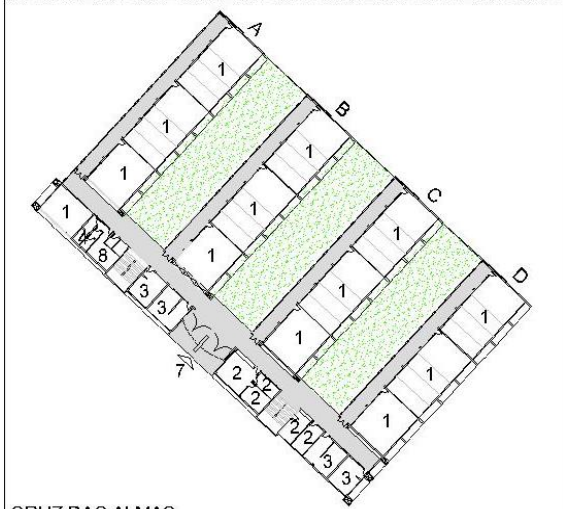
VITÓRIA DA CONQUISTA



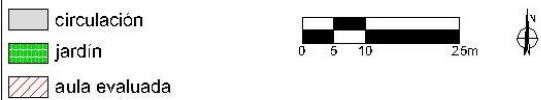
BARREIRAS



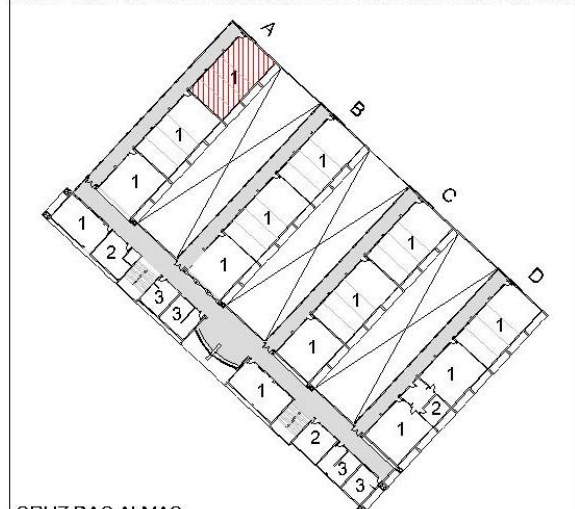
BARREIRAS



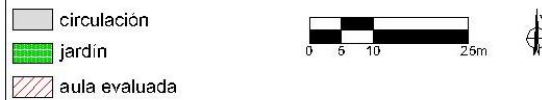
CRUZ DAS ALMAS



1. aulas; 2. despachos; 3. baños; 4. vestidores; 5. biblioteca; 6. gabinete de profesores; 7. acceso principal; 8. cocina



CRUZ DAS ALMAS



1. aulas; 2. despachos; 3. baños; 4. vestidores; 5. biblioteca; 6. gabinete de profesores; 7. acceso principal; 8. cocina

Fig. 4 Planos de las plantas bajas de los pabellones de aulas

Fig. 5 Planos de las primeras plantas bajas de los pabellones de aulas

2.3. Colecta de datos in situ

En los meses de agosto y septiembre de 2016 fueron realizadas visitas técnicas a los tres campus universitarios con el objetivo de coleccionar datos necesarios sobre el desempeño térmico de las aulas. El período de realización de cada visita técnica fue: Vitória da Conquista, entre 01 y 09 de agosto; Barreiras, entre 22 y 30 agosto; Cruz das Almas, entre 31 de agosto y 8 de septiembre. Desafortunadamente, no hubo clases en Cruz das Almas durante ese período, debido a una huelga de profesores y funcionarios.

Para la colecta de datos de cómo funcionan las aulas durante las clases fueron elaboradas fichas donde el profesor de cada clase la rellenaba con los datos acerca de: la cantidad de alumnos; el funcionamiento de los diversos aparatos (iluminación, ordenador, proyector); el funcionamiento de las ventanas, ventiladores y/o equipos de climatización y sus respectivas temperaturas de operación. Para las mediciones de temperatura interior fue utilizado un datalogger Testo 174H, instalado a la altura de 1,20m. Fueron escogidas las clases más expuestas a la radiación solar: las que reciben sol por la tarde y ubicadas a la primera planta. Además, fueron solicitados a los equipos técnicos de arquitectura e ingeniería de cada campus los siguientes datos: planos actualizados de cada edificación; características técnicas de los equipos de climatización e iluminación.

