

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



COLLABORATORS



Consejo Andaluz
de Colegios Oficiales
de Arquitectos



fundación **arquia**

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

COMMITTEES

CONFERENCE CHAIRPERSONS

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

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

ORGANISING COMMITTEE

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

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

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

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

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

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

CONFERENCE SECRETARY

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

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

FORMATO

Mesas temáticas

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

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

Taller

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

Sesiones Plenarias

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

SCIENTIFIC COMMITTEE

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

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

FOREWORD

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

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

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

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

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

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

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

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

Antonio Tejedor Cabrera
Marta Molina Huelva

PRÓLOGO

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

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

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

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

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

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

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

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

Antonio Tejedor Cabrera
Marta Molina Huelva

OBJECTIVES

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



FORMAT

Thematic tables

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

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

Workshop

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

Plenary Sessions

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

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 ANTECEDENTES 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

EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LA CUBIERTA EN EL CLIMA TROPICAL-ECUATORIAL

Torres-Quezada, Jefferson ⁽¹⁾; Coch-Roura, Helena ⁽¹⁾; Isalgué, Antonio ⁽²⁾

(1) Arquitectura & Energía, Escuela de Arquitectura, Universidad Politécnica de Catalunya,
jefferson.torres@upc.edu

(2) Departamento de Física Aplicada, Universidad Politécnica de Catalunya,
antonio.isalgue@upc.edu

Resumen: El uso de los materiales de la edificación como respuesta al clima donde se emplaza es una prioridad que ha perdido importancia en la arquitectura en los últimos años. Lo que ha repercutido en el incremento del uso de sistemas activos para solucionar las condiciones de disconfort en el interior de las viviendas. Este estudio se enfoca en la comparación del comportamiento térmico de las dos tipologías de cubierta más relevantes de la región costera del Ecuador: la cubierta metálica y la cubierta de hormigón, y las repercusiones energéticas del edificio. Los resultados obtenidos muestran dos comportamientos térmicos totalmente diferentes entre estas dos tipologías de cubierta, tanto en el periodo diurno como en el nocturno. Finalmente, a través del análisis de estos resultados se ha podido establecer a la masa térmica y la emisividad de la cubierta como parámetros fundamentales que merecen ser analizados en investigaciones futuras, para establecer guías o normas futuras de diseño para estos climas.

Palabras Clave: Cubierta, Clima tropical-Ecuatorial, Radiación solar, Nubosidad.

1. Introducción

La cubierta se define como una parte de la envolvente del edificio, que cubre la parte más alta de este y su principal objetivo siempre ha sido la protección al usuario. Protección de los animales y el clima, notablemente de la lluvia o nieve, pero también el calor, viento y la radiación solar. (Whitney y Smith 1901). Con este objetivo primordial de protección, la forma y el material de la cubierta varían enormemente de región a región. Estos parámetros han sido influenciados principalmente por el clima y los recursos disponibles de cada zona. Por lo cual se tiene numerosas tipologías de cubierta como: domo, inclinadas, planas, pesadas, livianas, etc.; y una gran variedad de materiales como palma, paja, barro, cerámica, concreto, metálicas, etc. Sin embargo, varios estudios muestran que sólo hasta final del siglo XIX las tipologías de los edificios han sido guiadas primordialmente por el clima local, y la búsqueda del confort del usuario (Dollfus 1954). El avance de los procesos de construcción y la tecnología del siglo XX, como el concreto, el metal, sistemas de refrigeración, el elevador, el vidrio, nos han llevado a la globalización de la arquitectura. Los mismos procesos y tecnologías son usados para diferentes climas, mientras que el confort de las personas se asegura por el uso de sistemas energéticos.

El eje central de esta investigación es el elemento arquitectónico LA CUBIERTA contextualizado en un área determinada del Ecuador, la región Costa de este país. El análisis de este elemento arquitectónico radica en su estrecha relación con dos condiciones, de tipo geográfica y social-urbana: el clima tropical-ecuatorial y el crecimiento urbano.

Con respecto a su relación con la condición geográfica, se puede observar que en regiones con estos climas, los cuáles están determinados por su alta y constante cantidad de radiación solar durante todo el año (3 kWh/m² promedio), la cubierta es la parte de la envolvente más expuesta a este flujo de energía. Debido a su latitud cercana a 0°, los extremos de los recorridos solares son prácticamente iguales, por lo que la variación de la radiación solar anual recibida sobre una superficie horizontal sólo es de 0.8 kWh/m² (Torres et al. 2016). Por otra parte, estos climas también están definidos por los altos niveles de humedad, los que a su vez tienen una fuerte influencia sobre la nubosidad, y en consecuencia sobre la radiación solar (Koenigsberger et al. 1975). Debido a estas determinantes, no solo la radiación directa y los recorridos solares tienen un gran impacto sobre el comportamiento térmico de la cubierta, sino también la componente difusa, usualmente no considerada en otros estudios (Beckers 2012). La radiación difusa en esta región representa el 63%

de la radiación anual promedio (Conelec 2008), por lo que su inclusión en el análisis de esta investigación es indispensable.

En cuanto a la variable social-urbana, el constante crecimiento demográfico a nivel mundial ha traído complicaciones sobre la expansión urbana, que actualmente alberga a más de la mitad de la población mundial (United Nations 2014). Estas estadísticas del crecimiento urbano se han intensificado especialmente en zonas con climas tropicales. Ecuador en específico ha tenido una tasa de crecimiento de la población urbana de 1990 a 2010 del 50%, lo que ha repercutido sobre la demanda de vivienda y el consumo energético de este sector, con un crecimiento no proporcional del 113% y 173% respectivamente (INEC 1990) (INEC 2010)(CONELEC 2011)(ARCONEL 2013). Diversos modelos de ciudad han abordado esta problemática a través de la densificación del área urbana, sin embargo países como Ecuador han afrontado este incremento de la población urbana a través del crecimiento del territorio, dando como resultado las ciudades dispersas (Downs 1999). Esta situación ha traído como consecuencia la predominancia de la cubierta, en términos de área, dentro de este contexto.

