

Smart Communities

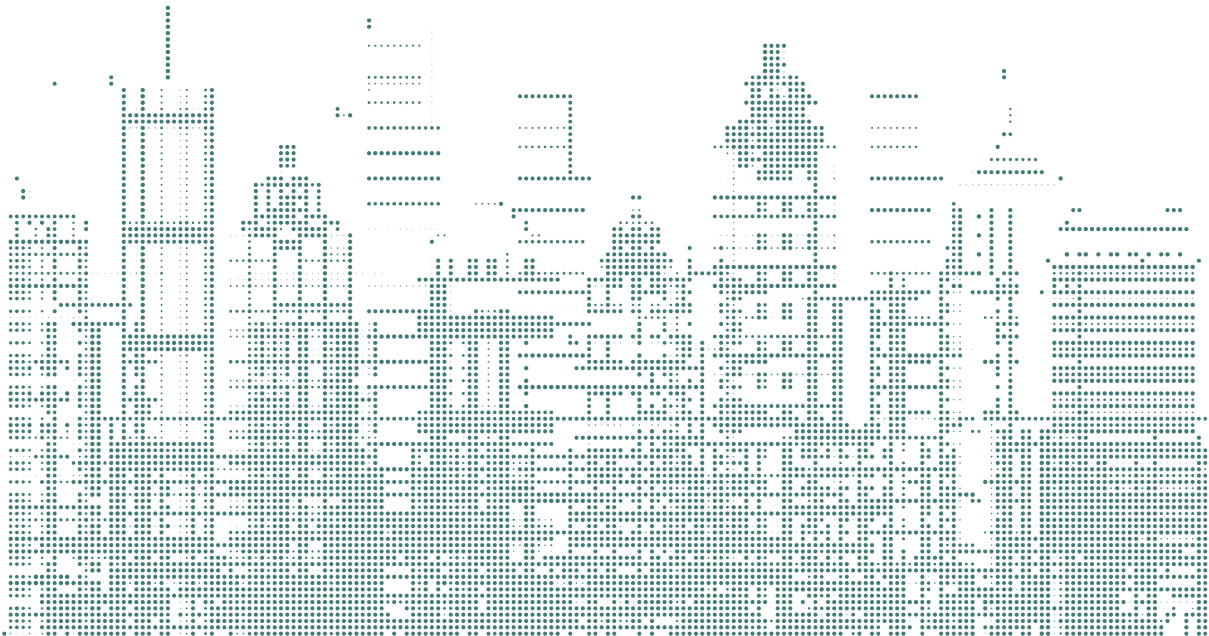
9º Congreso Europeo
sobre Eficiencia Energética y Sostenibilidad
en Arquitectura y Urbanismo

2º Congreso Internacional de Construcción Avanzada

9th European Conference
on Energy Efficiency and Sustainability
in Architecture and Planning

2nd International Congress on Advanced Construction

10-12 SEPTEMBER • 2018 • BILBAO



eman la zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea



EESAP⁹
CICA²

CIP. Biblioteca Universitaria

Congreso Europeo sobre la Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura y Urbanismo (9º. 2018. Bilbao)

Smart Communities [Recurso electrónico]: 9º Congreso Europeo sobre Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura y Urbanismo – 2º Congreso Internacional de Construcción Avanzada = 9th European Conference on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture and Planning – 2nd International Congress of Advanced Construction : Bilbao 10-12 Septiembre 2018 / [editor] Rufino J. Hernández Minguillón. – Datos. – Bilbao : Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, Argitalpen Zerbitzua = Servicio Editorial, 2018. – 1 recurso en línea : PDF (220 p.)

Congreso organizado por el grupo de investigación Caviar, Calidad de Vida en la Arquitectura de la UPV/EHU, en el marco de los XXXVII Cursos de Verano.

Texto bilingüe en español e inglés.

Modo de acceso: World Wide Web

ISBN. 978-84-9082-909-7

1. Arquitectura sostenible. 2. Arquitectura y economías de energía. I. Hernández Minguillón, Rufino J., ed.
II. Congreso Internacional de Construcción Avanzada (2º. 2018. Bilbao)

(0.034)620.9:720(064)

EDITOR

Rufino J. Hernández Minguillón

DISEÑO

Matxalen Etxebarria Mallea

Elena Moreno Jordana

EDITA

© Universidad del País Vasco/Euskal

Herriko Unibertsitatea, Servicio

Editorial/Argitalpen Zerbitzua, 2018.

ISBN: 978-84-9082-909-7

**9º CONGRESO EUROPEO SOBRE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD EN
ARQUITECTURA Y URBANISMO / 2º CONGRESO INTERNACIONAL DE CONSTRUCCIÓN
AVANZADA**

9th EUROPEAN CONFERENCE ON ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY IN
ARCHITECTURE AND PLANNING / 2nd INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED
CONSTRUCTION

Smart communities

RUFINO J. HERNÁNDEZ MINGUILLÓN

Bilbao, 10 - 12 Septiembre 2018

COMITÉ ORGANIZADOR

El Congreso está organizado por Cursos de Verano de la Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, el Grupo de Investigación CAVIAR Calidad de Vida la Arquitectura de la UPV/EHU y el clúster de construcción ERAIKUNE.

Rufino J. Hernández Minguillón (Presidente)
Arritokieta Eizaguirre Iribar, Matxalen Etxebarria Mallea (CAVIAR)
Jon Ansoleaga, Ana Ortega (ERAIKUNE)

COMITÉ CIENTÍFICO

Fernando Bajo
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Javier Cenicacelaya
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Xabier Barrutietia
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Olatz Irulegi
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Jose María Sala
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Arritokieta Eizaguirre
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Víctor Echarri
Universidad de Alicante

Helena Granados
Arquitecta

Agustín Hernández
Universidad Politécnica de Madrid

Eduardo de Oliveira
Universidade de Porto. Agencia de Energía de Porto

Judith Ryser
International Society of City and Regional Planners

Matheos Santamouris
University of New South Wales

Waseem Kotoub
British Council Qatar

Isabela Velazquez
Arquitecta

11 COMUNICACIONES /PAPERS

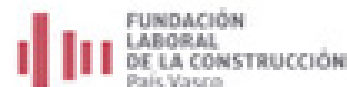
- 13** Desarrollo y puesta en práctica de una metodología hacia el diseño de ZEB coste-óptimos
Development and implementation of a methodology towards a cost-optimal ZEB design
BLAS BERISTAIN DE LA RICA
-
- 23** El conocimiento de los certificados energéticos por parte de los profesionales inmobiliarios. El papel de las Administraciones Públicas
The knowledge of the energetic certificates on the part of the real-estate professionals. The role of the Public Administrations
LUIS DELGADO MENDEZ
-
- 31** Termografía y monitorización como herramientas para el análisis y la toma de decisiones en las propuestas de mejora de Rehabilitaciones Energéticas
Thermography and building monitoring as tools for analysis and decision making in proposals for Energy Refurbishment improvements
MARTA EPELDE MERINO
-
- 39** Diseño de la determinación experimental del comportamiento térmico de construcciones industrializadas de *Guadua angustifolia kunth* en Colombia
Design of experimental determination of the thermal behavior of industrialized constructions with *Guadua angustifolia kunth* in Colombia
FRANCISCO JAVIER FERNANDEZ GARCIA
-
- 49** Diseño de invernadero prefabricado para precalentar el aire de ventilación y reducir el consumo energético: ángulo óptimo de acristalamiento
Prefabricated greenhouse's design to preheat the ventilation air and reduce energy consumption: optimal glazing angle
JOSEBA GAINZA BARRENCUA
-
- 59** Los modelos de simulación y cálculo de redes de abastecimiento como herramienta para la sostenibilidad en las ciudades
Simulation and computing models of water supply networks as a tool for sustainability in cities
CARLOS GARCIA TERAN
-
- 67** La Transformación Digital del Sector Público
Digital Transformation of The Public Sector
JOSÉ ANTONIO ARENAS MÁLAGA AND GUILLERMO GARCIA PEDRAZA
-
- 79** Repercusión de los aspectos socio-económicos en las tipologías de vivienda industrializada: Uso de hormigón aligerado en Asturias
Impact of socio-economic aspects on the typologies of industrialized housing: Use of lightweight concrete in Asturias
DANIEL GONZALEZ PRIETO
-
- 93** Propuesta de una metodología basada en el análisis multicriterio para valorar el desempeño sostenible de diferentes tipos de cubiertas planas
Proposal of a multicriteria decision analysis methodology to assess the sustainable performance of different flat roof types
SALVADOR GUZMAN SANCHEZ
-

-
- 103** **La refrigeración de los centros de datos diseña nuevos paisajes artificiales**
The need for cooling of data centers designs new artificial landscapes
CRISTINA JORGE CAMACHO
-
- 115** **Optimización de recursos de la construcción a través de la gestión de los materiales e incremento de la productividad de la mano de obra en Costa Rica**
Optimization of construction resources through the management of materials and increase in the productivity of the workforce in Costa Rica
ANA GRETTEL LEANDRO HERNANDEZ
-
- 127** **Cuantificación de la inercia térmica de los edificios basada en una nueva metodología de calibración para lograr edificios energéticamente flexibles**
Accurate building thermal mass quantification based on a new calibration methodology for energy flexible buildings
EVA LUCAS SEGARRA AND VICENTE GUTIÉRREZ GONZALEZ
-
- 137** **Resultados de un proyecto colaborativo en materia de construcción eficiente: Manual E3CN**
Outcomes from the Energy Efficiency Buildings Collaborative Platform: E3CN handbook
CARMEN DEVESA FERNANDEZ
-
- 147** **Software para la supervisión de instalaciones de calefacción y ACS mediante la aplicación de la Exergoeconomía**
Software for the supervision of heating and DHW facilities through Exergoeconomics application
ANA PICALLO PEREZ
-
- 161** **Análisis energético en diferentes zonas climáticas de una Bomba de Calor de Aire acoplada a una Fachada Ventilada Fotovoltaica para producción de agua caliente**
Energy analysis in different climatic zones of an Air Source Heat Pump coupled to a Photovoltaic Ventilated Façade for the production of hot water
ERIK SALAZAR HERRAN
-
- 171** **Análisis del potencial de la contabilización de consumos individuales como estrategia para la reducción del consumo energético en bloques de viviendas**
Analysis of the potential of individual metering and charging as strategy for the reduction of energy consumption in multifamily buildings
JON TERES ZUBIAGA
-
- 181** **Rehabilitación energética con criterios Passivhaus de la escuela El Garrofer en Viladecans (Barcelona)**
School "El Garrofer" energy retrofit following Passivhaus standard in Viladecans (Barcelona)
MICHEEL WASSOUF
-
- 187** **SESIÓN PÓSTER /POSTER SESSION**
-
- 195** **PATROCINADORES /SPONSORS**
-

Patrocinadores platino



Patrocinadores oro



Colaboradores



Presentación

Este libro recoge las comunicaciones seleccionadas para el 9º Congreso Europeo sobre Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura / 2º Congreso de Construcción Avanzada, organizado por el grupo de investigación Calidad de Vida en Arquitectura de la Universidad del País Vasco/ Euskal Herriko Unibertsitatea en colaboración con el Eraikune, Clúster de la Construcción de Euskadi. El congreso, que se celebra en el marco de los XXXVII Cursos de Verano de la UPV/EHU, aborda en esta edición el tema "SMART COMMUNITIES". Alrededor de este tema general se desarrollan ocho ponencias magistrales, además de 20 comunicaciones seleccionadas por el comité científico que presentarán trabajos de investigaciones actuales en las sesiones orales y póster.

El Congreso pretende aprovechar la sinergia producida por la intervención de ponentes y participantes con perfiles diversos para analizar y proponer respuestas a los problemas actuales con profundidad y especificidad a partir de un marco general integrado. Es objetivo paralelo del congreso es fortalecer las líneas de investigación en eficiencia energética y sostenibilidad y de construcción avanzada de los grupos de investigación y formación de la UPV/ EHU comprometidos con esta propuesta, con objeto de colaborar en el reforzamiento de la I+D+i en su ámbito de conocimiento y apoyar la apuesta específica de los Gobiernos Central y Vasco, así como de otras instituciones nacionales e internacionales respecto a las actividades de I+D+i en las materias relacionadas con el cambio climático, la eficiencia energética, la sostenibilidad ambiental en un entorno de competitividad equilibrado. Durante el congreso se hará entrega de la quinta edición del Premio EESAP a las dos mejores comunicaciones orales del Congreso con el objetivo de fomentar y recompensar las presentaciones de calidad. Se entregarán al autor o autores de las comunicaciones que, según la valoración por pares realizada el Comité científico, sean merecedoras de tales galardones. Finalmente queremos agradecer a las instituciones y empresas que colaboran con esta novena edición del Congreso: Vicerrectorado del Campus de Gipuzkoa, Vicerrectorado de Investigación, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Departamento de Arquitectura, Gobierno Vasco y demás instituciones y empresas patrocinadoras.

Comité organizador

Introduction

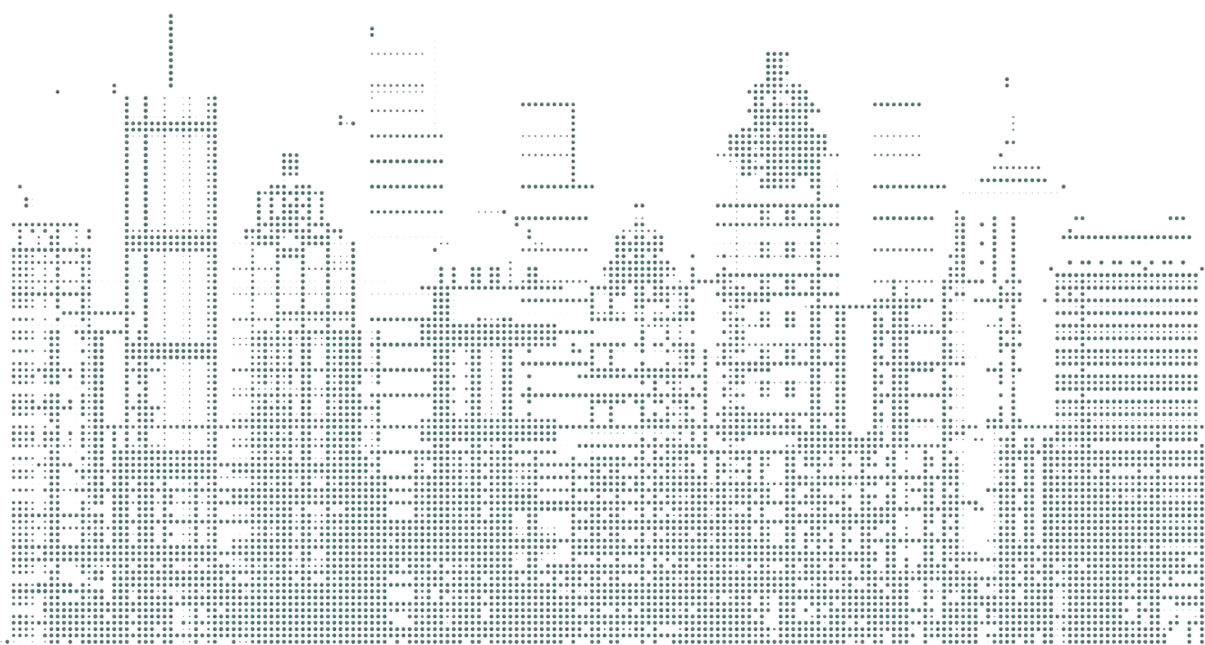
This book collects the papers selected for the 9th European Congress on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture / 2nd Congress of Advanced Construction, organized by the research group Quality of Life in Architecture of the University of the Basque Country / Euskal Herriko Unibertsitatea in collaboration with Eraikune, Cluster of Construction of Euskadi. The congress, held in the framework of the XXXVII Summer Courses of the UPV / EHU, addresses in this edition the theme "SMART COMMUNITIES". Around this general topic eight lectures are developed, in addition to 20 communications selected by the scientific committee, which will present current research works through oral sessions and posters.

The Congress aims to take advantage of the synergy produced by the intervention of speakers and participants with diverse profiles to analyze and propose answers to current problems with depth and specificity from an integrated general framework. The parallel objective of the conference is to strengthen the lines of research on energy efficiency and sustainability and advanced construction of the research and training groups of the UPV / EHU committed to this proposal, in order to collaborate in the reinforcement of R & D & I in its field of knowledge and to support the specific commitment of the Central and Basque Governments, as well as other national and international institutions regarding R & D & I activities in subjects related to climate change, energy efficiency and Environmental sustainability in a balanced competitive environment. During the congress, the fifth edition of the EESAP Award will be presented for the two best contributions to the Congress, which aim to encourage and reward quality presentations. They will be delivered to the author or authors of the communications who, according to the peer assessment made by the Scientific Committee, are deserving of such awards. Lastly, we would like to thank the institutions and firms that collaborate with this ninth edition of the Congress: Vice-Rectorate of the Gipuzkoa Campus, Vice-Rectorate of Research, Higher Technical School of Architecture, Department of Architecture, Basque Government and other sponsoring institutions and firms.