2.4. Modelo computacional para simulación energética

Basado en los datos coleccionados en las visitas técnicas, fueron construidos modelos computacionales de simulación energética en el *software Designbuilder* v. 4.5. Las primeras simulaciones realizadas sirvieron para calibrar el modelo con las mediciones realizadas. Con la validación del modelo, se simuló el comportamiento energético para dos períodos: un año y semana típica de verano según las siguientes configuraciones (Tabla 1):

Tabla 1. Parámetros para las simulaciones de las aulas en cada edificación

	Volumen (m ³)	Infiltración (ac/h)	Ventilación (ac/h)	Carga interna: Ocupación / Iluminación/ Aparatos (W/m ³)
Vitória da Conquista	239.00	0.50	0.50	5.26 (7:00h–12:30h); 5.26 (13:00h–18:30h)
Barreiras	239.00	0.50	1.00	5.26 (7:30h–12:30h); 5.26 (13:50h–20:00h) 3.86 (20:00h–22:30h)
Cruz das Almas	260.47	0.50	1.00	4.82 (7:00h–12:30h); 4.82 (13:00h–18:30h)

Vale destacar algunas rutinas específicas de cada pabellón que influyeron en esos parámetros:

- Vitória da Conquista estaba en su estación fría durante las mediciones. Así, las ventanas estaban generalmente cerradas y ningún aparato de climatización fue encendido.
- En Barreiras las ventanas también estaban cerradas, pero por otras razones: el clima estaba cálido y seco. El sistema de climatización estaba encendido siempre que estaba ocupado.
- Como no hubo clases en Cruz das Almas, fueron utilizadas las rutinas de ocupación de las otras edificaciones como referencia.

3. Análisis de las simulaciones realizadas

Para comprender cuáles son las partes de la edificación que más ganancias térmicas transmiten a las aulas se utilizó simulaciones computacionales de Designbuilder. Se realizaron dos grupos de simulaciones: las primeras con períodos mensuales y anuales y las últimas durante una semana típica de verano. Vale destacar que esos periodos están basados en datos climáticos de las tres ciudades y no coinciden con las vacaciones escolares, entre los meses de diciembre y febrero.

Las Figs. 6 – 8 presentan el resultado del primer grupo de simulaciones. La pared es el elemento de la envolvente térmica con la mayor transmisión de carga térmica hacia el interior. A pesar de la ubicación de esas edificaciones en latitudes bajas, donde las cubiertas generalmente contribuyen con las mayores cargas térmicas, la cubierta de esos pabellones está formada por tres capas de sistemas constructivos y dos cámaras de aire. Así, las ganancias por la cubierta son despreciables, en todos los sitios..

Las tres gráficas ponen en valor el distinto comportamiento energético de la misma edificación implantada en distintos sitios: mientras en Vitória da Conquista el flujo es mayormente negativo durante el año, en Barreiras ese flujo representa la mayor carga térmica hacia el ambiente interior.

Las ganancias térmicas por radiación directa que atraviesan las ventanas son considerables, a pesar de existencias de lamas y protecciones laterales.

A partir de ese primer análisis, la investigación realizó el segundo grupo de simulaciones (Figs. 9 – 11). Fue escogida la semana típica de verano pues son los períodos más extremos para el confort térmico y cuando los gastos energéticos con la refrigeración de los ambientes son más significativos.

Basado en los parámetros normativos brasileños (NBR 16401/2008), el rango de temperatura para ambientes interiores en verano es entre 23°C y 26°C. Así, de las tres edificaciones estudiadas, la que menos sobrepasa ese límite en el periodo más caluroso del año es Vitória da Conquista. Vale destacar también que la carga térmica de las paredes y la temperatura operativa poseen comportamientos parecidos.

Entre las tres ciudades, Barreiras presenta las mayores y más constantes cargas térmicas de las paredes durante la semana típica de verano. Por otro lado, la temperatura del ambiente interior acompaña las variaciones de la temperatura exterior, con un retraso aproximado de 4:30h. Para un espacio de aulas, ocupado por las mañanas y tardes, y en Barreiras por la noche también, esa inercia térmica debería ser más alta para evitar temperaturas internas tan altas.