Su relación con estas dos condiciones, climática y urbana, definen a la cubierta como el elemento determinante sobre el comportamiento térmico interior dentro de estos contextos. Algunos estudios han abordado estas repercusiones, y se ha definido que la cubierta puede representar hasta el 70% del total de los flujos de calor hacia el interior de la edificación, dependiendo de la tipología de la edificación (Vijaykumar et al. 2007). Así mismo, varias estrategias han sido analizadas en diferentes climas, como: la cubierta fría en climas áridos (Simpson y McPherson 1997)(Suehrcke et al. 2008), el efecto de la cubierta ventilada y la barrera radiante en climas cálidos-húmedos (Dimoudi et al. 2006)(Černe y Medved 2007)(Gagliano et al. 2012), el impacto de la inclinación y orientación de la cubierta sobre el comportamiento térmico del interior del espacio (Jayasinghe et al. 2003).

En términos generales las características morfológicas y materiales de la cubierta que más se utilizan en los climas donde se centra la investigación, cálido-húmedo, son altas pendientes y materiales livianos (Koch-Nielsen 2002)(Olgyay 1963)(Serra, R. y Coch 2001). Sin embargo, en el mismo periodo de la expansión urbana que experimenta este país, 1990-2010, esta tendencia presentó un cambio. El uso de materiales livianos hasta 1990 era de un 72% mientras que el de materiales pesados era del 28% (INEC 1990), mientras que para el año 2010 estos porcentajes fueron del 63% y 37% respectivamente (INEC 2010). Un incremento considerable del uso de materiales pesados.

De aquí surgen varias preguntas que esta investigación se plantea: que tipología o material de cubierta debería usarse en la Costa del Ecuador?, tiene un mejor comportamiento térmico la cubierta de losa hormigón en comparación a la cubierta metálica?, cuál es la diferencia, en términos térmicos, entre las dos cubiertas?

Finalmente, la investigación total de esta tesis doctoral aborda el comportamiento térmico de las dos tipologías de cubierta más representativas de esta región: la cubierta metálica, 55%, y la cubierta de concreto, 37% (INEC 2010), y el uso de estrategias apropiadas para mejorar su rendimiento térmico. Sin embargo esta publicación se enfocará en una descripción detallada de la metodología del estudio y un análisis de estas cubiertas en su estado natural, con el propósito de obtener las variables más influyentes sobre el comportamiento térmico de estas dos tipologías en este clima tropical-ecuatorial. A partir de este análisis se obtendrán unos índices bases de las diferencias térmicas entre estas dos cubiertas, que servirán para la siguiente parte del estudio.

2. Metodología

La metodología de la tesis doctoral en la que se basa este estudio se divide en dos partes: la parte experimental y la evaluación de diferentes variables a través de la simulación. El trabajo experimental, en el que se centra esta investigación, se llevó a cabo en una ciudad localizada en el sur de la Costa de Ecuador (Santa Rosa). Esta parte a su vez se enfoca en dos partes. La primera aborda el análisis detallado de los factores climáticos de esta región como radiación solar, nubosidad, temperatura del cielo, temperatura del aire y humedad, a través de la recolección de datos y medición de estos parámetros. La segunda parte del análisis experimental se centra en la medición del comportamiento térmico de las dos tipologías de cubierta. En cuanto al análisis por simulación, este tomará como base los datos obtenidos en la evaluación experimental, para a través del desarrollo de un modelo digital analizar las variables determinadas en esta etapa inicial.

2.1. Clima del área de estudio

La ciudad donde se realiza el estudio, Santa Rosa, se encuentra ubicada en el sur de la región Costa del Ecuador, a una latitud 3°27'S y una altitud de 14 msnm. Esta ciudad se clasifica en el mapa de Köpen-Geiger como un clima Húmedo Tropical (Aw). Este tipo de clima se caracteriza por una variabilidad de temperaturas anual casi nula. La temperatura media anual es de 26°C y una

oscilación diaria y anual de 6°C y 3°C respectivamente, Fig. 1. Otra característica relevante son sus altos niveles de humedad a lo largo de todo el año, que se acentúan por su cercanía con el mar. El promedio anual del 83%, y está relacionado directamente con los altos niveles de precipitación en esta región. Estos superan los 1500 mm al año y se concentran en los meses de febrero, marzo y abril. Por otra parte, el régimen de viento es bajo, influenciado en su mayoría por la brisa marina.