Organizing Committee

Comunicaciones

Papers



Desarrollo y puesta en práctica de una metodología hacia el diseño de ZEB coste-óptimos

Development and implementation of a methodology towards a cost-optimal ZEB design

Blas Beristain de la Rica¹, Jon Zubiaurre Sasia¹, Patxi Sánchez Aguilar¹,
Iñaki Gómez Arriaran², Luis Alfonso del Portillo Valdés²

ABSTRACT

Los edificios son responsables del 40% del consumo de la energía primaria de la UE. La UE publicó la Directiva 2010/31/UE (EPBD) que persigue la reducción del consumo energético de los edificios por medio de los edificios de consumo “casi” nulo, o nZEB. El término “casi”, ambiguo e indeterminado, conlleva diferentes interpretaciones entre los agentes del sector generando confusión en torno a este objetivo, y la práctica está demostrando que no parece acertado el empleo de una definición tan poco explícita, ni la no definición de una metodología común.

Además de establecer que los edificios han de ser nZEB, la EPBD especifica que éstos han de ser diseñados bajo criterios coste-óptimos, estudiando el coste del edificio en su ciclo de vida completo (que incluye el coste de inversión, operación y mantenimiento). Sin embargo, tampoco se desarrolla una metodología de referencia para este requisito.

Esta ponencia explica el estado del arte, la problemática a la que se enfrentan los profesionales del sector, y ofrece un caso práctico de aplicación de una metodología de diseño coste óptima en base a un edificio real, que resulta extrapolable a otros edificios.

De esta manera, el edificio de Idom Bilbao ha sido modelado virtualmente y calibrado con los consumos energéticos reales registrados. La ponencia cuenta el proceso de optimización energética llevada a cabo en el edificio, y analiza las particularidades del consumo energético de un edificio de oficinas. Tras este primer proceso, se desarrollan simulaciones energéticas multi-paramétricas (12.600 variables de diseño), para analizar la viabilidad técnica y económica de llevar este edificio a un nivel ZEB en cuatro climatologías Europeas.

Los resultados muestran cómo, antes de establecer objetivos normativos, sería conveniente estudiar el estado actual del consumo de los edificios, ya que alcanzar un ZEB es complejo y costoso, con plazos de amortización inasumibles en diversos casos. Por otra parte, se analizan las diferentes estrategias de diseño de edificios para alcanzar los niveles ZEB, y pone en cuestión algunas de las prácticas habituales en el diseño de edificios de oficina.

La principal conclusión demuestra cómo el uso de una metodología de diseño coste-óptima, en base a simulaciones multi-paramétricas de nube de puntos, permite diseñar y construir mejores edificios, en base a su ciclo de vida útil.

Key Words: ZEB, Eficiencia energética, Edificios de Energía Cero, Diseño coste-óptimo, Sostenibilidad.

1. Introducción

Según datos de la Unión Europea (UE) los edificios son responsables del 40% del consumo de la energía primaria y de un 36% de las emisiones de CO₂ [1, 2]. Con el objetivo de reducir este consumo y las emisiones GEI asociadas, la Unión Europea publicó la Directiva 2010/31/UE [3], conocida como EPBD (Energy Performance of Building Directive). Uno de los apartados más relevantes de la directiva es el requerimiento de que todos los edificios sean de consumo “casi” nulo, o nearly Zero Energy Buildings (nZEB), para finales del año 2020. El término “casi”, ambiguo e indeterminado, conlleva diferentes interpretaciones entre los agentes del sector, generando confusión en torno a este objetivo. La UE fija un plazo máximo de aplicación, pero deja a criterio de los diferentes Estados Miembro (EM) el establecimiento de las metodologías de aplicación y la definición de objetivos. Pudiendo entenderse el hecho de dar libertad a la hora de fijar objetivos, debido a las diferencias climáticas, económicas o socioculturales entre los diferentes EM, no parece acertado el empleo de una definición tan poco explícita, así como la no definición de una metodología común. De esta manera parece que, en un marco unitario de libre comercio, las reglas de juego no son comunes y no están claras.

Ante esta situación, y con toda Europa construyendo “edificios nZEB” cuando no existe una definición técnica clara y aceptada, los edificios nZEB podrían entenderse como el primer paso hacia el que parece ser el objetivo final, los Zero Energy Buildings (ZEB), los edificios positivos o incluso los edificios que integren el balance nulo en todo su ciclo de vida (LC-ZEB).

La investigación desarrollada en este trabajo analiza los términos de nZEB y los ZEB, que se usan habitualmente en el ámbito de la edificación. Por otra parte, se analiza, para cuatro climatologías Europeas, lo que supone para un edificio alcanzar estos niveles de consumo energético, si resultan un objetivo técnicamente viable, y de ser así, a qué precio.

El estudio presenta un desarrollo para la metodología de cálculo que cita la EPBD, y se pone en práctica en un edificio real de una tipología de oficina. La metodología de cálculo propuesta y su desarrollo, podrá ser replicada en todo tipo de tipologías de edificación para hallar las soluciones coste-óptimas que permitan alcanzar en nivel ZEB, permitiendo así a los Estados Miembro (EM) cumplir con los objetivos de la EPBD.

2. Estado del arte

2.1 Edificios ZEB

Una de las primeras investigaciones en el campo de los Zero Energy Buildings (ZEB) es el “Zero Energy

1. Introduction

According to the European Union (EU) buildings are responsible for 40% of primary energy consumption and 36% of CO₂ emissions [1, 2]. In order to reduce this consumption and associated GHG emissions, the European Union published the 2010/31/EU Directive [3], known as EPBD (Energy Performance of Buildings Directive). One of the most relevant sections of the directive is the requirement that all buildings become “nearly” Zero Energy (nZEB) consumers by the end of 2020. The term “nearly”, ambiguous and indeterminate, entails different interpretations among the agents of the sector, generating confusion around this objective. The EU establishes a maximum period of application, but leaves to the different Member States (MS) the tasks of developing the application methodologies and the consumption target definitions. Being able to understand the fact of giving freedom when setting objectives, due to climatic, economic or sociocultural differences between the different MS, the use of an undefined definition, as well as the non-definition of a common methodology, does not seem right. It seems that, in a European Union of free trade, the rules of the game are not common and are not clear.

With all of Europe building “nZEB buildings” when there is not even a clear and accepted technical definition, the nZEB buildings could be understood as the first step towards, what seems, like the ultimate goal, the Zero Energy Buildings (ZEB), the positive buildings or even the buildings that integrate the zero balance throughout their life cycle (LC-ZEB).

The research developed in this paper analyzes the terms of nZEB and ZEB with focus on for four European climatologies. It studies what it means for a building to reach these levels of low energy consumption, if they are a technically viable objective, and if so, at what cost.

The study presents a development for the calculation methodology cited by the EPBD, and is put into practice in a real office building. The proposed calculation methodology and its development could be replicated in all building types in order to find cost-optimal solutions that permits the ZEB level, thus allowing Member States (MS) to meet the objectives of the EPBD.

2. State of the art

2.1 ZEB buildings

One of the first researches on the field of Zero Energy Buildings (ZEB) is the “Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition” [4], which defines them as buildings able to supply their energy demand through local and non-polluting low cost renewable resources. When compensating for energy consumption through renewable energy, the following

Buildings: A Critical Look at the Definition" [4], que los define como edificios capaces de abastecer su demanda energética por medio de recursos renovables de bajo coste, locales y no contaminantes. A la hora de compensar los consumos energéticos por medio de energías renovables, se plantean los siguientes criterios de actuación [4]: Han de priorizarse en primer lugar las estrategias de arquitectura pasiva (reducción de la demanda), seguido del uso de sistemas y equipos de alta eficiencia energética (reducción del consumo), introduciendo después las energías renovables generadas in-situ, para finalmente incorporar energías renovables externas.

En septiembre de 2015 el United States Department of Energy (USDOE) presentó una definición de los ZEB [5] que resulta, hasta la fecha, el trabajo de mayor consenso entre la comunidad científica y agentes del sector. El ZEB se define como "un edificio de alta eficiencia energética en el que, sobre una base de energía primaria (ep), la energía anual importada de la red al edificio (electricidad de la red general, district heating/cooling, combustibles renovables y no renovables) es menor o igual, a la energía renovable generada en la parcela y exportada a la red.

Finalmente, mediante la Recomendación (UE) 2016/1318 de La Comisión de 29 de julio de 2016 [6], se establecen los valores de referencia para los consumos de los nZEB (para vivienda y edificio de oficina), que se pueden observar en la Tabla 1.

ZONE	TYPOLGY	Net PE (kWhpe/m ² .year)	non-renewable PE (kWhpe/m ² .year)	Renewable PE (kWhpe/m ² .year)
Mediterranean	Office	20-30	80-90	60
	Single-house	0-15	50-65	50
Continental	Office	40-55	85-100	45
	Single-house	20-40	50-70	30
Oceanic	Office	40-55	85-100	45
	Single-house	15-30	50-65	35
Nordic	Office	55-70	85-100	30
	Single-house	40-65	65-90	25

Tabla 1.
Consumo de nZEB.
nZEB consumption.

Los enfoques de la UE y el USDOE difieren en algunos aspectos importantes, más allá del objetivo numérico de consumo de energía primaria neta, siendo las más relevantes los conceptos del balance energético, y tipología de balance.

Mientras que la UE tan sólo contempla los consumos de las instalaciones fijas del edificio (calefacción, ACS, refrigeración, ventilación, bombeo e iluminación), el USDOE contempla todos los consumos energéticos. Y mientras que el USDOE contempla un balance que resulta objetivo y claro, en el que la cantidad de energía importada de la red se compensa con la energía producida por el edificio y que es exportada a la red, la UE compensa la energía primaria consumida con energía renovable. Llevar el enfoque de la UE a la práctica y contabilizarlo de manera objetiva resulta complejo, y como apuntan algunos investigadores, el éxito para la implantación de una normativa reside en su claridad y sencillez. Es

action criteria is proposed [4]: Passive architecture strategies must be prioritized first (reduction of demand), followed by the use of high energy efficiency systems and equipment (reduction of consumption), introducing then the on-site renewable energies, to finally incorporate off-site renewable energies.

In September 2015, the United States Department of Energy (USDOE) presented a definition of the ZEB [5] which, to date, is the work of greatest consensus among the scientific community and construction sector. The ZEB is defined as "high energy efficiency building in which, on a primary energy (pe) basis, the annual amount of energy imported from the grid to the building (electricity from the general grid, district heating / cooling, and renewable and non-renewable fuels) is less than, or equal to, the renewable energy generated in the plot and exported to the grid.

Finally, with the Commission Recommendation (EU) 2016/1318 of July 29, 2016 [6], the EU established reference values for nZEB consumption (for housing and office building), which can be observed in Table 1.

The EU's and USDOE's approaches differ in some important aspects, beyond the numerical objective of net primary energy consumption. The most concepts are the energy balance accountancy and the type of balance.

While the EU only considers the consumptions of the fixed installations of the building (heating, DHW, cooling, ventilation, pumping and lighting), the USDOE contemplates all energy consumption. And while the USDOE contemplates an objective and clear balance method, in which the amount of energy imported from the grid, is compensated by the energy produced by the building and exported to the grid, the EU compensates the primary energy consumed by the building with the renewable energy produced by the building. Bringing the EU approach to practice and accounting for it objectively is complex, and as some researchers point out, the success for the implementation of a regulation lies in its clarity and simplicity. This is why the measurement and verification of the energy consumption is one of the most important aspects of the ZEB. To date we are talking about nZEB or ZEB in design phase, tested by software of greater or lesser capacity, in conditions far from the real use of buildings. If the final objecti-

por esto, que la medición y verificación de consumos resulta uno de los aspectos más importantes de los ZEB. Hasta la fecha se habla de nZEB o ZEB en fase de diseño, testado por softwares de mayor o menor capacidad, en condiciones poco parecidas al uso real de los edificios. Si el objetivo es verdaderamente la reducción del consumo de edificios, la normativa debiera referirse al consumo energético real de los edificios, y sólo tras la verificación de los consumos energéticos alegados por un edificio, deberían otorgársele las siglas de nZEB o ZEB.

2.2. Diseño coste-óptimo

De acuerdo al Artículo 5 del Anexo III de la EPBD, el parlamento Europeo suplementa la Directiva en Enero del 2012 mediante los documentos Commission delegated Regulation (EU) N° 244/2012 [7] y Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) N° 244/2012 [8]. En ellos se establece el marco metodológico comparativo para calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y de sus elementos. Con el objetivo de adaptar el marco metodológico comparativo a las diferentes circunstancias nacionales, se requiere que los EM:

- Determinen los edificios de referencia por tipología que representen el stock de edificios típico o promedio, para que los resultados sean extrapolables.
- Identifiquen las medidas de eficiencia energética y energías renovables que, desde un punto de vista coste-óptimo, tengan impacto, en el comportamiento energético de los edificios.
- Definan los coeficientes de conversión a energía primaria.
- Definan los costes iniciales, de mantenimiento y repuesto, y el coste derivado del consumo energético.
- Identifiquen el rango coste-óptimo basado en los cálculos de energía primaria y coste global asociados a cada una de las medidas analizadas.
- Definan los valores de calidad del aire interior y otros aspectos de confort, que han de cumplir con los requisitos básicos de las regulaciones nacionales en materia de confort.

3. Metodología

Esta investigación ha sido desarrollada sobre un edificio de 1973 abandonado, que en el 2008 fue objeto de una rehabilitación integral por parte de la empresa Idom Consulting, Engineering and Architecture, para convertirlo en su nueva sede en Bilbao. El edificio, cuenta con sistemas de alta eficiencia energética como calderas de condensación, produc-

ve is a sincere reduction of the energy consumption of buildings, the regulations should refer to the real energy consumption of buildings, and only after verifying the energy consumption claimed by a building, should they be given the acronym nZEB or ZEB.

2.2. Cost-optimal design

According to Article 5 of Annex III of the EPBD, the European Parliament supplements the Directive in January 2012 through the Commission delegated Regulation (EU) No. 244/2012 [7] and the Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) No. 244 / 2012 [8] documents. They establish a comparative methodological framework to calculate the optimal levels of profitability of the minimum energy efficiency requirements of buildings and their elements. In order to adapt the comparative methodological framework to the different national circumstances, it is required that MS:

- Determine the reference buildings by typology that represent the typical or average building stock, so that the results can be extrapolated.
- Identify the measures of energy efficiency and renewable energy that, from a cost-optimal point of view, have an impact on the energy performance of buildings.
- Define the coefficients of conversion to primary energy.
- Define the initial, maintenance and replacement costs, and the cost of the energy consumption.
- Identify the cost-optimal range based on the calculations of primary energy and global cost associated with each of the measures analyzed.
- Define the values of indoor air quality and other aspects of comfort, which must comply with the basic requirements of national regulations.

3. Methodology

This investigation has been developed based on an abandoned building of 1973, which in 2008 was the object of an integral rehabilitation by the company Idom Consulting, Engineering and Architecture, to turn it into its new headquarters in Bilbao. The building has high energy efficiency systems such as condensing boilers, production of cold water at high temperature, chilled beams and inductors. Since its inauguration in 2011, the energy consumption has been sub-metered, with which Idom has carried out a detailed energy management work to reduce them continuously. From this data, the period from 2013 to 2014 has been selected in which the discriminated hourly consumption of the building is analyzed, and a specific climatic archive of that period has been created to carry out a detailed energy

ción de agua fría a alta temperatura y vigas frías e inductores. Desde su inauguración en el 2011, se han registrado los consumos energéticos discriminados, con los que Idom ha llevado a cabo un trabajo de gestión energética para reducirlos de manera continuada. De estos datos, se ha seleccionado el periodo de 2013 a 2014 en el que se analizan los consumos horarios discriminados del edificio, y se ha generado un archivo climático específico de ese periodo para llevar a cabo una simulación energética detallada.

Por medio del Design Builder v4.2 el edificio ha sido modelado y calibrado con los consumos energéticos y datos climáticos reales. Una vez alcanzada una calibración horaria mensual detallada, se han introducido estrategias de eficiencia energética para determinar la capacidad ahorro energético que dispone el edificio por medio de mejores prácticas de uso. Sobre el edificio optimizado, se han simulado 4.200 variables de estrategias de eficiencia energética pasivas para determinar el conjunto de variables coste-óptimo de este edificio, para después calcular la inversión necesaria para alcanzar el objetivo ZEB. Este ejercicio se ha realizado para cuatro ciudades con diferentes climatologías Europeas: Bilbao (BIO), Sevilla (SEV), Bruselas (BRU) y Estocolmo (EST).

4. Experimentación

4.1. Gestión energética continuada

En los tres primeros años desde su puesta en marcha, el trabajo en la optimización de horarios y consignas de temperatura, y en los algoritmos de funcionamiento de los equipos, ha permitido reducir el consumo energético total del edificio un 24% (de 312,6 kWhpe/m².año a 237,6 kWhpe/m².año), sin inversión alguna. Estos valores representan el consumo total registrado por el BMS del edificio, y hacen referencia a los consumos energéticos anuales (24 h y 365 días al año, en años que tuvieron una mayor severidad climática).

4.2. Modelización, calibración y optimización de uso

Se ha generado un modelo virtual en base a la información de proyecto detallada del edificio, y a datos (de ocupación, consignas, etc.) tomados in-situ. El modelo virtual ha sido después calibrado con los datos de consumo discriminados registrados por el BMS, hasta alcanzar una diferencia de consumo anual entre el edificio real y virtual, inferior al 2% de consumo y de coste (basado en el cálculo de las 8.760 horas anuales).

Sobre este modelo de edificio calibrado, se han planteado estrategias de mejores prácticas de uso para identificar las capacidades de ahorro adicional del edificio, y valorar el impacto de los usuarios en el consumo energético. Mediante un uso optimizado del edificio, manteniendo los niveles de confort

simulation.