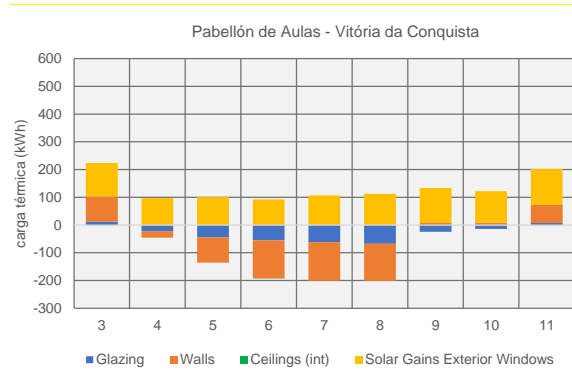


Fig. 6 Cargas térmicas mensuales de la envolvente térmica - Pabellón de Aulas Vitória da Conquista

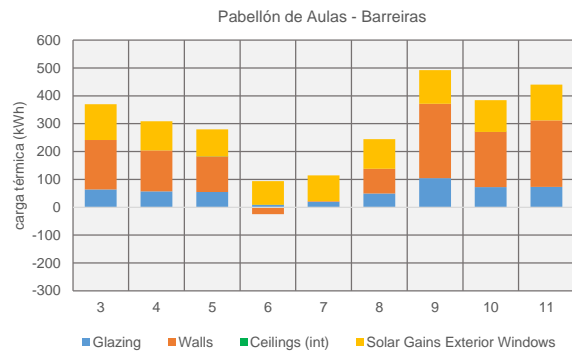


Fig. 7 Cargas térmicas mensuales de la envolvente térmica - Pabellón de Aulas Barreiras

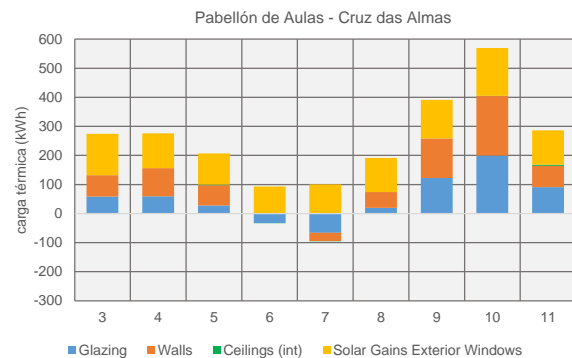


Fig. 8 Cargas térmicas mensuales de la envolvente térmica - Pabellón de Aulas Cruz das Almas

Así como en Barreiras, la temperatura interior de Cruz das Almas presenta una relación directa con la temperatura exterior. Además, el límite inferior de la temperatura operativa está al límite indicado por la norma. Así, cualquier carga térmica adicional de los elementos constructivos debería ser evitada. Por fin, vale resaltar que todas las edificaciones reciben ganancias térmicas por radiación directa que atraviesa las ventanas.

4. Conclusiones preliminares

Ese trabajo académico sigue realizando simulaciones computacionales y evaluando sus resultados a fin de presentar, al final del doctorado, un análisis detallado del comportamiento térmico de las fachadas en cada una de las distintas implantaciones del proyecto estándar.

Mismo así, ya es posible indicar algunas conclusiones:

- Las tres edificaciones fueron implantadas con orientaciones que favorecen las ganancias térmicas no sólo por las paredes pero también por las ventanas. Además de la orientación inadecuada, no hubo ningún tipo de adaptación del proyecto estándar al sitio de implantación. Algunos cambios en las lamas y en protecciones laterales previstas en el diseño serían suficientes para evitar esas cargas térmicas;
- El comportamiento térmico de las fachadas son completamente distintos entre sí, mismo en ciudades con latitudes parecidas. Así, la envolvente térmica de cada edificación debería estar diseñada para adaptarse a las distintas situaciones;
- Ese primer análisis del comportamiento de las fachadas en la semana típica de verano revela que deberán ser utilizadas estrategias distintas para mejorar el desempeño térmico de esos elementos. En Vitória da Conquista, que posee las temperaturas más suaves, evitar las ganancias, sin muchos cambios estructurales; en Barreiras, a causa de gran amplitud térmica, la inercia juega un papel importante para evitar un sobrecalentamiento del ambiente interior; en Cruz das Almas, la inercia no será relevante, pero su zona climática recomienda una doble piel ventilada, no sólo para evitar ganancias como para favorecer las pérdidas.

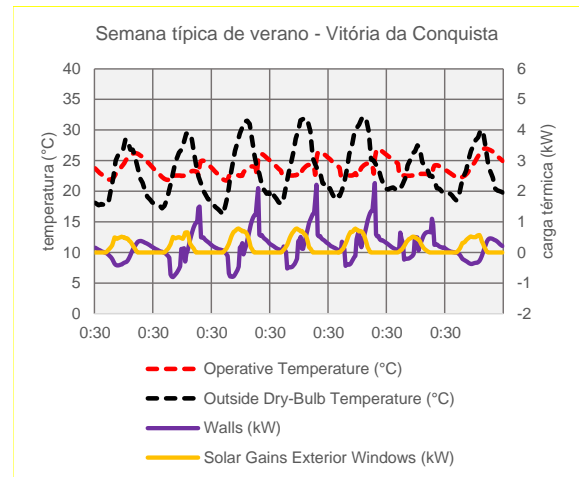


Fig. 9 Semana típica de verano: cargas térmicas; temperaturas operativa y exterior - Pabellón de Aulas Vitória da Conquista