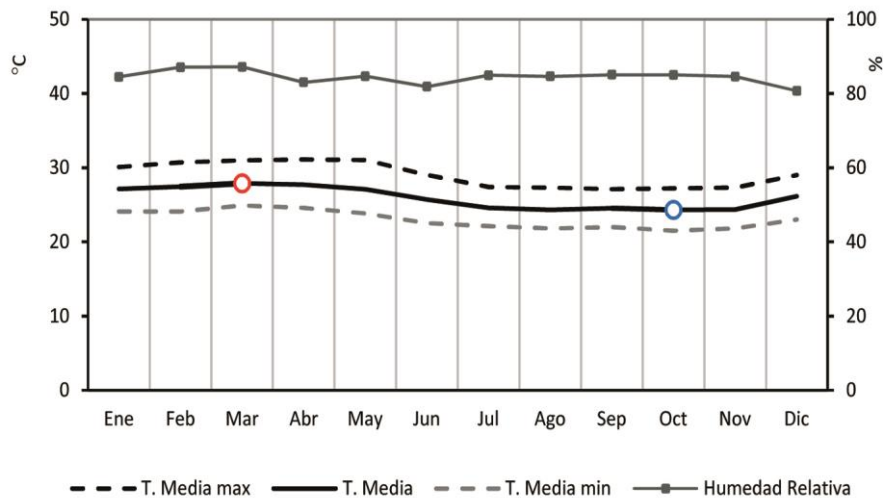


Fig. 1 Promedios mensuales de temperatura: máxima, media y mínima, y Humedad media del año 2016 obtenidas de estación meteorológica del aeropuerto Víctor Larrea de la ciudad de Santa Rosa.

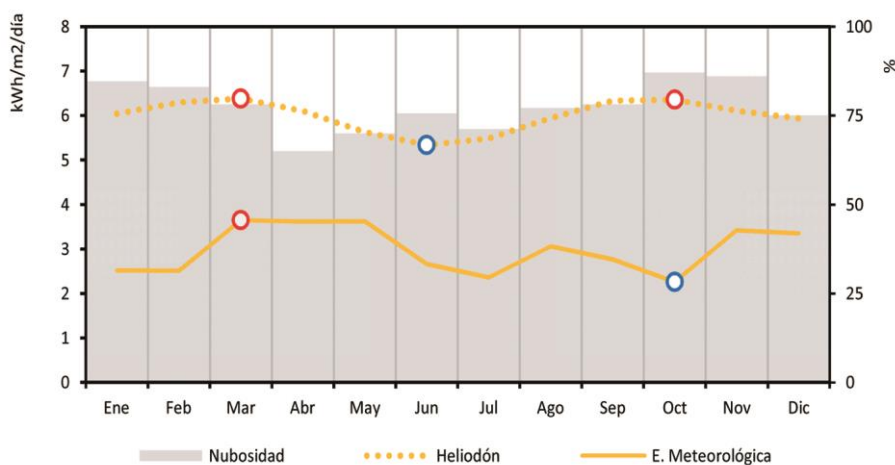


Fig. 2 Radiación solar promedio mensual: obtenida de estación meteorológica (línea continua) en el año 2016, radiación obtenida por simulación a través del software Heliodon (Beckers y Masset 2003) (línea discontinua), y porcentaje de cobertura de cielo obtenida por simulación con la aplicación EarthEnv (Wilson y Jetz 2016) (barras)

Finalmente un factor primordial en esta región, debido a su ubicación geográfica y su influencia sobre la cubierta, es la radiación solar. El promedio media anual, de acuerdo a los datos de estación meteorológica ID: IELOROEL2, es de 3 kWh/m², de los cuáles el 60% proviene de radiación difusa (Conelec 2008). Los valores medidos representan el 50% de los valores obtenidos por simulación con un modelo de cielo teórico despejado, Fig. 2. Los niveles de radiación están relacionados directamente con el porcentaje de cobertura del cielo, llamado también nubosidad, por tanto a mayor nubosidad menor cantidad de radiación recibida, Fig. 2. Estas regiones se caracterizan por valores de nubosidad elevados, teniendo un promedio anual del 78% (Wilson y Jetz 2016). Adicionalmente, por la importancia de este parámetro, la nubosidad, sobre otros factores climáticos se ha llevado a cabo un estudio más detallado de este a través de las mediciones.

2.2. Características del caso de estudio

De acuerdo al objetivo planteado, la comparación del comportamiento térmico de dos tipologías de cubierta de esta región, el trabajo experimental se llevó a cabo en dos edificios residenciales con características constructivas similares, con excepción de la cubierta. El espacio con la cubierta de chapa metálica o cubierta liviana (CL) se encuentra en la segunda planta alta de un edificio plurifamiliar entre medianeras de 3 niveles. Se encuentra orientado hacia el sur, aunque no cuenta con ventanas, Fig. 3. Mientras que el espacio medido con la cubierta de hormigón o cubierta pesada

(CP) es un dormitorio de una vivienda unifamiliar de una planta. El dormitorio se encuentra rodeado por 3 habitaciones y su cuarta pared está adosada a la vivienda colindante, por lo que este espacio tampoco cuenta con ninguna ventana, Fig. 3. Con respecto a las características espaciales, los dos espacios tienen una altura de 3.25m, el volumen de CL es de 36 m³ y el de CP de 29 m³.