Through Design Builder v4.2 the building has been modeled and calibrated with the real energy consumption and climate data. Once a detailed monthly hourly calibration has been reached, energy efficiency strategies have been introduced to determine the energy saving capacity of the building through better use practices. On the optimized building, 4.200 passive energy efficiency variables were simulated to determine the set of cost-optimal variables for this building, and the investment necessary to reach the ZEB objective for each of them has been calculated. This exercise was carried out for four cities in different European climatologies: Bilbao (BIO), Seville (SEV), Brussels (BRU) and Stockholm (EST).

4. Experimentation

4.1. On-going energy management

In the first three years since its inauguration, the work in the optimization of schedules and temperature set-points, and in the equipment operation algorithms, has made possible to reduce the total energy consumption of the building by a 24% (from 312.6 kWhpe/m².year to 237.6 kWhpe/m².year), without any investment. These values represent the real total energy consumption metered on-site by the BMS, and refer to the annual energy consumption (24 h and 365 days a year, in years that were more severe from the climatologic point of view).

4.2. Modeling, calibration and optimization of use

A virtual model has been developed based on the detailed project information, and data of occupation, set-point, etc. gathered on-site. The virtual model was then calibrated with the discriminated consumption data recorded by the BMS, until a difference in annual consumption between the real and virtual building consumption and cost was lower than 2% (based on the calculation of 8,760 hours).

Over the calibrated building model, strategies of best use practices have been proposed to identify the building's additional savings capacities, and to assess the impact of users on energy consumption. Through an optimized use of the building, and maintaining international comfort levels, the energy consumption of fixed installations (heating, DHW, cooling, lighting, ventilation and pumping) could be reduced from 125 kWhpe/m².year to 64.9 kWhpe / m².year through three strategies:

- Reduction of the infiltration in the entrance, replacing of entrance door system (8% savings).
- Rationalization of temperature set-points to standard values (additional 16% savings).

internacionales, el consumo energético de las instalaciones fijas (calefacción, ACS, refrigeración, iluminación, ventilación y bombeo), podría reducirse desde los 125 kWhep/m².año hasta los 64,9 kWhep/m².año por medio de tres estrategias:

- Reducción de las infiltraciones en la entrada mediante sustitución de puerta de entrada (8%).
- Normalización de consignas a valores internacionales en todo el edificio (16% adicional)
- Optimización de la iluminación (consignas y periodo nocturno) y subsanación de incidencias (32% adicional).

4.3. Diseño coste-óptimo

Sobre el modelo optimizado, se ha desarrollado un estudio de diseño coste-óptimo, con el objetivo de valorar las variables de diseño constructivo óptimas basado en el ciclo de vida de uso del edificio. Esta matriz de variables y los resultados para las cuatro climatologías se encuentran en la Tabla 3. La tabla cuantifica la idoneidad de cada una de las variables energéticas de la matriz de simulaciones con respecto al resto de variables analizadas, comparando los resultados promedio (de consumo energético de las instalaciones fijas, y de coste de las variables a 20 años incluyendo la inversión y el coste del consumo energético acumulado) de cada una de las diferentes variables simuladas, con los resultados promedio de todas las simulaciones realizadas. De esta manera, se puede observar el potencial promedio de cada una de estas variables. Estas conclusiones, podrían ser utilizadas como punto de partida de buenas prácticas constructivas, en el diseño y rehabilitación de edificios de oficina para cada climatología. Los valores positivos, identifican aquellas soluciones que representan una mejora respecto a los valores promedio (estrategias recomendadas), mientras que los negativos, representan el incremento de consumo y/o coste (estrategias no recomendadas). Los valores en negrita, hacen referencia al modelo de menor consumo energético o menor coste total (coste-óptimo) para cada climatología. En las filas 30 y 31 se encuentran los valores de consumo y coste del promedio de modelos y del modelo coste-óptimo.

Estos resultados demuestran en primer lugar, el diferencial de consumo y coste que existe en los climas de frío severo y, por otra parte, cómo el buen diseño repercute en un ahorro sustancial en el ciclo de vida completo del edificio.

Las Figuras 1 y 2 identifican con cada punto, cada posible combinación de variables de la matriz de la Tabla 3 para la climatología de Estocolmo. Con el consumo energético en el eje abscisa, y coste en el de ordenadas, en la Figura 1 se representa el coste de inversión, o el coste del edificio en el año cero, mientras que en la Figura 2, se analiza el coste de las

- Optimization of lighting (set-points and night period) and correction of technical issues (additional 32% savings).

4.3. Cost-optimal design

On the optimized model, a cost-optimal design study has been developed, with the objective of evaluating the optimal design variables based on the life cycle cost of the building. This matrix of variables and the results for the four climatologies can be found in Table 3. The table quantifies the suitability of each energy variable of the simulation matrix with respect to the rest of the analyzed variables, comparing the results of each variable (in terms of energy consumption of the fixed facilities, and the cost over 20 years, including the investment and the accumulated energy consumption cost), with the average results of all the simulations carried out. In this way, the average potential of each of these variables can be identified. These conclusions could be used as a starting point for good constructive practices in the design and rehabilitation of office buildings for each climate. The positive values identify those solutions that represent an improvement over the average values (recommended strategies), while the negative ones represent the increase in consumption and / or cost (strategies not recommended). The values in bold, make reference to the model of lower energy consumption or lower total cost (cost-optimal) for each climatology. In rows 30 and 31 are the consumption and cost values of the model average and the cost-optimal model.

These results demonstrate, first, the differential of consumption and cost that exists in severe cold climates and, on the other hand, how the good design allows substantial savings in the entire life cycle of the building.

Figures 1 and 2 identify in each point, every possible combination of variables from the matrix of Table 3 for the climatology of Stockholm. With the energy consumption in the abscissa axis, and cost in the ordinate axis, in Figure 1 the investment cost of the building is represented, or the cost in year zero, while in Figure 2, the cost of the same variables is analyzed in a twenty years lifespan of the building (in which the total cost includes, the investment cost and the accumulated cost associated with energy consumption). These figures demonstrate the potential of the parametric analysis, in which it is observed that combination of variables that would be selected at the time of the construction of the building, because their lower investment cost, may not be the most appropriate in the entire life cycle of the building, because to its higher accumulated cost due to higher energy consumption..

4.4. Cost-optimal ZEB design

Once the range of cost-optimal solutions has been

	ZEB (UE)						ZEB (USDOE)					
	Cost optimal	Investment for ZEB	Total Cost	On site	Production		Cost optimal	Investment for ZEB	Total Cost	On site	Production	
	euro	euro	euro	-	kWp Solar	kW Wind	euro	euro	euro	-	kWp Solar	kW Wind
BIO	1.450.676	562.500	2.013.176	Sí	255	72	2.896.394	1.536.000	4.432.394	No	224	600
SEV	1.749.810	460.827	2.210.637	No	307	0	3.195.528	972.973	4.168.501	No	649	0
BRU	2.624.656	613.000	3.237.656	No	142	200	4.070.374	1.181.000	5.251.374	No	121	500
STO	3.742.710	918.500	4.661.210	No	79	400	5.188.428	1.485.500	6.673.928	No	57	700

Tabla 2.
Coste de ZEB.
ZEB cost.

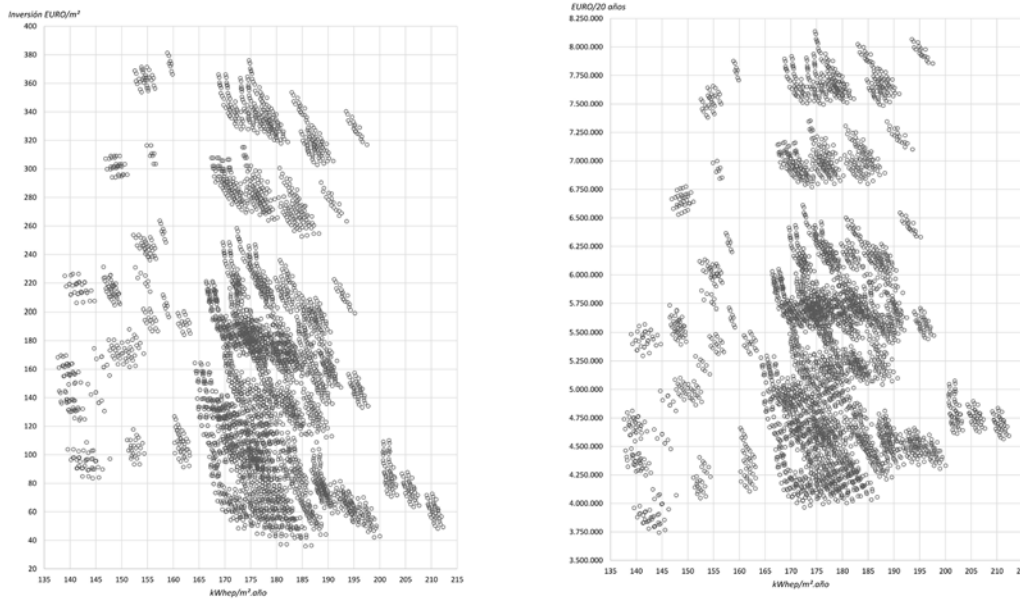


Fig. 1.
Coste de inversión (EST).
Investment cost (STO).
Fig. 2.
Coste a 20 años (EST).
Cost over 20 years (STO).

SAVINGS COMPARED TO THE AVERAGE			ENERGY CONSUMPTION				COST (20years)			
	Variable		Bilbao	Seville	Brussels	Stockholm	Bilbao	Seville	Brussels	Stockholm
1	Window to wall	40	6,7%*	8,8%*	4,3%*	3,1%*	19,1%*	18,6%*	14,3%*	11,3%*
2		60	-0,2%	-0,3%	-0,1%	-0,1%	-2,7%	-2,5%	-1,9%	-1,6%
3		80	-6,4%	-8,5%	-4,2%	-3,0%*	-16,4%	-16,1%	-12,4%	-9,7%
4	Louver length (cm)	0	-7,9%*	-12,7%*	-3,1%*	-3,0%*	34,5%*	28,3%*	26,4%*	19,9%*
5		30	0,6%	-0,1%	0,4%	0,3%	10,7%	9,5%	8,1%	6,2%
6		60	3,8%	5,9%	1,6%	1,6%	-4,5%	-2,8%	-3,7%	-2,6%
7		90	3,5%	6,9%	1,1%	1,1%	-40,8%	-35,0%	-30,7%	-23,5%
8	Infiltrations	MED	0,0%*	0,3%*	-2,3%	-1,9%	1,3%*	1,3%*	-0,3%	-0,5%
9		EX	-0,3%	-2,2%	17,8%*	14,4%*	-10,3%	-10,3%	1,9%*	3,7%*
10	Floor insulation (cm)	10	-0,1%*	0,7%*	-3,4%	-2,7%	4,2%*	4,1%*	1,2%	0,6%
11		20	0,0%	-0,2%	0,2%*	0,2%*	-0,8%	-0,8%	-0,4%*	-0,3%*
12		30	0,2%	-1,5%	10,2%	8,1%	-10,7%	-10,5%	-2,2%	-0,8%
13	Façade insulation (cm)	10	-0,3%*	0,4%*	-3,1%	-2,4%	1,9%*	2,0%*	-0,3%	-0,5%
14		20	0,2%	0,7%	-2,6%	-2,0%	0,9%	1,2%	-0,8%	-0,8%
15		30	0,1%	-0,2%	1,2%*	0,9%*	-0,4%	-0,4%	0,4%*	0,4%*
16		40	-0,2%	-2,1%	10,3%	8,1%	-6,1%	-6,4%	1,4%	2,0%
17	Roof insulation (cm)	10	-0,6%*	0,0%*	-3,5%	-2,8%	4,9%*	4,7%*	1,8%	1,1%
18		20	0,1%	0,5%	-2,9%	-2,3%	2,9%	2,8%	0,5%	0,1%
19		30	0,3%	0,1%	1,2%*	1,0%*	-2,2%	-2,1%	-1,0%*	-0,7%*
20		40	0,3%	-1,3%	10,4%	8,2%	-10,3%	-10,1%	-1,9%	-0,6%
21	Uglass (W/m²K)	2,1	-2,2%*	1,0%*	-7,6%	-5,6%	5,3%*	6,0%*	0,3%	-0,2%
22		1,3	1,1%	0,7%	-2,5%	-2,0%	2,5%	2,2%	0,1%	-0,2%
23		0,8	0,6%	-0,9%	5,3%*	4,0%*	-4,1%	-4,4%	-0,2%*	0,2%*
24	SHGCglass	0,6	-5,8%	-10,3%	-1,5%	-1,3%*	-0,6%	-2,9%	0,6%	0,4%*
25		0,4	3,8%*	5,2%*	1,8%*	1,4%	1,5%*	2,4%*	0,9%*	0,8%
26		0,2	4,0%	10,2%	-0,5%	-0,2%	-1,9%	1,1%	-3,0%	-2,3%
27	VTglass	0,7	-0,1%*	-1,6%*	0,6%*	0,4%*	0,9%*	0,2%*	1,0%*	0,8%*
28		0,5	-1,9%	-3,5%	-0,4%	-0,3%	0,1%	-0,7%	0,5%	0,4%
29		0,2	4,0%	10,2%	-0,5%	-0,2%	-1,9%	1,1%	-3,0%	-2,3%
30	Average: kWhpe/m²year-Euro/20years		64,5	90,1	117,7	176,4	3.141.142	3.501.375	4.251.828	5.503.810
31	Cost-optimal kWhpe/m²year-Euro/20years		60,0	82,1	88,1	144,4	1.450.676	1.749.810	2.624.656	3.742.710

Tabla 3.
Consumo y coste diferencial por variable energética.

mismas variables tras veinte años de uso del edificio (el coste total incluye, el coste de inversión y el coste asociado al consumo energético en la operación del edificio). Estas figuras demuestran la utilidad de los análisis paramétricos, en el que se observa que conjuntos de variables que se seleccionarían en el momento de la construcción del edificio por requerir una menor inversión, pudieran no resultar las más apropiadas en el ciclo de vida completo del edificio, por su mayor coste acumulado debido al mayor consumo energético.

4.4. Diseño ZEB coste-óptimo

Una vez identificado el rango de soluciones coste óptimas, se puede calcular la inversión en energía renovable necesaria para diseñar un ZEB coste-óptimo. En la Tabla 2 se analiza tanto la inversión de las variables de eficiencia energética coste-óptimas, como la inversión renovable, si el objetivo ZEB es posible in-situ, tanto bajo el planteamiento de la UE como del USDOE.

5. Conclusiones

La falta de una definición clara y objetiva de los nZEB, genera múltiples interpretaciones y conlleva a que los EM estén actualizando sus normativas energéticas de manera diferente, provocando incertidumbre en el sector de la edificación, y la proliferación de autodenominados nZEB con valores de consumo que no están siendo medidos en edificios en uso. A esta situación se le añade la falta de metodología y datos de partida para el diseño coste-óptimo de edificios nZEB, como la identificación de los edificios de referencia de cada tipología, el desarrollo de una base de costes de las variables de eficiencia energética y un análisis del periodo del ciclo de vida útil de los edificios, tanto para las estrategias pasivas como activas.

El trabajo llevado a cabo en esta investigación pone en valor la idoneidad del método paramétrico como herramienta de identificación de soluciones coste-óptimas, y los resultados de las simulaciones demuestran que alcanzar valores ZEB en edificios de oficina es técnicamente viable (pese a que el balance ZEB in-situ está condicionado por la climatología y el factor de forma del edificio). Pese a que alcanzar un ZEB en climatologías severas es más complejo y más costoso que en climatologías templadas, la sobreinversión de optar por el modelo coste-óptimo, con respecto al modelo promedio de la Tabla 2, se amortizaría en 1.000 años en Bilbao y 53 en Estocolmo, plazos que ponen en cuestión la viabilidad económica de estas intervenciones.

Una de las conclusiones más importante derivadas de este estudio es la necesidad de optimizar y operar correctamente los edificios en su fase de uso que, en el caso del edificio analizado, supone un ahorro potencial del 43%.

identified, the investment in renewable energy needed to reach a cost-optimal ZEB can be calculated. Table 2 analyzes both, the investment of the cost-optimal solution and the required renewable investment. The table also identifies if the on-site ZEB objective is possible, both under the EU and the USDOE approach.

5. Conclusions

The lack of a clear and objective definition of the nZEB, generates multiple interpretations and is leading the EMs to the update of their energy regulations in different ways, causing uncertainty in the building sector, and the proliferation of self-nominated nZEB with consumption values that are not being measured in buildings in use. Added to this situation is the inexistence of a methodology and baseline data for the cost-optimal design of nZEBs, such as the identification of reference buildings of each typology, or the availability a cost base for energy efficiency variables, for both passive and active strategies.

The work carried out in this research highlights the suitability of the parametric method as a tool for identifying cost-optimal solutions, and the results of the simulations show that reaching ZEB values in office buildings is technically viable (although the balance ZEB in-situ is conditioned by the climate and the form factor of the building). Although reaching a ZEB in severe climatologies is more complex and more expensive than in temperate climatologies, the overinvestment of the cost-optimal model, with respect to the average model in Table 2, would be amortized in 1,000 years in Bilbao and 53 in Stockholm, deadlines that call into question the economic viability of these interventions.

One of the most important conclusions derived from this study is the need to optimize and correctly operate buildings in their phase of operation which, in the case of the building analyzed, represents a potential savings of 43%.