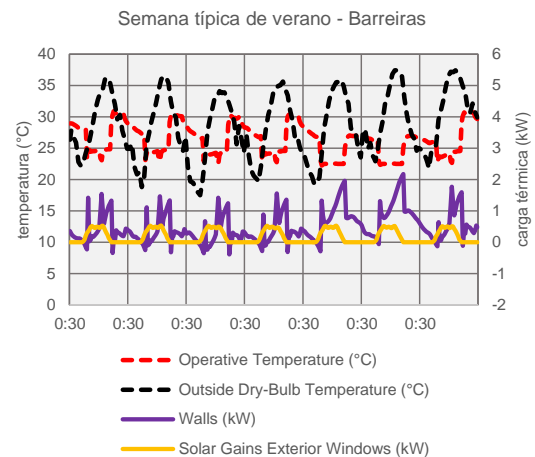


Fig. 10 Semana típica de verano: cargas térmicas; temperaturas operativa y exterior - Pabellón de Aulas Barreiras

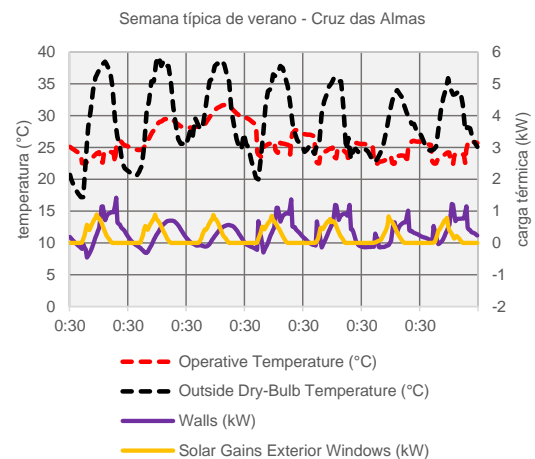


Fig. 11 Semana típica de verano: cargas térmicas; temperaturas operativa y exterior - Pabellón de Aulas Cruz das Almas

5. Referencias

Atem CG (2016). Fachadas ventiladas: hacia un diseño eficiente en Brasil. Tesis doctoral Universidad Politécnica de Cataluña.

Barbosa S, Ip K, Southall R (2015). Influence of key site parameters on the thermal performance of double skin façades in naturally ventilated buildings in a tropical climate. Paper presented at the conference on the Passive Low Energy and Architecture (PLEA 2015), Bologna, Italia 9-11 September 2015.

Beckers B, Masset L (2003). HeliodonTM_2.6-1 software. Available at: www.heliodon.net.

Carbonari A (2012). Thermal and Luminous Comfort in Classrooms - a computer method to evaluate different solar control devices and its operating logics. Paper presented at the conference on the Passive Low Energy and Architecture (PLEA 2012), Lima, Perú 7-9 November 2012.

Flores Larsen S, Filippin C, Beascochea A, Lesino G (2008). An experience on integrating monitoring and simulation tools in the design of energy-saving buildings. *Energy and Buildings*, 40: 987-997.

Gaitani N, Cases L, Mastrapostoli E, Eliopoulou E (2015). Paving the way to Nearly Zero Energy Schools in Mediterranean Region - ZEMedS Project. *Energy Procedia*, 78: 3348-3353.

Givoni B (1969). *Man, Climate and architecture*. Londres: Elsevier.

Kowaltowski D (2011). *Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino*. São Paulo : Oficina de Textos.

Lechner N (2000). *Heating, cooling, lighting : design methods for architects*. New York : John Wiley.

Melo AP, Sorgato MJ, Lamberts R (2014). Building energy performance assessment: Comparison between ASHRAE standard 90.1 and Brazilian regulation. *Energy and Buildings*, 70: 372-383.

NBR 15.220/2003. Norma de desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: ABNT.

NBR 16.401/2008. Instalações de ar-condicionado – sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro: ABNT.

Olgay V (1963). *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. 2. ed. Barcelona: Gustavo Gili.

Orce Schwarz S, Flores Larsen S, Filippin C (2012). Energy thermal redesign of a bioclimatic school through monitoring and simulation. Paper presented at the conference on the Passive Low Energy and Architecture (PLEA 2012), Lima, Perú 7-9 November 2012.

Serra R, Coch H (1995). *Arquitectura y energía natural*. Barcelona: Edicions UPC

Trachte S, De Herde A (2014). *Sustainable refurbishment of school buildings. A guide for designers and planners*. International Energy Agency.