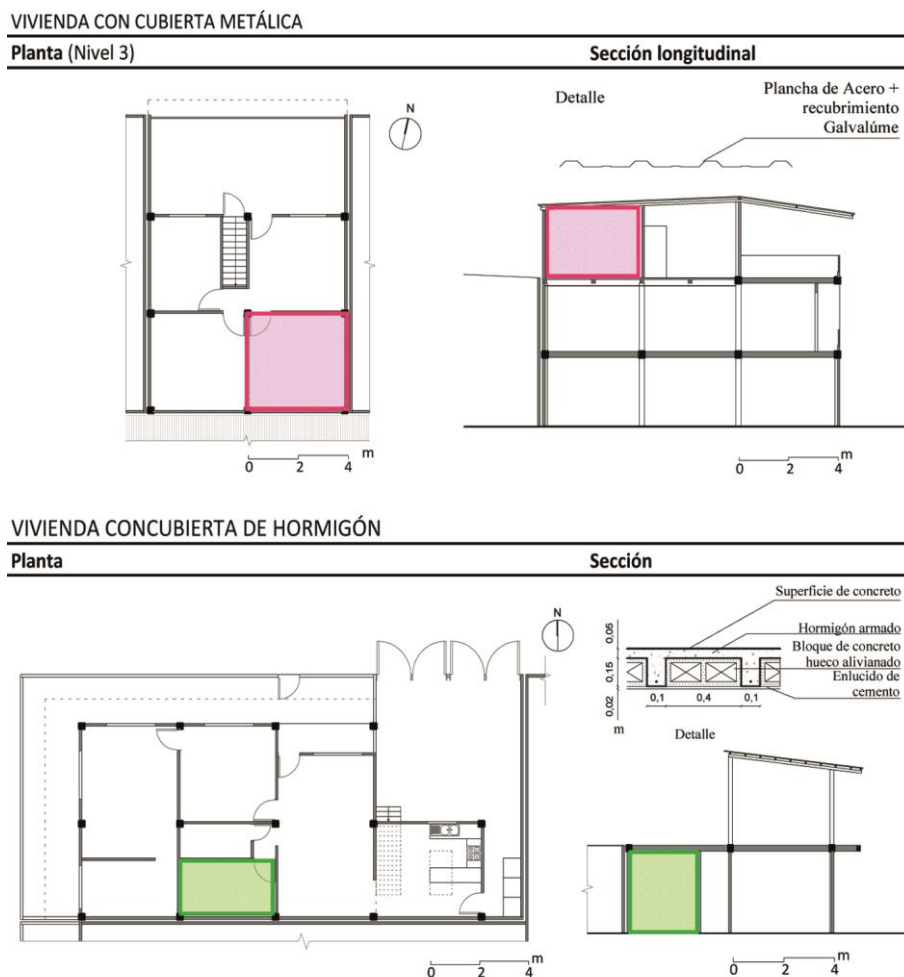


Fig. 3 Planta y Sección de las dos viviendas usadas en el análisis experimental, y el detalle de las dos tipologías de cubiertas (hormigón y chapa metálica) de cada una de ellas.

En cuanto a la ocupación de CL es cero, ya que es un departamento del edificio totalmente desocupado, sin embargo la planta inferior si es un espacio habitado. La vivienda de CP tiene ocupación de 3 personas, aunque la habitación medida se utiliza ocasionalmente, por lo que los aportes de calor por ocupación son muy bajos.

En lo que respecta a las características de los materiales, las paredes de los dos espacios son de 12 cm de ancho, construidas en bloque liviano y enlucido con mortero de cemento. El piso de la CL tiene un enduelado de madera que colinda con un espacio habitado, mientras que la CP tiene una losa de hormigón sobre un empedrado en contacto con el suelo. En cuanto a las características de las cubiertas, que es la variable a considerar en el análisis, tienen características térmicas totalmente diferentes, sin embargo tienen similares pendientes 5% y 2%, para la CL y CP respectivamente. La CL, está compuesta de una plancha metálica de acero con un recubrimiento de GALVAÚMEN (aleación de aluminio y zinc) y tiene un espesor de 0.0004 m, mientras que la CP tiene 0.22 cm de espesor y está compuesta por una chapa de hormigón de 5 cm, y bloques de hormigón livianos, Fig. 3. De acuerdo a estas características, la CL liviana tiene una resistencia térmica casi nula y una masa térmica baja, mientras que la cubierta pesada tendrá una resistencia térmica media y una alta masa térmica. Se tiene que considerar que las dos cubiertas tienen 12 años de instalación o construcción, y han tenido un mantenimiento nulo. Por tanto, sus factores de reflexión se han visto reducidos, en especial la CP. Otra diferencia a considerar entre estas dos cubiertas es que la CL tiene un acabado metálico pulido mientras que la CP tiene un acabado rugoso, lo que afectará sobre el factor de emisividad de las cubiertas. En la Tabla 1, se especifican las propiedades térmicas de las dos cubiertas analizadas.

Tabla 1. Propiedades térmicas de las dos cubiertas analizadas.

Tipo Cubierta	F. absorción (0-1)	F. Emisividad (0-1)	Transmitancia Térmica (W/m ² .K)	Masa Térmica (kJ/m ² .K)
CL	0.5*	0.13*	7.14**	0.61**
CP	0.75*	0.95*	2.68**	70.51**

* Valores medidos

** Valores calculados a partir de datos bibliográficos (ASHRAE 2001)(CTE WEB 2007)(Bergman et al 2011)

2.3. Parámetros y periodos de la experimentación

Las mediciones se realizaron en un periodo continuo (24h) desde el 25 de Septiembre hasta el 21 de Octubre de 2016. Todas las mediciones siempre están referidas al horario solar (UTC).

Los parámetros que se han considerado, en cuanto a los factores climáticos, son: la temperatura del aire, radiación solar y porcentaje de cobertura del cielo. La información de los dos primeros parámetros se recolectó de estaciones meteorológicas diferentes. Para la temperatura del aire se usó los datos de la estación del aeropuerto Victor Larrea de la ciudad de Santa Rosa, latitud -3°18'3'', longitud -79°53'53'', y para la radiación solar los datos de la estación ID: IELOROEL2, latitud -3°18'3'', longitud -79°53'53'', y una altitud de 20 msnm. Esta información ha sido recolectada en intervalos de 15 min. Por otra parte, en cuanto al porcentaje de cobertura del cielo ha sido medida en décimas a través de la observación en intervalos de 2 horas. Adicionalmente, se ha simulado la radiación solar con un modelo teórico de cielo 100% despejado y un factor de reducción por atmósfera de 0.7, con el uso del software Heliodon TM 2.6-1 (Beckers y Masset 2003).