The consequences of not applying a bioclimatic design are reflected in Table 3, in which it is observed that, for all analyzed climatologies, a reduced percentage of window to wall, not only from the cost-optimal point of view, but also from the point of view of energy consumption, is a favorable decision. This aspect clashes with the trend that prevails in a large number of new office buildings around the world, with completely glazed façades, regardless of the climate in which they are located. It is relevant the fact that these buildings can end up obtaining a class A energy certification, a maximum score in a sustainable building certifications such as LEED or BREEAM, be self-denominated ZEB or end up in press articles endorsing their contribution to the world of sustainability in the building.

Las consecuencias de no contemplar un diseño bioclimático quedan reflejadas en Tabla 3, en la que se observa que, para todas las climatologías analizadas, un porcentaje de huecos reducido es preferible, no sólo desde el punto de vista coste-óptimo, sino también desde el punto de vista del consumo energético. Este aspecto choca con la tendencia que impera en un gran número nuevas oficinas alrededor del mundo, con edificios completamente acristalados, independientemente del clima en el que se encuentren. Es relevante el hecho que estos edificios pueden acabar obteniendo una certificación energética clase A, una puntuación máxima en una certificación de edificación sostenible como LEED o BREEAM, autodenominarse ZEB o ser noticia en artículos de prensa avalando su contribución al mundo de la sostenibilidad en la edificación.

La metodología propuesta en esta investigación podría ser replicada en los edificios de referencia, con el objetivo de disponer de datos para las actuaciones, tanto de obra nueva como de rehabilitación, que garanticen soluciones dirigidas a la consecución de edificios nZEB coste-óptimos en las principales tipologías del parque edificatorio del país.

En cualquier caso, si se pretende dar un salto cualitativo en materia de ahorro energético, las simulaciones energéticas deberían emplearse como herramienta para la mejora del diseño de los edificios, mientras que los valores de consumo deberían ser medidos y verificados mediante analizadores de redes o contadores inteligentes (con discriminación de consumo) que, por otra parte, serán necesarios en las nuevas propuestas de Smart-Cities. Sólo de esta manera podrá garantizarse un proceso objetivo de descarbonización de las ciudades.

The methodology proposed in this research could be replicated in the reference buildings, with the aim of having data for the actions, both new work and rehabilitation, to ensure solutions aimed at achieving cost-optimal nZEB buildings.

In any case, if a real step towards energy savings in buildings is pursued, energy simulations should be used as a tool for improving the design of buildings, while consumption values should be measured and verified by smart energy sub-meters that, on the other hand, will be necessary in the new Smart-Cities proposals. Only in this way a decarbonisation process of cities can be guaranteed.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] BPIE, Europe's buildings under the microscope: A country-by-country review of the energy performance of buildings. (2011).
- [2] BPIE, Principles for nearly Zero-energy Buildings. Paving the way for effective implementation of policy requirements. (2011).
- [3] Parlamento Europeo, Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (2010).
- [4] P. Torcellini, S. Pless, M. Deru, D. Crawley, Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition (2006).
- [5] U.S. Department of Energy, A Common Definition for Zero Energy Buildings (2015).
- [6] Comisión Europea, Recomendación (UE) 2016/1318 de la Comisión de 29 de julio de 2016.
- [7] Comisión Europea, Commission Delegated Regulation (EU) N° 244/2012 (16/01/2012).
- [8] Comisión Europea, Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) N° 244/2012.

El conocimiento de los certificados energéticos por parte de los profesionales inmobiliarios. El papel de las Administraciones Públicas

The knowledge of the energetic certificates on the part of the real-estate professionals. The role of the Public Administrations

L. Delgado¹, C. Marmolejo², C. del Moral¹

ABSTRACT

A pesar de haber transcurrido 25 años desde la aparición de las primeras etiquetas verdes, el avance en la renovación energética de las edificaciones y en la promoción de viviendas energéticamente eficientes es preocupantemente lento. (Bloom, Nobe, & Nobe, 2011) han argumentado que dicho fracaso relativo se debe a diversas razones, entre las que figuran los costes de mejora, la falta de información entre los inquilinos/compradores, la inexactitud en los ahorros energéticos, la atomización de los incentivos públicos o el coste de inversión original.

Estas fracturas en el sistema de certificación irrumpen en las dinámicas de producción/renovación de edificios eficientes en lo que Cadman (Cadman, 2000) ha llamado el "vicious circle of blame", según el cual los diferentes actores que intervienen en el mercado inmobiliario están listos para emprender una acción pero, dicen depender de que otros actores tomen una acción previa. Así, puede que los usuarios demanden edificios eficientes, pero desisten porque no los encuentran; los constructores pueden construir edificios eficientes, pero no aprecian una demanda suficiente; los promotores están interesados en edificios sostenibles, pero dudan que los inversores los financien; y los inversores financiarían edificios eficientes, pero no los encuentran. Por tanto, para acabar con dicho círculo vicioso es necesaria información objetiva que reduzca la incertidumbre. Es necesaria evidencia científica del verdadero impacto de los EPC (Energy Performance Certifications) sobre los factores clave, es decir señales potentes capaces de transformar el escenario anterior en un círculo virtuoso.

En este trabajo se ha evaluado, mediante técnicas cualitativas, el nivel de conocimiento y confianza en los EPC de los profesionales de la promoción de viviendas; si conocen el verdadero significado de los EPC; si confían en la información provista por los mismos; y si la utilizan a efectos de toma de decisión. Se ha indagado su opinión mediante encuestas y entrevistas en profundidad a estos informadores, sobre el impacto de los EPC en los precios, ritmos de venta, rentabilidad (riesgo) de las operaciones de inversión inmobiliaria y en general sobre las decisiones de los usuarios finales e inversores. Finalmente, se ha realizado un estudio de la situación de los EPC en España, recopilando las informaciones de los Registros de Certificación Energética y analizando las actuaciones que las distintas Administraciones están llevando a cabo de cara al conocimiento de los EPC de los edificios y a la mejora de su clasificación, con vista al cumplimiento de los objetivos 20-20-20.

Como resultado se tiene una visión detallada del nivel de comprensión, fiabilidad percibida e impacto sobre los principales mecanismos de producción/rehabilitación de viviendas energéticamente cualificadas. Se ofrece una imagen de la situación real de los EPC en nuestro país y el grado de concienciación de los agentes intervinientes en el mercado inmobiliario. No cabe olvidar que la certificación no es un fin en sí misma, sino tan solo un instrumento para que usuarios y oferentes hagan decisiones más informadas, y presumiblemente encaminadas a reducir el impacto de las edificaciones en el ambiente.

Comunicación derivada del I+D+i EnerVALOR, financiado por MINECO/FEDER referencia BIA2015-63606-R.

Key Words: CEE, eficiencia energética edificios, profesionales inmobiliarios, administraciones públicas, entrevistas en profundidad

(1) University of Granada, Architectonic Constructions Department, +34 600 74 74 25, ldelgado@ugr.es. (2) Polytechnic University of Catalonia, Architectonic Constructions Department, CPSV.

1. Introducción

El avance en la renovación energética de las edificaciones y en la promoción de viviendas energéticamente eficientes es preocupantemente lento, a pesar de que hace ya 25 años que aparecen las primeras etiquetas verdes. (Bloom, Nobe, & Nobe, 2011) han argumentado que dicho fracaso relativo se debe a diversas razones, entre las que figuran los costes de mejora, la falta de información entre los inquilinos/compradores, la inexactitud en los ahorros energéticos, la atomización de los incentivos públicos o el coste de inversión original.

Estas fracturas en el sistema de certificación irrumpen en las dinámicas de producción/renovación de edificios eficientes en lo que (Cadman, 2000) ha llamado el "vicious circle of blame", según el cual los diferentes actores que intervienen en el mercado inmobiliario están listos para emprender una acción pero, dicen depender de que otros actores tomen una acción previa. Los actores a los que nos referimos son los que se indican a continuación: personas usuarias de los edificios, constructores; promotores; e inversores.

La eficiencia energética en el sector residencial es uno de los objetivos prioritarios en la Unión Europea. Se ha propuesto alcanzar un ahorro energético del 27% en el conjunto de los edificios residenciales para el año 2020 a través de varias directivas europeas (Unión Europea, 2012); (Unión Europea, 2010); (Unión Europea, 2003). El parque residencial en España es de los menos eficientes energéticamente de Europa, por lo que debería abordarse la solución a este problema desde el establecimiento de Políticas Públicas que incentiven la mejora de la eficiencia energética de estos edificios. Los organismos públicos en España programan actuaciones que promueven e incentivan medidas de mejora en los edificios e instalaciones existentes, pero en buena medida no son suficientes para que los objetivos marcados se cumplan (Ministerio de energía, turismo y agenda digital, 2017).

A pesar de ello, puede que los usuarios demanden edificios eficientes, pero desisten porque no los encuentran; los constructores pueden construir edificios eficientes, pero no aprecian una demanda suficiente; los promotores están interesados en edificios sostenibles, pero dudan que los inversores los financien; y los inversores financiarían edificios eficientes, pero no los encuentran. Por tanto, para acabar con dicho círculo vicioso es necesaria información objetiva que reduzca la incertidumbre. Es necesaria evidencia científica del verdadero impacto de los EPC (Energy Performance Certifications) sobre los factores clave, es decir señales potentes capaces de transformar el escenario anterior en un círculo virtuoso.

Se presenta en esta comunicación un trabajo de investigación en el que se ha evaluado, mediante

1. Introduction

The advance in the energy renovation of buildings and in the promotion of energy-efficient housing is worryingly slow, despite the fact that the first green labels have been appearing for 25 years (Bloom, Nobe, & Nobe, 2011) have argued that this relative failure is due to various reasons, among which are the costs of improvement, the lack of information among tenants / buyers, the inaccuracy in energy savings, the atomization of public incentives or the original investment cost.

These fractures in the certification system burst into the dynamics of production / renovation of efficient buildings in what (Cadman, 2000) has called the "vicious circle of blame", according to which the different actors involved in the real estate market are ready to take an action, but they say they depend on other actors taking a previous action. The actors to which we refer are those indicated below: users of the buildings, builders; promoters; and investors.

Energy efficiency in the residential sector is one of the priority objectives in the European Union. It has been proposed to achieve an energy saving of 27% in all residential buildings by the year 2020 through several European directives (Unión Europea, 2012), (Unión Europea, 2010), (Unión Europea, 2003). The residential park in Spain is one of the least energy efficient in Europe, so the solution to this problem should be addressed since the establishment of Public Policies that encourage the improvement of the energy efficiency of these buildings. Public bodies in Spain program actions that promote and encourage improvement measures in existing buildings and facilities, but to a large extent they are not sufficient for the marked objectives to be met (Ministerio de energía, turismo y agenda digital, 2017).

Despite this, users may demand efficient buildings, but give up because they can not find them; builders can build efficient buildings, but they do not appreciate enough demand; the promoters are interested in sustainable buildings, but they doubt that the investors finance them; and investors would finance efficient buildings, but they do not find them. Therefore, to eliminate this vicious circle, objective information is needed to reduce uncertainty. Scientific evidence is needed of the true impact of the EPC (Energy Performance Certifications) on the key factors, that is, powerful signals capable of transforming the previous scenario into a virtuous circle.

This paper presents a research work in which the level of knowledge and confidence in the EPC of the housing promotion professionals has been evaluated through qualitative techniques. It has also been evaluated if they know the true meaning of the EPC, if they trust in the information provided by them and if they use it for the purposes of decision making. Their opinion has been investigated through sur-

técnicas cualitativas, el nivel de conocimiento y confianza en los EPC de los profesionales de la promoción de viviendas. Igualmente se ha evaluado si conocen el verdadero significado de los EPC, si confían en la información provista por los mismos y si la utilizan a efectos de toma de decisión. Se ha indagado su opinión mediante encuestas y entrevistas en profundidad a estos informadores, sobre el impacto de los EPC en los precios, ritmos de venta, rentabilidad (riesgo) de las operaciones de inversión inmobiliaria y en general sobre las decisiones de los usuarios finales e inversores.

La comunicación se deriva del Proyecto I+D+i EnerVALOR, financiado por MINECO/FEDER y referencia BIA2015-63606-R.

2. Objetivos

Los objetivos del trabajo que se presenta han sido tres en relación a los profesionales de la promoción de edificios residenciales:

- a) Evaluar su nivel de conocimiento y de confianza en los EPC.
- b) Averiguar su nivel de conocimiento sobre el significado de los EPC mediante la información que contienen.
- c) Averiguar si la información sobre los EPC se utilizan en su toma de decisiones.

3. Metodología utilizada

La metodología empleada tiene dos vertientes:

1^a. Elaboración de encuestas de opinión y entrevistas personalizadas en profundidad sobre el impacto de los EPC en los precios, ritmos de venta, rentabilidad (riesgo) de las operaciones de inversión inmobiliaria y sobre las decisiones de las personas usuarias finales e inversores.

2^a. Realización de un estudio de la situación de los EPC en España a través de los Registros de Certificación Energética.

4. Encuestas de opinión y entrevistas personalizadas

Las encuestas que se han elaborado desde las distintas administraciones públicas en relación a la percepción de la eficiencia energética de los edificios que utilizan se vienen realizando desde mediados de la década de los 2000. En 2007 se publica un estudio promovido por HISPALYT, Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas de Arcilla Cocida (Ipsos-ASI. The Advertising Research Company, 2007) en el que se han recogido resultados de 3.730 entrevistas a personas residentes en todas las comunidades autónomas de España sobre temas que

veys and in-depth interviews with these informants, about the impact of the EPC on the prices, sales rates, profitability (risk) of real estate investment operations and, in general, on the decisions of the final users and investors

The communication is derived from the EnerVALOR I + D + i Project, financed by MINECO / FEDER and reference BIA2015-63606-R.

2. Objectives

The objectives of the work that has been presented have been three in relation to the professionals of the promotion of residential buildings:

- a) Evaluate their level of knowledge and confidence in the EPC.
- b) Find out their level of knowledge about the meaning of EPCs through the information they contain.
- c) Find out if information about EPCs are used in your decision making.

3. Methodology used

The methodology used has two aspects:

1^a. Preparation of opinion surveys and in-depth personalized interviews on the impact of the EPC on prices, sales rates, profitability (risk) of real estate investment operations and on the decisions of final users and investors.

2^a. Realization of a study of the situation of the EPC in Spain through the Energy Certification Registers.

4. Opinion surveys and personalized interviews

The surveys that have been prepared by the different public administrations in relation to the perception of the energy efficiency of the buildings they use have been carried out since the mid-2000s. In 2007 was published a study promoted by HISPALYT, the Spanish Association of Brick Clay and Tile Manufacturers of Cooked Clay (Ipsos-ASI. The Advertising Research Company, 2007) in which results of 3,730 interviews have been collected from residents in all the autonomous communities of Spain on issues affecting the market and the quality of the House. We considered 14 aspects to be assessed in the housing and none of them was the energy efficiency. And in relation to the attributes that make up the quality of housing, 8 were considered, of which two are somewhat related to energy efficiency and are thermal insulation and natural building materials.

The purpose of the surveys in this work is to determine the level of knowledge of professionals in the promotion of residential buildings in relation to the EPC

afectan al mercado y a la calidad de la vivienda. Se consideraron 14 aspectos a valorar en la vivienda y ninguno de ellos era el de la eficiencia energética. Y en relación a los atributos que configuran la calidad de la vivienda se consideraron 8, de los que dos están algo relacionados con la eficiencia energética y son el aislamiento térmico y los materiales de construcción naturales.

Las encuestas en este trabajo tienen como objetivo determinar el nivel de conocimiento de los profesionales de la promoción de edificios residenciales en relación a los EPC y si este conocimiento lo utilizan

and if this knowledge is used for decision making in their professional activity. They respond to a structure of 9 questions that contain several statements with respect to which you can answer "Null", "Low", "Medium", or "High", depending on the question. It also has a final section called "recommendations to improve the policy of energy certificates" so that the person responding to the survey can provide all those issues that may be of interest.

The surveys were carried out through a website created for this purpose (EnerValor, 2017), whose image is shown in Figure 1.

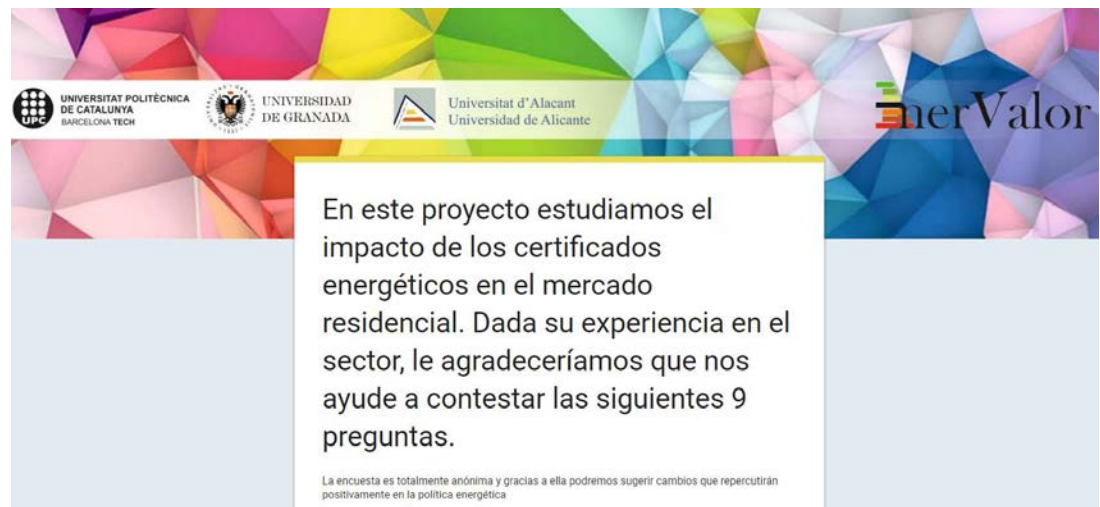


Fig. 1.
Imagen de la web destinada a las encuestas de opinión.
Image of the website for opinion polls.

para la toma de decisión en su actividad profesional. Responden a una estructura de 9 cuestiones que contienen varias afirmaciones respecto de las que se puede responder "Nulo", "Bajo", "Medio", o "Alto", en función de la pregunta. Además tiene un apartado final denominado "recomendaciones para mejorar la política de los certificados energéticos" para que la persona que responde la encuesta pueda aportar todas aquellas cuestiones que pueda estimar de interés.