En cuanto a los parámetros medidos del comportamiento térmico de las cubiertas: la temperatura superficial exterior (T_s), la temperatura superficial interior (T_{si}) y la temperatura del aire interior (T_{ai}). Los dos primeros fueron medidos con el uso de un termo par tipo K que almacena la información en un data logger Amprobe, y para el último parámetro se utilizó un termo-higrómetro Testo 174H. La información de estos tres parámetros se recolectó cada 5 min.

3. Discusión de Resultados

Los resultados de radiación solar obtenidos en el periodo de medición, 25 de Septiembre al 21 de Octubre de 2016, muestran valores muy variados que van desde un día muy nublado con un 1.4 kWh/m² hasta un día semi-despejado con 4.3 kWh/m². De este periodo, se ha escogido para el análisis los resultados de dos días. El día 12 de Octubre con 2,4 kWh/m², debido a que es el más cercano al valor promedio de este mes, 2,2 kWh/m². Adicionalmente este día se encuentra dentro del rango, 2-3 kWh/m², de los días que son más recurrentes a lo largo del año. El segundo día analizado fue el 10 de Octubre con 4,3 kWh/m², debido a que se encuentra cerca del valor máximo de la variación estándar de los promedios diarios de todo el año, 4.6 kWh/m². De esta manera los dos días escogidos pueden dar una perspectiva general del comportamiento térmico de la cubierta de todo el año.

3.1. Comportamiento térmico exterior de las cubiertas

La Figura 4 muestra los resultados de radiación solar y temperatura superficial exterior de las dos cubiertas analizadas, para un día de radiación promedio, 12 de Octubre, y un día de radiación extrema, 10 de Octubre.

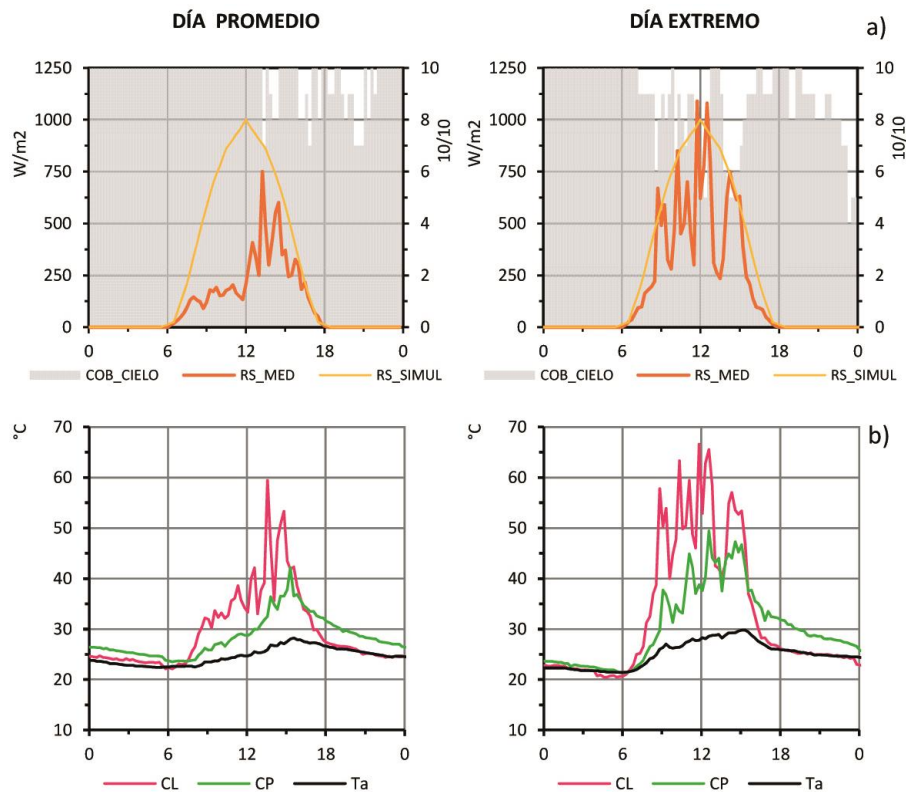


Fig. 4 a): Radiación solar medida (naranja oscuro), simulada (naranja claro) y cobertura del cielo (gris), b): temperatura superficial exterior de CL (magenta) y CP (verde) de los dos días analizados: día promedio (izquierda) y día extremo (derecha).

En cuanto a los resultados de radiación, Figura 4 a, en el día promedio, la radiación solar medida no alcanza los 250 W/m² en el periodo de la mañana, mientras que en la tarde la radiación sube considerablemente, y alcanza su máximo, 750 W/m², alrededor de las 13h00. Este comportamiento es correspondiente al porcentaje de cielo cubierto, en la mañana el 100%, en la tarde un comportamiento variable entre el 70 y 100% hasta las 22h00 donde vuelve a cubrirse totalmente. El día extremo por otro lado, presenta una radiación con altos y bajos durante todo el día, y alcanza su máximo al medio día coincidiendo con los datos de simulación, inclusive sobrepasa estos valores, 1150 W/m². En este día se aprecia un menor porcentaje de cielo cubierto que varía desde 40 al 100 %, durante las horas de sol. En cuanto al periodo nocturno, de 00h00 a 06h00 la cobertura del cielo es del 100%, inclusive precipitaciones menores a 1 mm fueron registradas; sin embargo después de las 18h00 hasta las 24h00 se muestra un cielo con un porcentaje de cobertura que va desde el 90% hasta del 40%. En términos generales, la radiación solar tiene un comportamiento errático, y sus valores son menores a los simulados. Así mismo los dos días presentan un alto porcentaje de nubosidad, inclusive el día extremo, 87% de media diaria, y en el día promedio 96%. En el periodo nocturno, se refleja el efecto de la masa térmica y su relación con la capacidad de enfriamiento radiativo del cielo. Después que desaparece la radiación solar, 18h00, la temperatura de la CL se reduce casi de inmediato hasta una temperatura similar que la temperatura del aire exterior (T_a) en los dos días analizados, mientras que la CP mantiene su temperatura por arriba de la temperatura del aire, entre 4°C y 5°C durante toda la noche.

3.2. Comportamiento térmico interior de las cubiertas

En cuanto a los resultados de las temperaturas superficiales interiores (T_{si}), Fig. 5, la superficie interior de la cubierta liviana (T_{si_cl}), debido a su baja resistencia térmica, tiene unas temperaturas iguales a la superficie exterior, lo cual es determinante para su comportamiento térmico tanto en el periodo diurno como el nocturno. En el periodo diurno, el diferencial que tiene con la temperatura del aire exterior ($\Delta T_{s_cl} - T_a$) es de 35°C, mientras que la CP tiene un diferencial de 6°C, en los máximos de temperatura de cada superficie. En cuanto al periodo nocturno, la CL tiene un $\Delta T_{si_CL} - T_a$ casi 0°C en los dos días analizados, y la CP tiene un diferencial entre +3°C y +6°C. En términos generales, la CP mantiene temperaturas menores y más constantes en el periodo diurno, sin embargo almacena energía que eleva su temperatura en la noche. En cambio la CL alcanza elevadas temperaturas en el día, aunque en el periodo nocturno mantiene temperaturas menores que la cubierta pesada.

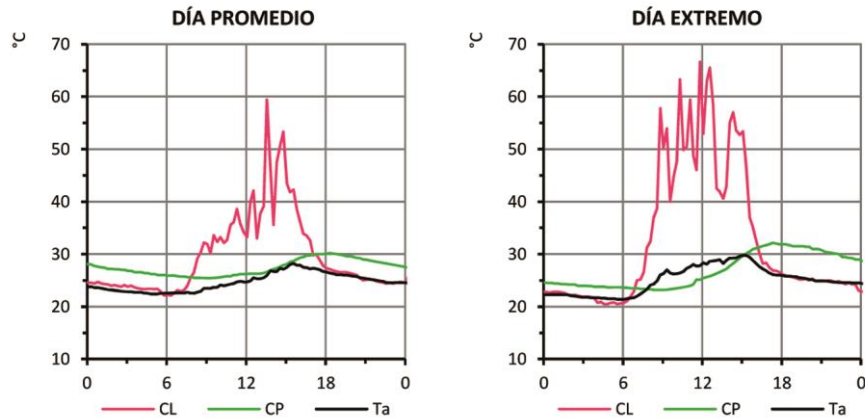


Fig. 5 Temperatura superficial interior de la cubierta liviana (magenta) y la cubierta pesada (verde) de los dos días analizados: día promedio (izquierda) y día extremo (derecha).

3.3. Comportamiento térmico del espacio interior.

Finalmente, los resultados de la temperatura del aire interior (T_{ai}), Fig. 6, la CL tiene un retraso casi nulo con respecto a la T_a en los dos días analizados. En el día promedio T_{ai_cl} está por arriba de la T_a entre 1°C , en el periodo nocturno, hasta 3.3°C , en el máximo de su temperatura; mientras que en el día extremo entre 1°C hasta 4.5°C respectivamente. Lo que implica que el comportamiento de la T_{ai_cl} en el periodo nocturno no está condicionado por la cantidad de radiación solar recibida en el día, ya que no tiene gran variación entre los dos días. Sin embargo en el periodo diurno la radiación solar tiene una gran influencia sobre esta, 1.2°C .

Por otra parte, los resultados de la temperatura interior de la CP (T_{ai_cp}) muestran un desfase con respecto a la T_a de 3 horas con sus máximos alrededor de las 20h00, en los dos días analizados. En el día promedio, la T_{ai_cp} se mantiene bastante constante a lo largo de todo el día con una oscilación de alrededor de 1.5°C . T_{ai_cp} se mantiene, durante todo el día, por arriba de la T_a con excepción de un lapso de 1 hora en la tarde. En el periodo nocturno esta temperatura está entre los 3°C y 5°C por arriba de la T_a . Mientras que en el día extremo la oscilación de T_{ai_cp} es de 4°C , y se mantiene por debajo de la T_a un periodo de siete horas, 09h00-16h00. En cambio en los periodos nocturnos, T_{ai_cp} está entre 3°C y 4°C por arriba de T_a en los periodos de 18h00-24h00 y 00h00-06h00 respectivamente. Esta diferencia entre los dos periodos nocturnos se da debido a que la T_{ai_cp} se mantiene muy constante durante todo el periodo nocturno mientras que la T_a si muestra una oscilación más marcada en este periodo, sobre todo desde 00h00 – 06h00, y por esto el diferencial en este periodo es mayor.