Las encuestas se han realizado a través de una web creada a tal fin (EnerValor, 2017), cuya imagen queda recogida en la Figura 1

La entrevista personalizada (López & Deslauriers, 2011) se ha considerado una herramienta útil como investigación cualitativa, permitiéndonos conocer la realidad de un sector social a través de personas que por sus cargos o su trabajo profesional, pueden considerarse relevantes. A través de una entrevista no estructurada, con preguntas abiertas y flexibles, la persona entrevistada tiene libertad para expresar sus opiniones (Vargas, 2012). Se han elaborado mediante doce cuestiones de las que la última contiene la denominada "Comentario abierto. Observaciones personales". El resto de cuestiones profundizan en los conocimientos que las personas entrevistadas tienen sobre los siguientes aspectos en relación a las Políticas de los Certificados de Eficiencia Energética

The personalized interview (López & Deslauriers, 2011) has been considered a useful tool as a qualitative research, allowing us to know the reality of a social sector through people who by their positions or their professional work, can be considered relevant. Through an unstructured interview, with open and flexible questions, the person interviewed is free to express their opinions (Vargas, 2012). They have been elaborated through twelve questions of which the last contains the so-called "Open comment. Personal observations". The rest of the questions deepen in the knowledge that the people interviewed have on the following aspects in relation to the Energy Performance Certifications (hereinafter EPC):

- The philosophy of the EPC;
- The influence that EPC can have on the purchase or rental of homes in all their aspects: real estate commercialization; the intermediate demand of investors who buy to exploit the residential park for rent; the final demand of the users for rent or sale.
- Existence of compensations of the extra costs derived from the best energy benefits through additional benefits.
- Personal proposals for improvement in the EPC Policy.

INTERVIEWED PERSON:
 INSTITUTION:
 PROFESSION:
 PLACE:
 DATE:

1. Do you understand and share the background of the CEE policy? That is to say, the fact of making "tangible" the demand of an intangible architectural attribute such as energy efficiency and on which a multitude of architectural attributes affects
 ANSWER 1.

2. Do you agree with the fundamental hypothesis of the CEE policy? That is, that the demand will make energy-informed decisions and, therefore, will tend to prioritize the purchase and rental of homes that represent potential savings in the energy bill and, at the same time, help to preserve the environment.
 ANSWER 2.

3. Do you think that the calculation method of the CEE is adequate? That is, that it is based on estimates of a mathematical model without real measurements and that does not take into account the energy habits of users.
 ANSWER 3.

4. Do you think that the communication policy of energy efficiency based on the energy classes contained in the labels is enough? That is, if the technical units (kWh / m², year of non-renewable primary energy and kg / m² / year of CO₂) really inform the demand of the economic and environmental repercussions of energy efficiency. Especially in a scenario characterized by the absence of an environmental education policy on the subject.
 ANSWER 4.

5. Do you think that the demand in general supports your decisions about the information contained in the energy label? Or, on the contrary, there is a systematic breach in the inclusion of this information in the real estate commercialization phase, or it appears too late when the decisions have already been taken and therefore it is a simple bureaucratic procedure with which it must be fulfilled. When is there an energy interest, is it just to ask for subsidies? To what administrations and what type?
 ANSWER 5.

6. Do you think that energy efficiency (EE), measured through the CEE, affects the main decisions of the intermediate demand? The intermediate demand is the investors who buy to exploit the residential park for rent. That is, the EE is an element of real estate differentiation such that the

best qualified properties are preferred over the worst qualified, which have higher occupancy rates, lower operating expenses and greater resilience to depreciation, and ultimately deserving it is not worth investing in the acquisition of efficient homes because of the reduction in the risk of their investment.
 ANSWER 6.

7. Do you think that the EE measured through the CEE affects the main finalist demand decisions? The final demand is the users, distinguishing the rent of the purchase that we have found give a very different importance to the CEE. That is, the EE affects the willingness to pay, allows the properties to be rented or sold more quickly, reduces the margin of negotiation between the prices offered or of exit and those of closing
 ANSWER 7.

8. Is the incidence of EE/CEE equally relevant in all typologies of primary residence? Or there are specific market niches where the demand is willing to pay more and prioritize efficient housing, if any, what are the characteristics of the people in that niche? Are there owners who request an ECE as a measure to take action on the energy reform of housing?
 ANSWER 8.

9. Do you think that the extra costs that building represents with better energy benefits are compensated by additional benefits? These benefits could be faster commercialization, higher prices, lower unemployment rates and operating costs.
 ANSWER 9.

10. What elements in the CEE policy should be changed as long as it effectively achieves the objectives it pursues? What role should the private sector play and how could it help to incentivize this change?
 ANSWER 10.

11. What incentives on taxation (reduction of taxes on construction, exploitation and ownership), subsidies and financial incentives ("green credits") should there be and which could be more effective in "green promotion/rehabilitation"?
 ANSWER 11.

12. Open comment. Personal observations
 ANSWER 12.

(en adelante CEE):

- La filosofía de los CEE;
- La influencia que pueden tener los CEE sobre la compra o el alquiler de las viviendas en todas sus vertientes: comercialización inmobiliaria; la demanda intermedia de inversores que compran para explotar en alquiler el parque residencial; la demanda final de las personas usuarias en alquiler o en la venta.
- Existencia de compensaciones de los sobrecostes derivados de las mejores prestaciones energéticas por medio de beneficios adicionales.
- Propuestas personales de mejora en la Política de los CEE.

En la Figura 2 se recoge la plantilla del contenido de las entrevistas personalizadas.

5. Situación de los EPC en España a través de los registros de certificación energética

En este trabajo se ha realizado una investigación del estado de los Registros de CEE en tres comunidades autónomas: Andalucía (Registro CEE Junta de Andalucía, 2018), Cataluña (Instituto Catalán de Energía, 2018) y País Vasco (Departamento de Desarrollo Económico e Infraestructuras del Gobierno

Figure 2 shows the content template of the personalized interviews.

5. Situation of the EPC in Spain through energy certification records

In this work an investigation of the state of the EPC Registries has been carried out in three autonomous communities: Andalusia (Registro CEE Junta de Andalucía, 2018), Catalonia (Instituto Catalán de Energía, 2018) and the Basque Country (Departamento de Desarrollo Económico e Infraestructuras del Gobierno Vasco, 2018). There are great differences in the form and content in which the three offer the data of the EPC registries, because each of them has regulated the control and registration of EPCs according to the objectives of their Public Policies in energy efficiency matter. This circumstance occurs because the Autonomous Communities are authorized to carry out the regulatory development on the registration of EPCs in their territorial scope with the aim of exercising control and inspection over them, as well as to guarantee the rights of consumers and users of the buildings subject to purchase or rent. The purpose of the registration procedure of the EPCs (Real Decreto 235, 2013) is the promotion of energy efficiency through objective information that must necessarily be provided to buyers and users in relation to the energy performance of buildings. The scope of application of the aforementioned procedure is new buildings, existing buildings that are sold or rented without a valid certificate and buildings or

Fig. 2.
 Plantilla de la entrevista personalizada.
 Custom interview template.

AUTONOMOUS COMMUNITY	Andalucía (Order of December 9, 2014)	Cataluña (Government Agreement, 2014)	País Vasco (Order of March 16, 2015)
REGULATORY ELEMENTS	Building identification Promoter data Data of the competent technician signatory Application energy regulations Method of obtaining the qualification Energy characteristics of the building Energy Rating Recommendations for improving energy efficiency Declaration and signature	Building identification Data of the accredited agent signed Energy rating of emissions Primary energy rating Use of the building Partial demand indicators for global uses Procedure used	Building identification Data of the signing accredited agent Technical characteristics of the enclosures of the thermal envelope Shadow elements, either external or external to the building Main thermal installations Other facilities Lighting installation Method of obtaining the qualification Declaration of conformity

Tabla 1.
Elementos regulados en las tres Comunidades Autónomas analizadas.

Vasco, 2018). Existen grandes diferencias en la forma y en el contenido en el que las tres ofrecen los datos de los registros de los CEE, debido a que cada una de ellas ha regulado el control y el registro de los CEE según los objetivos de sus Políticas Públicas en materia de eficiencia energética. Esta circunstancia se produce porque las Comunidades Autónomas están habilitadas para realizar el desarrollo normativo sobre el registro de los CEE en su ámbito territorial con el objetivo de ejercer el control y la inspección sobre los mismos, así como para garantizar los derechos de las personas consumidoras y usuarias de los edificios objeto de compra o alquiler. La finalidad del procedimiento de registro de los CEE (Real Decreto 235, 2013) es la promoción de la eficiencia energética a través de la información objetiva que hay que proporcionar obligatoriamente a compradores y usuarios en relación a las prestaciones energéticas de los edificios. El ámbito de aplicación del citado procedimiento son los edificios de nueva construcción, los edificios existentes que se vendan o alquilen sin certificado en vigor y los edificios o partes de estos que una autoridad pública ocupe una superficie útil superior a 250 m² y de uso público.

En la Tabla 1 se recogen los elementos que contienen los Registros de CEE en las tres comunidades autónomas analizadas.

Se han obtenidos los datos correspondientes a 1.249.639 inmuebles con CEE registrado. Por Comunidades Autónomas se han obtenidos los siguientes registros:

- Andalucía: 460.657
- Cataluña: 709.209
- País Vasco: 79.773

Estas cifras se corresponden con el número total de CEE registrados en cada uno de los Registros, en el momento de realizar la consulta, entre enero y junio de 2018.

6. Resultados obtenidos y conclusiones

La investigación que se presenta en esta comunicación ofrece una imagen de la situación real de los

parts of them that a public authority occupies a useful area of more than 250 m² and for public use.

Table 1 shows the elements that contain the CEE Registers in the three autonomous communities analyzed.

The data corresponding to 1,249,639 properties with registered EPC have been obtained. By Autonomous Communities, the following records have been obtained:

- Andalusia: 460,657
- Catalonia: 709,209
- Basque Country: 79,773

These figures correspond to the total number of EPC registered in each of the Registries, at the time of the consultation, between January and June 2018.

6. Results obtained and conclusions

The research presented in this communication offers an image of the real situation of the EPC in our country and the degree of awareness of the intervening agents in the real estate market. It should not be forgotten that certification is not an end in itself, but only an instrument for users and suppliers to make more informed decisions, and presumably aimed at reducing the impact of buildings on the environment.

The most significant results of the work carried out are indicated below:

1º. From the personalized interviews conducted (14 in total at this time) there are significant aspects that should be stated:

- Although the concern for sustainability and the environment is growing among citizens, it does so with more thinking about recycling or actions that they believe depend more on Public Administrations and Institutions than on their direct actions.
- Demand still does not have its energy classification among its priority criteria at the time of the

Energy Classification	A	B	C	D	E	F	G
% of buildings according to class	0,2%	0,7%	4,1%	11,7%	49,9%	14,4%	19,1%

EPC en nuestro país y el grado de concienciación de los agentes intervinientes en el mercado inmobiliario. No cabe olvidar que la certificación no es un fin en sí misma, sino tan solo un instrumento para que usuarios y oferentes hagan decisiones más informadas, y presumiblemente encaminadas a reducir el impacto de las edificaciones en el ambiente.

Los resultados más significativos del trabajo realizado se indican a continuación:

1º. De las entrevistas personalizadas realizadas (14 en total en este momento) hay aspectos significativos que conviene enunciar:

- Aunque la preocupación por la sostenibilidad y el medio ambiente va creciendo entre la ciudadanía, lo hace más pensando en reciclaje o en actuaciones que creen que dependen más de las Administraciones Públicas e Instituciones que de su actuación directa.
- La demanda sigue sin tener entre sus criterios prioritarios en el momento de la adquisición de inmuebles su clasificación energética. Siguen pesando más las ubicaciones, los programas, el precio o los niveles de calidad medidos por otros indicadores: acabados, instalaciones, etc..
- Los profesionales intervinientes en el sector cumplen con sus obligaciones legales, aunque a veces se vean desbordados por los niveles de exigencias de éstas en comparación con las demandas de sus clientes.

2º. El resultado de la investigación realizada de los Registros de Certificación Energética arroja datos significativos en cuanto al número de registros de carácter público, en general, y en cuanto a los porcentajes del ese número por etiquetas. Desde 2017 y con la finalidad de aproximarnos a los objetivos 20-20, los edificios construidos que cumplan las exigencias del CTE, en particular las recogidas en su DB-HE0 y DB-HE1 (Orden FOM/588, 2017), tienen que ser clase A o clase B, y tienen la consideración de Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo. No olvidemos que las exigencias de eficiencia energética de los edificios de la Directiva 2010/31/UE, han sido traspuestas al ordenamiento jurídico español mediante el DB-HE del CTE, como se recoge en la exposición de motivos de la mencionada Orden.

La información obtenida de los Registros de CEE nos dice que tan sólo el 0,3% lo son de clase A, y el 0,9% lo son de clase B. La mayor parte de los edificios registrados, más de un 80%, tienen una baja clasificación: E, F o G.

acquisition of real estate. They continue to weigh more the locations, the programs, the price or the quality levels measured by other indicators: finishes, installations, etc.

- The professionals involved in the sector comply with their legal obligations, although sometimes they are overwhelmed by the levels of their demands compared to the demands of their clients.

2º. The result of the research carried out in the Energy Certification Registers reveals significant data regarding the number of public records, in general, and regarding the percentages of that number by labels. Since 2017 and in order to approximate the 20-20 objectives, the buildings built that meet the requirements of the CTE, in particular those included in its DB-HE0 and DB-HE1 (Orden FOM/588, 2017), must be class A or class B and are considered in our country as NZEB. The information obtained from the EPC Registers tells us that only 0.3% are Class A, and 0.9% are Class B. Most of the registered buildings, more than 80% have a low classification: E, F or G.

The results of percentages of the different energy rating classes in the consultations carried out are those indicated in Table 2.

3º. From the data obtained from the registers, we verified the still very low energy classification of our real estate park, taking into account that the motivation to be registered in these registers has been a real estate transaction with the property or a specific intervention on them to improve their conditions of energy efficiency. In the latter case the registration has come imposed as a condition for obtaining public aid that the CCAA are granting for this purpose, although we should reflect on the real effectiveness in obtaining the objectives that are pursued, given the low number of buildings class A and B that we have.

Tabla 2.

Datos globales de las consultas realizadas en los Registros de CEE. Global data of the consultations made in the CEE Registers.

Los resultados de porcentajes de las distintas clases de calificación energética en las consultas realizadas son los que se indican la Tabla 2.

3º. De los datos obtenidos de los Registros, comprobamos la aún muy baja clasificación energética de nuestro parque inmobiliario, teniendo en cuenta que la motivación para estar inscrito en estos Registros ha sido una transacción inmobiliaria con el inmueble o una intervención específica sobre ellos para mejorar sus condiciones de eficiencia energética. En este último caso la inscripción ha venido impuesta como condición para la obtención de las ayudas públicas que las CCAA están concediendo para este fin, si bien deberíamos reflexionar sobre la eficacia real en la obtención de los objetivos que se persiguen, habida cuenta el escaso número de edificios clase A y B que tenemos.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Departamento de Desarrollo Económico e Infraestructuras del Gobierno Vasco. (Marzo de 2018). Recuperado el 2018, de Estadísticas de certificado de eficiencia energética: <http://www.euskadi.eus/certificado-eficiencia-energetica/web01-a2indust/es/>
- [2] Acuerdo de Gobierno. (2014). La Estrategia Catalana para la Renovación Energética de Edificios. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- [3] Bloom, B., Nobe, M., & Nobe, M. (2011). Valuing Green Home Design: A study of ENERGY STAR Homes. *Journal of Sustainable Real Estate*, 3(1), 109-126.
- [4] Cadman, D. (2000). *The vicious circle of blame*. London: The RICS Research Foundation.
- [5] EnerValor. (2017). EnerValor. Recuperado el 13 de 06 de 2018, de <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSe-s-F57JV0nLubdliVDvZhpjMljEjBEINyUr38en4gZb0A/viewform>
- [6] Instituto Catalán de Energía. (Marzo de 2018). Generalitat de Catalunya. Recuperado el 2018, de Registro de certificados: http://icaen.gencat.cat/es/energia/usos_energia/edificis/certificacio/registre_certificats/
- [7] Ipsos-ASI. The Advertising Research Company. (2007). *Barómetro sobre la calidad de la vivienda en España*. Madrid: Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas de Arcilla Cocida.
- [8] López, R., & Deslauriers, J.-P. (2011). La entrevista cualitativa como técnica para la investigación en Trabajo Social. *Margen*, 61.
- [9] Ministerio de energía, turismo y agenda digital. (2017). *Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2017-2020*. Madrid: Gobierno de España.
- [10] Orden de 16 de marzo. (2015). de 2015, de la Consejera de Desarrollo Económico y Competitividad, por la que se regula el control y registro de los Certificados de Eficiencia Energética. Vitoria-Gasteiz, País Vasco, España: BOPV. num. 60 30-03-2015.
- [11] Orden de 9 de diciembre. (2014). de 2014, por la que se regula la organización y el funcionamiento del Registro de Certificados Energéticos Andaluces. Sevilla, Junta de Andalucía, España: BOJA, num. 244 de 16-12-2014.
- [12] Orden FOM/588. (15 de Junio de 2017). Orden FOM/588/2017, de 15 de junio, por la que se modifican el Documento Básico DB-HE «Ahorro de energía» y el Documento Básico DB-HS «Salubridad», del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. Madrid, Ministerio de Fomento, Gobierno de España: BOE Nº 149, de 23-jun-2017.
- [13] Real Decreto 235. (2013). de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. Madrid, España: BOE, num. 89 de 13-04-2013.
- [14] Registro CEE Junta de Andalucía. (Junio de 2018). Consejería de Empleo, Empresa y Comercio. Recuperado el 2018, de Eficiencia energética-Consulta pública: https://www.juntadeandalucia.es/empleoempresaycomercio/efic_ener_consulta/listadoExpedientes.do
- [15] Unión Europea. (4 de Enero de 2003). DIRECTIVA 2002/91/UE. Eficiencia Energética de los Edificios de 16 de Diciembre de 2002. Unión Europea: Diario Oficial de las Comunidades Europeas.
- [16] Unión Europea. (18 de Junio de 2010). DIRECTIVA 2010/31/UE. Eficiencia Energética de los Edificios (refundición) de 19 de Mayo de 2010. Unión Europea: Diario Oficial de la Unión Europea.
- [17] Unión Europea. (25 de Octubre de 2012). DIRECTIVA 2012/27/UE. Obligaciones Eficiencia Energética. Unión Europea: Diario Oficial de la Unión Europea.
- [18] Vargas, I. (2012). La entrevista en la investigación cualitativa: nuevas tendencias y retos. *Revista Calidad en la Educación Superior*, 3(1), 119-139.

Termografía y monitorización como herramientas para el análisis y la toma de decisiones en las propuestas de mejora de Rehabilitaciones Energéticas

Thermography and building monitoring as tools for analysis and decision making in proposals for Energy Refurbishment improvements

Marta Epelde¹, Irene Reyero¹, Josu Hernández²

ABSTRACT

Las rehabilitaciones energéticas de edificios existentes deben ser analizadas y diagnosticadas individualmente por la diferente casuística, el diferente grado de deterioro constructivo y los diversos tipos de deficiencias energéticas que encontramos en el parque edificado. Entender correctamente el funcionamiento energético del edificio y sobre todo, entender el porqué de las patologías energéticas (consumos excesivos, condensaciones, puentes térmicos, ausencia de aislamiento, etc.) es vital para poder desarrollar una mejor solución constructiva y también para proponer medidas de mejora específicas para la actuación. Además permite ordenar las acciones correctamente por grado de eficiencia o prever fases, para que el uso de recursos, económicos, energéticos o materiales, sea lo más eficaz posible. Al fin y al cabo, los problemas energéticos de un edificio no vienen dados exclusivamente por las carencias en la envolvente de los mismos, sino que el excesivo consumo energético y las patologías energéticas son la consecuencia de diversos orígenes que se combinan para crear estas problemáticas. Conocer los detalles y entender las causas, más allá de los consumos que nos arrojan las facturas es lo importante, porque quizá se esté apostando por una actuación exclusivamente en instalaciones cuando, sin embargo, la problemática más relevante puede estar asociada con las pérdidas por infiltraciones de aire y la ausencia de aislamiento.

La hipótesis o pregunta principal de nuestro trabajo fue si la termografía y la monitorización son esenciales para obtener los datos que puedan orientar eficazmente hacia una imagen global sobre las patologías energéticas que sufren los edificios. En consecuencia el objetivo principal de nuestra investigación es comprobar si la toma e interpretación de datos mediante termografía y monitorización previa a la actuación, destacan como herramientas fundamentales para el diagnóstico del comportamiento del edificio y de su uso, y si son procedimientos completos y complementarios en los casos que nos ocupan.

La metodología utilizada en los dos casos prácticos ha sido la toma de datos sistemática y planificada según nuestro criterio previo y además según las necesidades detectadas a lo largo del trabajo de campo. Posteriormente, la gran cantidad de datos obtenidos requirió de un acertado y exhaustivo análisis e interpretación, en el que fue de gran ayuda el conocimiento que ya existía previamente de los intercambios energéticos y las condiciones de confort que se dan en los edificios.

La interpretación de los resultados sugiere que los datos obtenidos con estas herramientas llevan a optimizar la toma de decisión de las actuaciones necesarias y en otros, incluso han propiciado la adopción de medidas no contempladas inicialmente, aportando siempre información vital y descubriendo problemáticas que no habían sido detectadas previamente. Por tanto, podemos concluir que la toma, estudio y análisis de los datos obtenidos con las termografías y la monitorización, han sido clave en las propuestas de mejora de las rehabilitaciones energéticas.

Keywords. rehabilitación energética, diagnóstico, termografía, monitorización, consumo energético.

(1) Kursaal Green, Dpto de Eficiencia y Sostenibilidad de Kursaal Rehabilitaciones, +34 943 46 03 64, d.eficiencia@prkursaal.com. (2) Kursaal Rehabilitaciones Integrales.

1. Introducción y objetivo del estudio de caso

La pregunta principal del estudio de caso fue comprobar que la termografía y la monitorización son dos herramientas imprescindibles e indivisibles a la hora de llevar a cabo un análisis y diagnóstico de los problemas energéticos que tiene un edificio. La termografía y la monitorización son modos de inspección que, a menudo, se utilizan de manera independiente o como herramientas adicionales. Sin embargo, el objetivo de este trabajo fue evidenciar si ambas tecnologías, utilizadas de manera complementaria, forman un procedimiento completo de análisis que permite trabajar a un nivel global las problemáticas energéticas (como excesivos gastos energéticos) y las patologías asociadas a ellas (como condensaciones) para abordar las mejoras analizando el conjunto del edificio con el fin de intervenir en el orden idóneo y allí donde la mejora energética vaya a ser significativa.

2. Metodología: estudio de casos

Para el objetivo del trabajo, planteamos el estudio de dos edificios de distinta época constructiva, diferente problemática energética y diferente perfil de uso:

El primer edificio estudiado fue finalizado en el año 1980 y alberga servicios municipales, administrativos y consultorio médico. Se trata de un edificio que cuenta con sótano (no habitable), planta baja, planta primera, segunda y bajo cubierta (no habitable). El edificio no se ha rehabilitado sustancialmente desde su ejecución por lo que en muchos puntos se encuentra bastante deteriorado. Debido a sus características constructivas y de sus instalaciones, la patología energética que presenta es un rendimiento energético muy deficiente. Dada esta situación de altos consumos energéticos y ante la posible toma de decisiones para el cambio de carpinterías y renovación de cubierta sin haber realizado un diagnóstico previo, se opta por este edificio como primer caso de estudio.

El segundo caso estudiado, es un bloque de vivienda finalizado en 2009 que cuenta con tres portales con sótanos de parking y planta baja más cuatro plantas. El edificio ha sufrido varias reparaciones debido a problemas de entrada de agua y presenta graves problemas de condensaciones. Precisamente estos graves problemas de condensaciones y la falta de un análisis exhaustivo de los mismos, fueron los que motivaron su elección como estudio de caso.

En los dos casos prácticos, se siguió un orden de actuación para la toma de datos sistemática y planificada. Para ello, lo primero que se planteó fue una visita al edificio donde realizar una inspección visual y realizar la toma de imágenes termográficas. Dado que la toma de imágenes termográficas requiere de un elevado contraste de temperaturas entre el inte-

1. Introduction and objective of the case study

The main question of the case study was to verify that thermography and monitoring are two essential and indivisible tools when carrying out an analysis and diagnosis of the energy problems a building can have. Thermography and monitoring are inspection modes that are often used independently or as additional tools. However, the objective of this work was to show if both technologies, used in a complementary manner, form a complete analysis procedure that allows managing in a global level both energy issues, such as excessive energy costs and other associated pathologies, such as condensations. Analyzing the building as a whole will allow us to address the necessary improvements in order to take decisions in the ideal order and where the energy improvement becomes significant.

2. Methodology: case study

In order to answer the research question, the field study focused on two buildings of different construction period, different energy problems and different usage profiles:

The first studied building was completed in 1980 and houses municipal, administrative and medical office services. It is a building that has a basement (not habitable), ground floor, first floor, second floor and an under cover (not habitable). The building has not been substantially rehabilitated since its execution, so in many places it is quite deteriorated. Due to its constructive characteristics and facilities, the main energy pathology it presents is a very poor energy efficiency. We chose this building as the first case study because of this high energy consumption situation and because a possible change of carpentry and roof renovation was planned without having made a previous and global diagnosis before.

The second case studied, is a block of houses completed in 2009 that has three entrance halls with parking basements and a ground floor plus four upper floors. The building has undergone several repairs due to water inlet and has serious condensation problems. Precisely these problems of condensation and the lack of an exhaustive analysis of them, motivated our choice as an interesting building to study.

In both cases, an order of action was followed so the data collection could be well planned and systematic. The first thing was to visit the building in order to make a visual inspection and take the thermographic images. Since the taking of the images requires a high contrast of temperatures between indoor and outdoor conditions of the building, visits were carried out in the early hours of the morning and after requesting an intensive use of heating.

At the same time, a data collection system was im-

rior y el exterior del edificio, en ambos casos las visitas se llevaron a cabo a primeras horas de la mañana y tras solicitar un uso intensivo de la calefacción.

En la misma visita, se lleva a cabo la implantación de un sistema de recogida de datos mediante monitorización de los espacios para conocer hábitos que permitan sacar conclusiones acerca de las condiciones interiores y usos característicos. Los datos de monitorización se recogieron durante un periodo de un mes en intervalos de 10 minutos, tomando datos de temperatura, humedad y concentración de CO₂.

3. Análisis e interpretación de los datos

A pesar de que las imágenes termográficas se analizaron y editaron posteriormente durante la fase de análisis de datos, en el transcurso de las visitas fue de vital importancia poder obtener unas primeras imágenes de calidad y contraste térmico suficiente, ya que ayudaron a encontrar las primeras patologías energéticas in situ y por tanto orientaron eficazmente a la hora de realizar la visita e inspeccionar diferentes elementos. Además aportaron información gráfica sobre la tipología constructiva, así como acerca de la importancia y ubicación de las pérdidas energéticas reales más representativas a través de los cerramientos.

En el apartado de análisis de los datos recogidos mediante la monitorización, se requirió un exhaustivo estudio e interpretación, ya que el simple volumen de datos no aporta información de por sí y es el conocimiento previo de los intercambios energéticos y las condiciones de confort que se dan en los edificios, lo que condujo a la obtención de las conclusiones. Además, al análisis de datos tomados se incorporó, en ambos casos, información sobre la temperatura y humedad exterior durante el periodo de toma de información, de manera que pudiera servir como referencia y comparativa.

4. Caso 1: edificio municipal

En la primera toma de contacto con el edificio, la problemática más importante que se nos había comentado era la baja eficiencia de la caldera de gasoil existente. Sin embargo, desde el primer momento, el análisis in situ de las termografías que se tomaron fue de vital importancia para que saltara la voz de alarma sobre las múltiples patologías energéticas que existían en el edificio y que no habían sido detectadas hasta el momento:

1) poca calidad térmica de las envolventes, 2) pérdidas por falta de hermeticidad de ventanas, 3) bajo rendimiento del sistema de calefacción por pérdidas en sus conductos y 4) mala regulación de radiadores.

Si el análisis termográfico aportó información muy relevante para el análisis de pérdidas energéticas, el

plimented by monitoring the spaces in order to get the patterns that could allow us drawing conclusions about the indoor conditions and its characteristic uses. The monitoring data was collected during a period of one month in intervals of 10 minutes, recording data such as temperature, humidity and CO₂ concentration.

3. Analysis and interpretation of data

Despite the fact that thermographic images were analyzed and edited later during data analysis phase, it was fundamental that along the field work we were able to obtain first quality images and sufficient thermal contrast. This helped us to find first energy pathologies in situ and consequently to have a reference inspecting different elements of the building. First images also provided graphic information about the construction typology, and showed us the importance and location of the most representative real energy losses that were happening through enclosures.

A thorough study and interpretation was required when analyzing the collected data through the monitoring system. This was because the collected volume of data does not provide information per se. So it was thanks to our prior knowledge on energy exchanges and comfort conditions in buildings that we were able to reach significant conclusions. Also in both cases, during the data collection period, we registered information on temperature and humidity outside the buildings, hoping this information could complement the study and could be used as reference and comparative points.

4. Case study: municipal building

In our first contact with the building, we were told that the most important problem was the low efficiency of the existing diesel oil basin. However, from the first moment, the analysis of the thermographies made in situ showed the multiple energy pathologies that existed in the building and that had not been detected so far:

1) poor thermal quality of the enclosures, 2) losses due to lack of window tightness, 3) low efficiency of the heating system due to losses in its ducts and 4) poor regulation of radiators.

The thermographic analysis provided very relevant information for the analysis of energy losses, whereas the recording of temperature and humidity data during three months with DL121TH sensor every 10 minutes, revealed the uses and behavior of the people living in the building. Those responsible for the building already had sensed a misuse of auxiliary heating elements such as small electric heaters, neighbors would use to supplement the central heating. The recorded data showed that the indoor

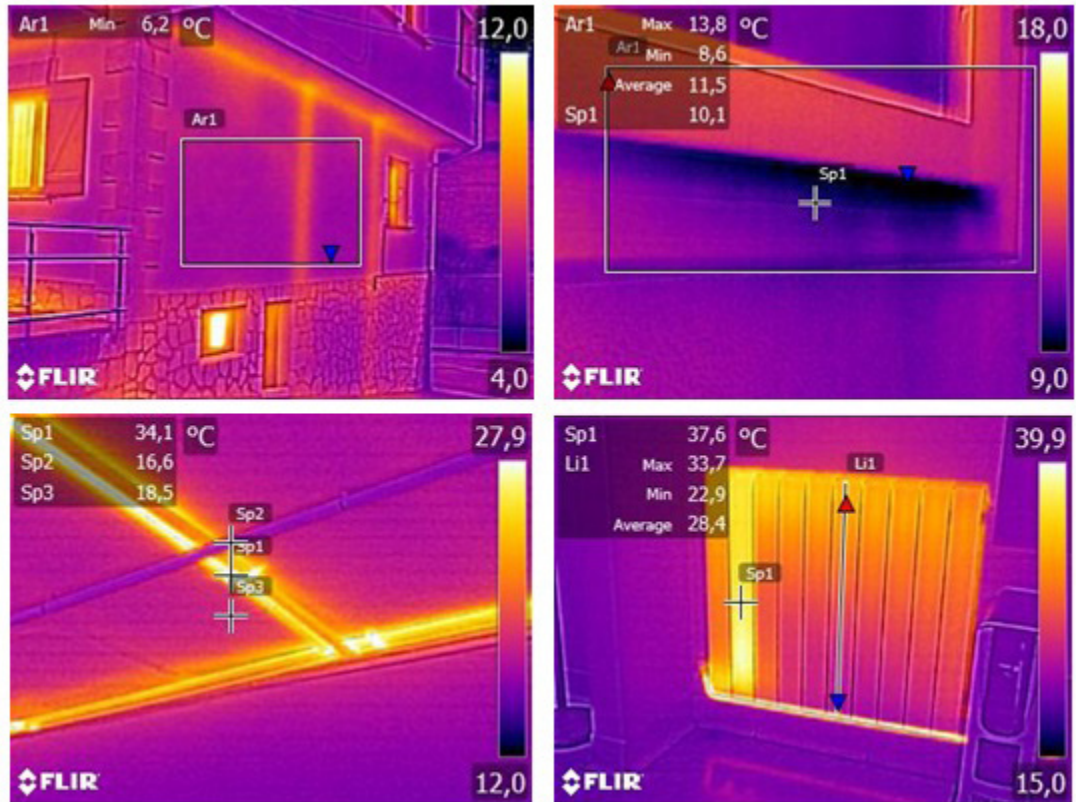


Fig.1. Termográficas que mostraron la variedad y gravedad de las deficiencias energéticas del edificio. Thermographs that showed the variety and severity of the building's energy deficiencies.