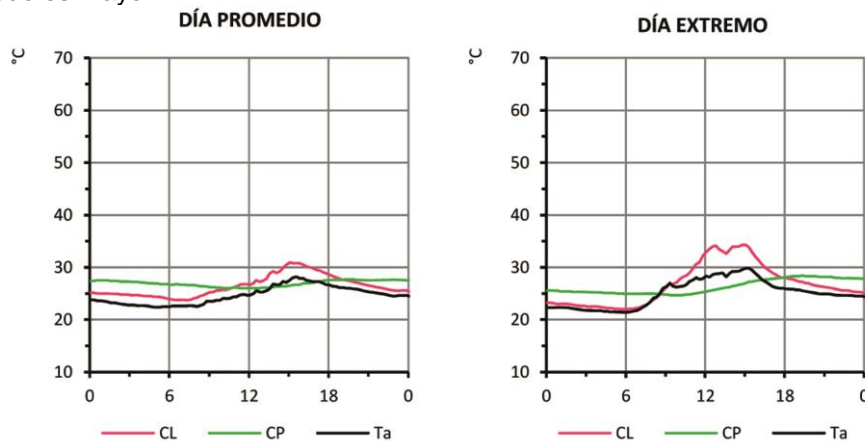


Fig. 6 Temperatura del aire interior de la cubierta liviana (magenta) y la cubierta pesada (verde) de los dos días analizados: día promedio (izquierda) y día extremo (derecha).

La comparación de los resultados de T_{ai} de esta dos cubiertas, muestra que en el periodo diurno se alcanza un máximo diferencial entre CL y CP ($\Delta T_{ai_cl} - T_{ai_cp}$) de 4°C y 8°C en el día promedio y el día extremo respectivamente. Sin embargo en el periodo nocturno este diferencial, $\Delta T_{ai_cl} - T_{ai_cp}$, se invierte y alcanza un valor de -2.5°C que se mantiene bastante constante a lo largo de toda la noche, en los dos días analizados. Sin embargo, si consideramos los promedios diarios la diferencia entre las dos cubiertas, $\Delta T_{ai_cl} - T_{ai_cp}$, sería mínima, -0.5°C en el día promedio y $+0.5^\circ\text{C}$ en el día extremo.

Dado que los comportamientos térmicos del periodo diurno (06h00-18h00) y nocturno (00h00-06h00 + 18h00-24h00) de estas dos cubiertas son totalmente diferentes, y la diferencia más marcada se muestra en los resultados de la temperatura superficial interior de las cubiertas, a continuación se muestra la comparación de los promedios de este parámetro (T_{si}) independientemente para cada periodo, Fig. 7. Debido a la presencia de precipitaciones en el periodo de 00h00-06h00 que modifica los resultados, el promedio nocturno será sólo del periodo de 18h00 a 24h00.

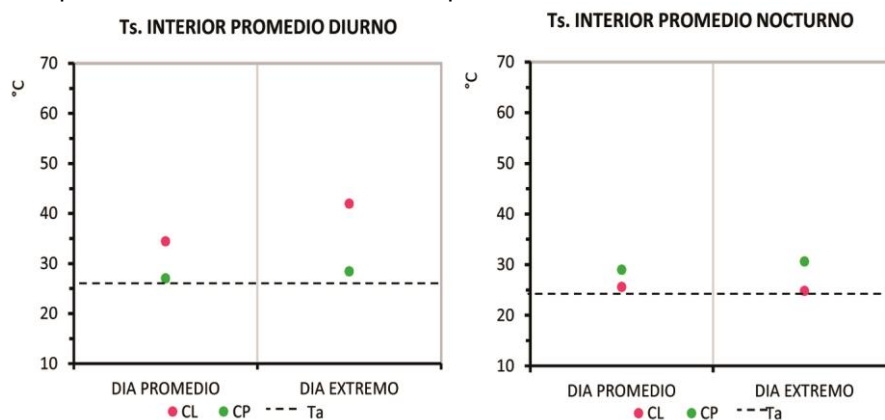


Fig. 7 Temperaturas promedio del periodo diurno (izquierda) y nocturno (derecha) de la temperatura superficial interior de la cubierta liviana (magenta) y la cubierta pesada (verde) de los dos días analizados: día promedio y día extremo.

A partir de este gráfico se puede determinar la influencia de la mayor radiación del día extremo en comparación con el día promedio. En el periodo diurno, la CL tiene una T_{si} de 34.4°C y en el día extremo 41.9°C, un incremento de 7.5°C, mientras que en la CP este incremento es de 1.4°C. Por otro lado en el periodo nocturno se evidencia la repercusión del porcentaje de cobertura de cielo. La CL en el día promedio tiene una T_{si} de 25.6°C con un porcentaje de nubosidad en este periodo del 92%, y en el día extremo 24.8°C con el 81%. Mientras que en la CP, se tiene valores de 29°C en el día promedio y 30.6°C en el día extremo. Por tanto, la mayor capacidad de enfriamiento del cielo del día extremo representa una reducción de 0.8°C en la CL, mientras que en la CP se mostró un incremento de 1.6°C debido a que la cubierta recibió una mayor radiación en el periodo diurno y esta acumuló más energía, dificultando las pérdidas por radiación en la noche.

Si comparamos los resultados de las dos cubiertas, se confirma que la CP tiene unas temperaturas menores que la CL, en el periodo diurno. La diferencia en este periodo va desde 7.4°C en el día promedio y en el día extremo es de 13.5°C. Mientras que en el periodo nocturno es la CL la que tiene temperaturas menores que la CP. El diferencial en este periodo es de -3.4°C y -5.8°C.

4. Conclusiones

El conocimiento a detalle de las características climáticas de cada región es esencial antes de la elección de la materialidad de una edificación. Factores climáticos como la radiación solar o el porcentaje de cobertura de cielo, son determinantes sobre el comportamiento térmico de la cubierta, principalmente en esta región.

La baja masa térmica y baja resistencia térmica de la cubierta liviana representa una desventaja en el periodo diurno sobre las temperaturas radiantes en el interior del edificio, sin embargo estas mismas características representan una gran ventaja en el periodo nocturno.

Basado en los resultados de este estudio, los parámetros de la cubierta que son determinantes sobre el comportamiento térmico de esta, tomando en cuenta su relación con los factores climáticos predominantes de estas regiones, son: la alta emisividad de la superficie de la cubierta que aumentará las pérdidas por radiación y puede significar una disminución representativa de la temperatura de la superficie exterior e interior, especialmente en el periodo diurno; y por otra parte la baja masa térmica de la cubierta que aumenta la capacidad de enfriamiento por radiación hacia el cielo, en el periodo nocturno, y por tanto repercute en una disminución de la temperatura superficial interior de la cubierta y la temperatura del aire interior del espacio que cubre. A partir de estos resultados, la investigación integral de esta tesis plantea evaluar la modificación de los parámetros térmicos de estos dos tipos de cubiertas, y determinar cuál de ellos muestra un mejor comportamiento térmico sobre las condiciones interiores del espacio. Estos parámetros serán analizados en investigaciones futuras, para establecer guías o normas futuras de diseño para estos climas.

5. Referencias

- ASHRAE (2001) The ASHRAE handbook Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- ARCONEL (2013) Boletín Estadístico Sector Eléctrico Ecuatoriano 2010. Available via DIALOG. <http://www.regulacioneolica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/boletines-estadisticos/>.
- Beckers B (2012) Solar energy at urban scale. In: Paulescu M, Badescu V, Territorial and Urban Measurements. John Wiley & sons, Hoboken, p 13-36.
- Beckers, B, Masset L (2003) HeliodonTM_2.6-1 software. Available at: www.heliodon.net.
- Bergman T, Lavine A, Incropera F et al (2011) Fundamentals of Heat and Mass Transfer. In: Appendix A. John Wiley & sons, Danvers, p 981-1012.
- Černe B, Medved S (2007) Determination of transient two-dimensional heat transfer in ventilated lightweight low sloped roof using Fourier series. Building and Environment 42(6): 2279–2288.
- CONELEC (2008) Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica. Available via DIALOG. http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf. Accessed May 1 2016.
- CONELEC (2011) Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano 1990-1988. Available via DIALOG. <http://www.conelec.gob.ec/>. Accessed May 1 2016
- CTE WEB (2007), Código Técnico de la Edificación. Available via DIALOG. <http://cte-web.iccl.es/materiales.php?a=7>. Accessed May 5 2017
- Dimoudi A, Androutsopoulos A, Lykoudis S (2006) Summer performance of a ventilated roof component. Energy and Buildings 38(6): 610–617.
- Dollfus J (1954) Les aspects de l'architecture Populaire dans le monde. Albert Morancé, Paris, p 134.
- Downs A (1999) Some realities about sprawl and urban decline. Housing Policy Debate 10(4): 955-974. doi:10.1080/10511482.1999.9521356
- Gagliano A, Patania F, Nocera F, et al. (2012) Thermal performance of ventilated roofs during summer period. Energy and Buildings 49: 611–618.
- INEC (1990) CENSO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA 1990. Available via DIALOG. <http://www.ecuadorenconfiras.gob.ec/sistema-integrado-de-consultas-redatam/>. Accessed May 1 2016.
- INEC (2010) CENSO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA 2010. Available via DIALOG. <http://www.ecuadorenconfiras.gob.ec/sistema-integrado-de-consultas-redatam/>. Accessed May 1 2016.
- Jayasinghe M, Attalage R, Jayawardena A (2003) Roof orientation, roofing materials and roof surface colour: their influence on indoor thermal comfort in warm humid climates. Energy for Sustainable Development 7(1): 16–27. doi.org/10.1016/S0973-0826(08)60345-2.
- Koch-Nielsen H (2002) Stay cool : a design guide for the built environment in hot climates. Earthscan, London.
- Koenigsberger O, Ingersoll T, Mayhew A. et al (1975) Manual of tropical housing and building climatic design. Orient Blackswan, Hyderabad.
- Olgay V (1963) Design with Climate_ Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Princeton University Press, New Jersey.
- Serra R, Coch H (2001) Arquitectura y energía natural. Edicions UPC, Barcelona.
- Simpson J, McPherson E (1997) The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona. Energy and Buildings, 25(2): 127–137.
- Suehrcke H, Peterson E, Selby N (2008) Effect of roof solar reflectance on the building heat gain in a hot climate. Energy and Buildings, 40(12): 2224–2235.
- Torres J, Pages A, Coch H, et al (2016) RADIATIVE PERFORMANCE ASSESSMENT OF TWO ROOFS IN MEDITERRANEAN AND EQUATORIAL CLIMATES. In: Beckers B, Pico T, Jiménez S (eds) Proceedings of the First International Conference in Urban Physics, Quito, 2016.
- United Nations (2014) World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Available via DIALOG: <http://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Highlights.pdf>. Accessed 10 May 2016

Vijaykumar K., Srinivasan P., Dhandapani S (2007) A performance of hollow clay tile (HCT) laid reinforced cement concrete (RCC) roof for tropical summer climates. *Energy and Buildings*, 39(8): 886–892.

Whitney W, Smith B (1901) *The Century dictionary and cyclopedia*. In: Vol6. Century CO, New York, p 5221.

Wilson A, Jetz W (2016) Remotely Sensed High-Resolution Global Cloud Dynamics for Predicting Ecosystem and Biodiversity Distributions. *PLoS biology*, 12(1): 1–3. Available via DIALOG: <http://www.earthenv.org/>. Accessed May 10 2016.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido apoyado por el Ministerio de Economía de España bajo el código del proyecto: BIA2016-77675-R. JTQ agradece a la beca de la SENESCYT ref. AR6C9307 del gobierno de Ecuador.