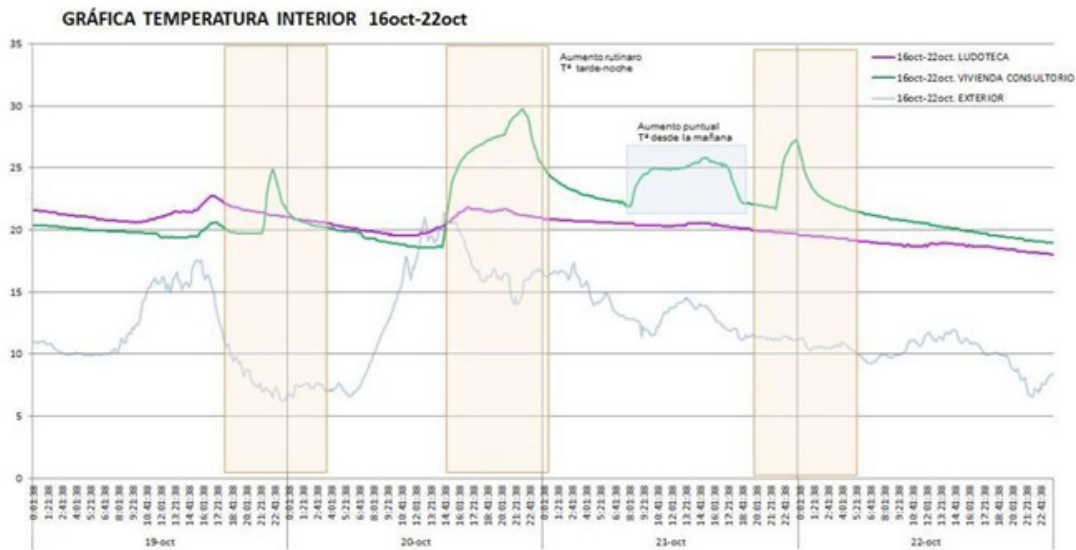


Fig.2. Comparativa de temperaturas exterior, interior ludoteca e interior vivienda consultorio donde se apreciaron grandes diferencias de uso. Comparison of outside temperatures, indoor ludoteca and indoor housing office where large differences in use can be appreciated.

registro de datos de temperatura y humedad tomados con sensor DL121TH cada 10 minutos durante tres meses, reveló los usos y el comportamiento de los usuarios del edificio. Los responsables del mismo intuían un mal uso de elementos auxiliares de calefacción como pequeños calefactores eléctricos para complementar el uso de la calefacción. En los registros se comprobó que por las noches, la temperatura interior de uno de los espacios utilizado como vivienda, el del consultorio médico, aumentaba puntualmente hasta temperaturas muy elevadas. En ocasiones, la temperatura se elevaba hasta los 30°C, mientras que en el otro espacio monitorizado la temperatura seguía un patrón muy lineal.

temperature of one of the flats, that also served as doctor's office, increased punctually to very high temperatures. At some points, temperature rose to 30°C, while in the other monitored space the temperature followed a very linear pattern.

5. Case study: housing block

As mentioned above, this block of houses was chosen as our second case study due to the existence of pathologies concerning moisture condensation. The study consisted first of a visual inspection of the houses and secondly of a thermographic study that served to verify the energetic losses existing in the

5. Caso 2: bloque viviendas

Como se ha mencionado anteriormente, este bloque de viviendas se toma como caso de estudio debido a la existencia de patologías por humedades de condensación. El estudio consta primeramente de una inspección visual de las viviendas, un estudio termográfico que sirviera para verificar las pérdidas energéticas existentes en las envolventes del edificio y por último, la instalación durante un mes, en la estancia más afectada y representativa de cada vivienda de un dispositivo de medición de las condiciones interiores para el posterior análisis de sus condiciones higrotérmicas. El dispositivo de medición utiliza sensor de CO₂ NDIR y medición NTC para temperatura, en intervalos de medición de 10 minutos.

En la inspección visual, se observaba que la mayor concentración de microorganismos se encontraba en pilares y encuentros de forjados de suelo y techo con fachada, así como en la zona bajo la ventana. Las termografías que se llevaron a cabo al mismo tiempo que la inspección visual (a pesar de no estar editadas aun), ya permitían relacionar la presencia de estas patologías con patrones más fríos en esos puntos.

Podría parecer que con esta información se concluye el diagnóstico, pero en las patologías de condensación, la humedad relativa interior y la falta de ventilación son patrones habituales para su aparición y esta información sólo puede ser contrastada por la monitorización. Además, a los usuarios se les había indicado de manera genérica que estas patologías estaban relacionadas con la falta de ventilación que ellos mismos provocaban, extremo que también quisimos comprobar con la monitorización.

En términos generales, la monitorización demostró que era un patrón generalizado la presencia de humedades relativas interiores por encima del 60% la mayor parte del tiempo, tal y como se muestra en la figura 4. Además, la medición de CO₂, que ayuda a comprobar la calidad del aire y a su vez, nos indica la calidad de la ventilación de las viviendas, arrojó datos realmente preocupantes sobre la falta de una ventilación eficaz: con niveles de confort recomendado por debajo de los 1000ppm, en estas viviendas, los valores alcanzaban picos de hasta casi

enclosures of the building. Also a measuring device was installed during one month, inside the most affected and representative room of each house, for the subsequent analysis of indoor hygrothermal conditions. The CO₂ measuring device uses NDIR sensor and NTC measurement for temperature, and the measurement interval was every 10 minutes.

In the visual inspection, it was observed that the highest concentration of microorganisms was in pillars and joints of floor and roof slabs with façade, as well as in the areas under the windows. The thermographies that were taken at the same time, even before being edited, already allowed us to relate the presence of these pathologies with colder patterns in those places.

It might seem that the diagnosis is concluded with this information but in condensation pathologies the indoor relative humidity and the lack of ventilation are very common patterns. And this information could only be confirmed by monitoring. In addition, neighbors were generically that these pathologies were related to the lack of ventilation they could be causing. A possible situation that we also wanted to check by monitoring.

In general terms, the monitoring showed that the presence of indoor relative humidity above 60% most of the time was a generalized pattern, as shown in Figure 4. In addition, the measurement of CO₂, which helps to check the air quality and in turn, tells us the quality of ventilation, gave really worrying data about the lack of effective ventilation. With recommended levels of comfort below 1000ppm, in these homes, the values reached peaks of almost 10,000ppm during the night hours as seen in figure 4, which is an extract of four days of measurements.

The high peaks (which rise well above the recommended 1000ppm for comfort as mentioned), follow a certain pattern coinciding at dawn and early morning hours, as well as the high relative humidity values of the room. Both values of CO₂ and those of high humidity, are maintained until the moment it seems that ventilation occurs. This statement is made because analyzing the data of the first hours of the morning, an effective decrease in the CO₂

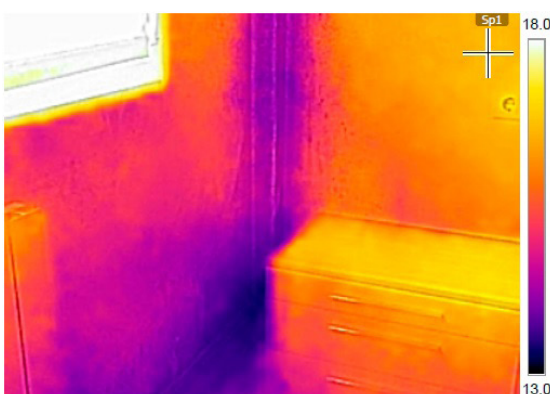


Fig.3.

Termográfica que muestra el patrón típico de temperaturas frías en puentes térmicos como pilares y encuentros de forjado.

Thermography that shows the typical pattern of cold temperatures in thermal bridges such as pillars and forging joints.

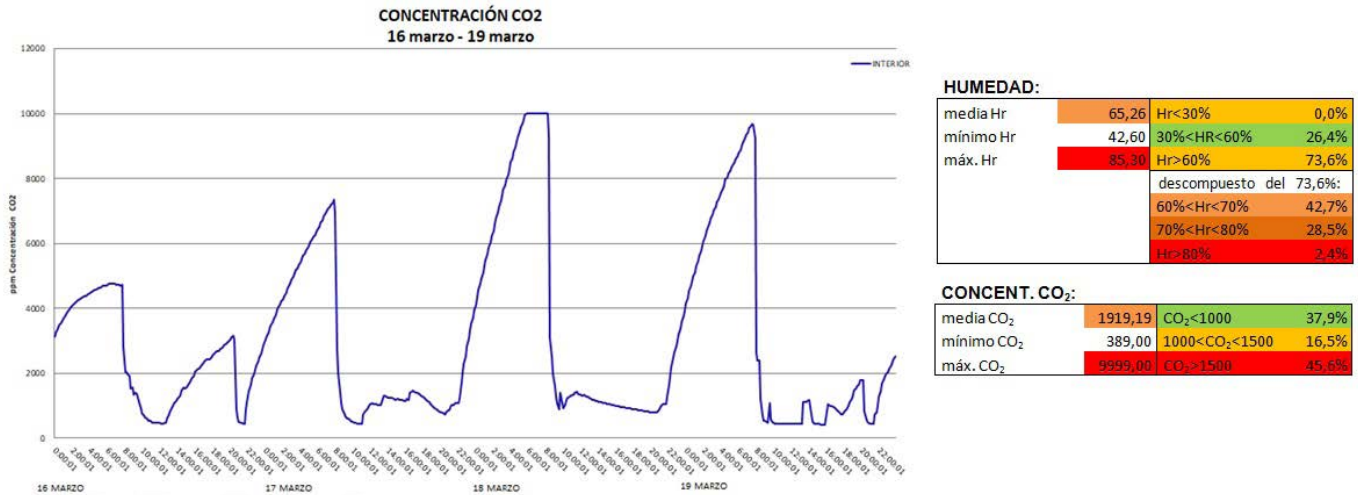


Fig.4. Extracto de gráfico de valores de concentración de CO2 y tablas de resumen de datos obtenidos en la monitorización para humedad relativa y concentración de CO2. Graph of CO2 concentration values (extract) and summary tables of data obtained in the monitoring of relative humidity and CO2 concentration.

10.000ppm durante las horas nocturnas, tal y como se ve en el gráfico de la figura 4 que es un extracto de cuatro días de medición.

Los picos elevados (que como hemos dicho, se elevan muy por encima de los 1000ppm aconsejados para confort), siguen un patrón determinado coincidente en horarios de madrugada y primeras horas de la mañana, al igual que los altos valores de humedad relativa de la estancia. Tanto los valores de CO2 como los de elevada humedad se mantienen hasta el momento en el que parece que se produce la ventilación. Esta afirmación se realiza porque, analizando los datos de las primeras horas de la mañana, se observa una disminución eficaz del contenido de CO2 de la estancia, que baja drásticamente en tan solo 10 minutos hasta valores de 450ppm de media. por lo que la ventilación que se realiza es realmente eficaz.

Sin embargo, podemos afirmar que la ventilación no es adecuada cuando los propietarios están durmiendo porque como es lógico, cierran las ventanas para no pasar frío. Parece que el resto de mecanismos pensados para una ventilación no atendida por los usuarios no ayudan lo necesario para mantener unos buenos valores de CO2. Es en estos momentos de la noche, cuando el usuario no puede hacer la ventilación manual porque está dormido, cuando la calidad del aire empeora y los valores de humedad aumentan también significativamente según muestran los gráficos.

6. Resultados

En ambos casos, la combinación de herramientas para el diagnóstico ha variado no sólo el análisis de las patologías sino también el enfoque y estrategias de actuación para las reparaciones posteriores.

En el caso del edificio municipal, el uso conjunto de ambas tecnologías permitió no culpar del excesivo consumo energético exclusivamente al mal uso de calefactores eléctricos por parte de los usuarios o la

content of the room is observed, drastically decreasing in just 10 minutes to values of 450ppm on average. so the ventilation being done is really effective.

However, we can affirm that the ventilation is not adequate when the owners are sleeping because we understand they close the windows not to be cold. It seems that the other mechanisms designed for ventilation that do not have to be attended by users do not help enough to maintain good values of CO2. It is in these moments of the night, when the user can not do manual ventilation because he is asleep, when the air quality worsens and the humidity values increase significantly as the figure shows.

6. Results

In both cases, the combination diagnosis tools has varied not only the analysis of pathologies but also the approach and strategies of action for subsequent repairs.

In the case of the municipal building, the use of both technologies allowed us to understand that the excessive energy consumption was not only because the misuse of electric heaters by users or due to the old boiler. The thermography showed serious energy pathologies that caused great comfort problems and a low performance of heating installations, so it is not surprising that users had to use auxiliary heating elements. Therefore, the focus changed from blaming users and the obsolete facilities to the awareness of the great energy deficiency of the building both at a constructive level and in the efficiency of its facilities.

The planned actions for the short-medium term (change of boiler, improvement of roofing and replacement of carpentry) were modified and reordered to create a long-term global energy rehabilitation strategy, following a logical order. First improving the different intervention demands (envelope insulation, carpentry improvements) and then carrying out those aimed at improving the systems performance

caldera antigua. La termografía mostró graves patologías energéticas que causan grandes problemas de confort y un bajo rendimiento de las instalaciones de calefacción por lo que no es de extrañar que los usuarios hayan tenido que utilizar elementos auxiliares de calefacción. Por tanto, el foco cambió de la culpabilización de los usuarios y las instalaciones obsoletas a la conciencia sobre la gran deficiencia energética que tiene el edificio tanto a nivel constructivo como de eficiencia de sus instalaciones.

Del mismo modo, las actuaciones previstas a corto-medio plazo (cambio de caldera, mejora de cubierta y sustitución de carpinterías) se modificaron y reordenaron para crear una estrategia de rehabilitación energética global planteada a largo plazo, que siguiera un orden lógico donde primero se realizan las acciones que mejoran la demanda (aislamientos en envolvente, mejoras de carpinterías) y después se llevaran a cabo las encaminadas a mejorar el rendimiento de los sistemas (cambio de caldera) una vez que se recalcularan las necesidades energéticas.

En el bloque de viviendas, el patrón de termográficas permitió confirmar que existía un patrón de relación entre las superficies afectadas por hongos y las superficies más frías de los paramentos tal y como se ha explicado en el apartado de termografías. Sin embargo, el conjunto de ambas herramientas de diagnóstico, termografía y monitorización, amplió esa información y dejó patente otras dos patologías claras que evidenciaban las condensaciones: la presencia de una humedad relativa alta y la falta de ventilación adecuada.

El análisis exhaustivo de las concentraciones de CO₂ y su relación con la presencia de humedad elevada, centró la atención en la mala ventilación de las viviendas pero con un gran matiz: que esta mala ventilación se producía en los momentos en los que la ventilación no podía ser realizada por los usuarios por encontrarse en horas de sueño. Esto marcó una clara diferencia con el diagnóstico que se había hecho previamente y que ponía toda la atención en la mala práctica de la ventilación realizada por los usuarios. La monitorización muestra que los usuarios sí ventilan por las mañanas y que lo hacen de manera eficaz, por lo que la problemática debe centrarse en la ventilación "pasiva" o "no atendida" que el edificio debería asegurar mientras los usuarios están durmiendo y no tienen posibilidad de ventilar manualmente.

Por tanto, el conjunto de las herramientas, ha dado en ambos casos, un diagnóstico más completo y más certero que permitirá poner en práctica actuaciones más globales y holísticas que incluyan estrategias no sólo de aislamiento e instalaciones, sino también de hermeticidad, aseguramiento de la ventilación y reducción de la humedad.

once the energy needs are recalculated (boiler change).

As we explained before, the thermographic pattern in the block of houses helped to confirm that there was a relationship between the surfaces affected by fungi and the colder surfaces of the walls. However, the use of both diagnostic tools, thermography and monitoring, expanded this information and showed two other clear pathologies that evidenced the condensations: the presence of a high relative humidity and the lack of adequate ventilation.

The exhaustive analysis of CO₂ concentrations and its relationship with the presence of high humidity, focused the attention on the poor ventilation of the houses, this time with a new nuance: that this poor ventilation occurred at times, when the ventilation could not be done by users during the sleeping hours. This marked a clear difference with the diagnosis that had been made previously which put the focus on the bad practice of ventilation performed by users. The monitoring shows that the users do ventilate in the morning and that they do it effectively, so future actions should focus on the "passive" or "unattended" ventilation that the building should ensure while the users are sleeping and they do not have the possibility to ventilate manually.

Therefore, the combined use of tools has given a more complete and more accurate diagnosis in both cases. That will allow the implementation of more global and holistic actions that include strategies not only of isolation and facilities, but also of hermeticity, assurance of the ventilation and moisture reduction.

7. Conclusions

Indeed, we verified that in both cases, the combined use of monitoring and thermography as complementary tools has been very relevant for diagnosis and decision making. We believe that it has been demonstrated that both technologies have been vital to complete the information provided by one another, and that they have been decisive in energy inspection, first observations and final decision making for energy rehabilitation.

We have verified that analyzing the data of both technologies, we are able to know in a more reliable way about the causes of the excessive energetic cost of the building or the real origin of the energetic pathologies. Therefore, the most adequate and efficient energy rehabilitation actions could be proposed, ordering energy actions by importance and impact. Also it will be possible to address them gradually and think in future terms. With the combined use of the proposed tools, it will be possible to create a better strategy and, instead of making unrelated punctual repairs, solve the whole energy problem with better planning and economic efficiency.

7. Conclusiones

Efectivamente comprobamos que, en ambos casos, ha sido muy relevante para el diagnóstico y la toma de decisiones el uso de la monitorización y la termografía como herramientas conjuntas. Consideramos que queda demostrado que ambas tecnologías han sido vitales para completar la información aportada por una y otra, y que han sido decisivas en la inspección energética, en las primeras observaciones y en la toma de decisiones finales para las rehabilitaciones energéticas.

Hemos comprobado que con los datos de ambas tecnologías, se conocen de manera más fehaciente las causas del excesivo gasto energético del edificio o el origen real de las patologías energéticas y por tanto, se podrán plantear las actuaciones de rehabilitación energética más adecuadas y más eficientes, ordenando las actuaciones energéticas por importancia e impacto y así poder abordarlas de forma paulatina pero mirando al futuro. Se podrá crear una mejor estrategia y, en vez de hacer reparaciones puntuales no interrelacionadas, solucionar todo el conjunto del problema energético con una mejor planificación y eficiencia económica.

Además consideramos que con la información obtenida mediante ambas herramientas, se pueden plantear además dos acciones a menudo poco contempladas: a) propuestas de mejora del edificio que incluyan el estudio de optimización de ejecución por fases de las obras, de cara a que las acciones previstas, aunque se realicen por fases, estén dentro de una estrategia de rehabilitación energética global planteada a largo plazo, y que cumpla requisitos de alta eficiencia, con ahorros energéticos y económicos contrastables; b) propuestas para cambios en los hábitos de los usuarios o de los responsables de gestión de los edificios (conserjes), con el fin de optimizar tanto el gasto energético como mejorar las condiciones de confort y ventilación existentes.

Finally, we also consider that taking into account the obtained information, other actions could be proposed which are not often considered: For example, a) proposals for improving the building that include a study for optimizing the execution in different phases, so the planned actions, although they are carried out gradually, they are part of a long-term global energy rehabilitation strategy that meets high efficiency requirements with verifiable energy and economic savings; b) proposals for habit changes of the users or those responsible for the management of the buildings, in order to optimize both the energy expenditure and improve the comfort and ventilation conditions

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Vollmer, M. (2010). *Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications*. London: Wiley VCH Verlag GmbH & Co.
- [2] Shorter, C et Al. (2017). Indoor visible mold and mold odor are associated with new onset childhood wheeze in a dose dependent manner. Published by John Wiley & Sons Ltd. Recuperado de: <https://doi.org/10.1111/ina.12413>
- [3] Mishra, A. K. (2018). Window/door opening-mediated bedroom ventilation and its impact on sleep quality of healthy, young adults. Published by International Journal of Indoor Environment and Health. Recuperado de: <https://doi.org/10.1111/ina.12435>

Diseño de la determinación experimental del comportamiento térmico de construcciones industrializadas de *Guadua angustifolia kunth* en Colombia

Design of experimental determination of the thermal behavior of industrialized constructions with *Guadua angustifolia kunth* in Colombia

O.F. Martínez¹, C.R. Ardilla¹, F.J. Fernández²

ABSTRACT

Debido a la necesidad de desarrollo e implementación de tecnologías de construcción sostenible con materias primas de origen local y provenientes de fuentes renovables, ha surgido un creciente interés en el uso de la *Guadua* (bambú) como material de construcción en Colombia. Su cultivo presenta una elevada capacidad de renovación, de fijación de CO₂ y de aumento de presencia de agua en sus plantaciones. Sus características físicas, químicas y mecánicas son muy propicias para la industria de la construcción. En Colombia se ha utilizado desde tiempos milenarios al igual que en otras zonas como China, Japón e Indonesia. Su uso en Colombia ha sido minoritario y artesanal, y el objetivo actual al igual que en otros países productores de *Guadua* en América, es el desarrollo de procesos industrializados que permitan extender a gran escala la producción de elementos constructivos de bajo coste. A partir de estos desarrollos se pretende poner al alcance de una población mayoritariamente pobre de Latinoamérica que vive en condiciones precarias de habitabilidad, un producto con buena calidad y bajo coste. Escasea la información técnica detallada en diversos aspectos de la *Guadua* e interesa ampliar el conocimiento sobre el comportamiento térmico de edificaciones construidas en este material. El proceso de "industrialización de *Guadua*" difiere por completo de su uso tradicional en Colombia. Consiste en la transformación de los culmos (varas) en paneles laminados con dimensiones aproximadas de 120cm x 240cm x 3cm, obtenidos tras "abrir" el culmo para obtener superficies planas que se adhieren unas a otras mediante procesos de corte, desbaste y prensado con procesos estandarizados en serie. Los paneles son utilizados como muros y cielorrasos en edificaciones. La cubierta es metálica y los pisos de hormigón, materiales predominantes en uso y disponibilidad en el mercado de construcción de vivienda unifamiliar en niveles socioeconómicos bajos. Entre los años 2015 y 2017, se han llevado a cabo 4 proyectos de construcción en Colombia basados en estos procesos industrializados de *Guadua Angustifolia Kunth*. Las construcciones así realizadas han evidenciado cualitativamente un mejor comportamiento térmico frente a construcciones convencionales de ladrillo y cemento. El presente estudio plantea el diseño de fase experimental de una investigación cuyo objetivo es confirmar y cuantificar el mejor comportamiento térmico de las viviendas unifamiliares construidas con los paneles y estructura de *Guadua*. Se ha diseñado una instalación experimental que consta de dos recintos tipo del mismo tamaño con las soluciones constructivas descritas: paneles estándar y estructura de *guadua* frente a construcción clásica de ladrillo y cemento. La instalación será construida en las instalaciones del Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera en el distrito de Bucaramanga, Colombia. Su comportamiento será monitorizado y registrado durante un periodo de al menos un año. Los resultados indicarán si a las incuestionables ventajas económicas sociales y medioambientales se une una previsible mejora del bienestar térmico de los ocupantes de este tipo de construcciones..

Key Words: *Guadua* (Bambú), construcción industrializada, vivienda social, bienestar térmico.

(1) Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera, Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, Bogotá, Colombia. (2) Universidad de Oviedo, EPI Gijón, +34 98 518 21 12, javierfernandez@uniovi.es

1. Introducción

El evidente cambio climático global ha sido ocasionado por diversas industrias contaminantes, pero en especial por la incesante industria de construcción, ya que las materias primas convencionales como el cemento, ladrillo, hierro, polímeros de petróleo (entre otros), provienen de la infinita explotación de recursos naturales que no son renovables, poniendo en riesgo la preservación de la vida. Es inminente el desarrollo e implementación de tecnologías de construcción sostenible con materias primas provenientes de fuentes altamente renovables, por lo cual es de gran interés el uso de la *Guadua* (Bambú) ya que es una planta cuyo renuevo puede crecer 25 metros en tan solo 6 meses (bajo condiciones ideales) además que absorbe grandes cantidades de CO₂ y es precursor de agua en las plantaciones. Las características físicas, químicas y mecánicas de la *Guadua* son muy propicias para la industria de la construcción, y en Colombia se ha utilizado desde tiempos milenarios para este propósito, al igual que en países como China, Japón e Indonesia. Pero en Colombia el uso de la *Guadua* ha sido minoritario y artesanal, no existen normas ni estándares internacionales para su utilización, por lo cual se ha conformado recientemente un comité ISO para su normalización [1], conformado por varios países con tradición en el uso de la *Guadua*. Colombia forma parte de dicho comité, y su objetivo al igual que el de varios países productores de *Guadua*, es sustituir su manejo artesanal por procesos industrializados que permitan masificar a gran escala la producción de elementos constructivos de bajo costo, al alcance de la población mayoritariamente pobre de Latinoamérica que vive en condiciones precarias de habitabilidad; pero no existe suficiente información científica en diversos aspectos de la *Guadua* porque la demanda de la industria no lo había requerido hasta el día de Hoy (actualmente China es líder en procesos industrializados del Bambú). El comportamiento térmico es uno de esos aspectos inexplorados de la *Guadua*, por lo que se plantea el interés de la caracterización térmica de este material de construcción y del comportamiento desde el punto de vista del confort térmico de las construcciones modulares realizadas con este material.

El uso de la *guadua* en Colombia

La *Guadua* en Colombia se ha utilizado desde tiempos milenarios, pues culturas indígenas primitivas como los Muiscas, la utilizaban para la construcción de sus viviendas y templos sagrados, llamados Kusmuy (fotografía en Fig. 1). La *guadua* era utilizada en su forma natural cilíndrica para conformar elementos estructurales, y luego aplastaban otras *guaduas* para conformar superficies planas que permitían recubrir los muros exteriores de la construcción. La planta de la edificación era generalmente de forma circular, la cubierta era de material vegetal (como la palma o paja) con forma parabólica para recibir la

1. Introduction

The evident global climate change has been caused by various polluting industries, but especially by the incessant building industry, since conventional raw materials such as cement, brick, iron, petroleum polymers (among others), come from the infinite exploitation of natural resources that are not renewable, threatening the preservation of life. The development and implementation of sustainable building technologies with materials from renewable sources is needed. The use of *Guadua* (Bamboo) is of great interest since it is a plant whose renewal could grow 25 meters in only 6 months (under ideal conditions). Besides it absorbs large amounts of CO₂ and is a precursor of water in the plantations. The physical, chemical and mechanical characteristics of the *Guadua* are very favorable for the building industry. In Colombia it has been used for millennia for this purpose, as in countries such as China, Japan and Indonesia. But in Colombia the use of *Guadua* has been minority and handcraft. There are no international standards for its use, for which an ISO committee has recently been constituted for its normalization [1]. This committee is made up of several countries with a tradition in the use of *Guadua*. Colombia is part of this committee, and its objective, like that of several producer countries of *Guadua*, is to replace its artisanal handling with industrialized processes that allow mass production of low-cost construction elements on a large scale. This houses can be within reach of the poor population in Latin America who lives in precarious conditions of habitability. Nowadays there is not enough scientific information in several aspects of the *Guadua*, since the industry demand had not required it until today (at present China is a leader in industrialized processes of Bamboo). The thermal behavior is one of those unexplored aspects of the *Guadua*, so the interest arises of the thermal characterization of this building material and the thermal comfort behavior of the modular constructions made with it.

The use of *guadua* in Colombia

Guadua in Colombia has been used since ancient times, because primitive indigenous cultures like the Muiscas, used it for the construction of their homes and sacred temples, called Kusmuy (photo in Fig. 1). The *guadua* was used in its natural cylindrical shape to form structural elements, and then other *guadua* plants were crushed and put together covering the outer walls of the construction. The floor of the building was generally circular, the roof was made of plant material (like palm or straw) with a parabolic shape to receive the celestial energy coming from the universe during the meditation. The fire of the bonfire inside welcomed the family and spiritual ceremonies, but also at the same time gave heat and light to the interior space. The smoke spread throughout the space to impregnate itself in the *guadua*, immunizing the material against the attack of bio-

energía celestial proveniente del universo durante la meditación. El fuego de la hoguera en su interior acogía la familia y las ceremonias espirituales, pero también al mismo tiempo daban calor y luz al espacio interior. El humo se esparcía por todo el espacio para impregnarse en la guadua, ejerciendo así el trabajo de inmunizante ante el ataque de agentes biológicos. Pequeñas incisiones en la guadua aplastada permitían la evacuación del exceso de humo hacia el exterior, pero al mismo tiempo propiciaban la entrada de aire para oxigenar el espacio interior. El piso era de tierra para tener contacto permanente con la madre naturaleza que otorga el alimento, el agua y la vida. Todos los elementos de la construcción eran biodegradables para permitir el curso natural de la vida, entiendo que todo proviene de la tierra y debe regresar a ella. Para prolongar la existencia de las construcciones, se reemplazaban periódicamente las piezas que iniciaban su proceso de descomposición natural. Nunca la utilización de recursos naturales para la construcción o mantenimiento de las edificaciones era superior a la capacidad de renovación de los recursos utilizados, garantizando así la preservación de los ecosistemas y la vida. Aún hoy en día, en sitios recónditos de la Amazonía y Serranía Colombiana, existen algunas culturas que conservan sus tradiciones constructivas.

En la historia más reciente de Colombia, la guadua se utiliza para la construcción de viviendas especialmente en fincas de la zona cafetera del país. Se combina con otros materiales modernos como el cemento para revestir las estructuras de guadua y dar acabado a los muros de la edificación. Las cubiertas son en teja de barro y el espacio arquitectónico es ortogonal con distribuciones de espacios implantados durante la colonia. La guadua es de geometría circular alargada, pero no es simétrica, y posee torceduras, conicidad, diferentes diámetros, por lo cual este tipo de construcciones artesanales requieren de gran destreza por parte del constructor para el correcto ensamble de las varas de guadua, haciendo lento y costoso el trabajo, razón por la cual su uso es minoritario en tiempo presente (fotografía en Fig. 2).

A pesar que Colombia es uno de los países que más construye en Guadua en el planeta, el número de construcciones es extremadamente minoritario, ya que los materiales predominantes para la construcción en el país son el ladrillo, concreto, metal y plásticos. La explotación de recursos naturales para la industria de la construcción y los hidrocarburos, ha generado daños ambientales difíciles de restaurar, lo cual nos ha conducido a un drástico cambio climático en el país, con elevadas temperaturas en zonas de montaña que está originando el derretimiento de los nevados. En algunas épocas se presentan lluvias e inundaciones extremas, mientras que en otros lugares ya no llueve y se han secado las aguas subterráneas.

En Colombia, la industrialización de la guadua para



Fig.1.
Kusmuy en la Sierra Nevada de Santa Marta / Colombia (Fotografía: Oscar Fabian Martínez Guerrero 2013).



logical agents. Small incisions in the crushed guadua allowed the evacuation of excess smoke, allowing at the same time the entry of new air to oxygenate the interior space. The floor was of earth to have permanent contact with mother nature that gives food, water and life. All the elements of the construction were biodegradable to allow the natural course of life, I understand that everything comes from the earth and must return to it. To prolong the existence of the constructions, the pieces that began their natural decomposition process were periodically replaced. Never the use of natural resources for the construction or maintenance of the buildings was superior to the capacity of renewal of the resources used, thus guaranteeing the preservation of ecosystems and life. Even today, in remote places of the Amazon and Colombian Serrania, there are some cultures that conserve their constructive traditions.

Fig.2.
Hotel en Santander / Colombia (Fotografía: Oscar Fabian Martínez Guerrero 2011).

In the most recent history of Colombia, guadua is used for the construction of houses especially on farms in the country's coffee zone. It is combined with other modern materials such as cement to coat the guadua structures and finish the walls of the building. The roofs are made of clay tile and the architectural space is orthogonal with distributions of spaces implanted during the colony. The guadua is

la construcción masiva de vivienda de bajo costo, sería una alternativa para mitigar la contaminación y el creciente déficit de vivienda, pues la mayoría de la población es pobre, no posee vivienda o vive en condiciones precarias de habitabilidad. Las políticas de vivienda en el país, están atadas al mercado de la banca, el cual exige a las familias ingresos económicos y ahorros para la adquisición de créditos inmobiliarios, por lo cual solamente los estratos socioeconómicos medios y altos pueden acceder a esta posibilidad, pero son una minoría de la población. Además, las políticas Gubernamentales y los intereses particulares de grandes empresarios de la construcción, no han permitido visibilizar y potencializar el desarrollo de la construcción sostenible.

2. Planteamiento

Industrialización de la guadua en Colombia

Sustituir los procesos artesanales de la guadua (lentos y laboriosos) por procesos industrializados que permitan masificar a gran escala el uso de este material, ha sido objetivo de diferentes instituciones y personas en Colombia. Se han desarrollado múltiples investigaciones y algunas empresas han implementado diversos procesos industrializados. Se ha propuesto un sistema constructivo de vivienda de bajo costo a partir de procesos industrializados de guadua que pueden ser combinados con algunos procesos artesanales, madera, metal u hormigón en menores proporciones. La literatura especializada muestra ejemplos recientes de estudio de viviendas sociales con uso de materiales sostenibles en otros lugares como Filipinas [2] o Brasil [3].

El proceso de industrialización, consiste en la transformación de los culmos (varas) de *Guadua* en paneles laminados con dimensiones aproximadas de 140cm x 250cm x 3cm, los cuales se obtienen luego de “abrir” el culmo para obtener superficies planas llamadas esterillas, que se adhieren unas a otras en dos capas mediante procesos de desbaste y prensado, utilizando un adherente que amarra microscópicamente las fibras de las esterillas, pero que al mismo tiempo le otorga propiedades de aislamiento térmico ya que la estructura física del adherente es alveolar. Las esterillas se pegan por su cara interna,

of elongated circular geometry, but it is not symmetrical, and it has kinks, conicity, different diameters, so this type of craft constructions require great skill on the part of the builder for the correct assembly of the bamboo rods, making slow and expensive work, which is why its use is a minority in present time (photo in Fig. 2).

Although Colombia is one of the main countries building in *Guadua*, the number of constructions is extremely low, since the predominant materials for construction in the country are brick, concrete, metal and plastics. The exploitation of natural resources for the construction industry and hydrocarbons, has generated environmental damage difficult to restore, which has led to a drastic climate change in the country, with high temperatures in mountain areas that is causing the melting of the snowcapped. In some seasons there are extreme rains and floods, while in other places it no longer rains and the groundwater has dried up.

In Colombia, the industrialization of *guadua* for the massive construction of low-cost housing would be an alternative to mitigate pollution and the growing housing deficit, since the majority of the population is poor, does not own housing or lives in precarious conditions. Housing policies in the country are tied to the banking market, which requires families to obtain economic income and savings for the acquisition of real estate loans, so only medium and high socioeconomic levels can access this possibility, but they are a minority of the population. In addition, Government policies and the particular interests of large construction entrepreneurs have not allowed the development and sustainable development to be made visible.

2. Approach

Industrialization of the *guadua* in Colombia

Substituting the handcraft processes of the *guadua* (slow and laborious) by industrialized processes that allow massive use of this material on a large scale, has been the objective of different institutions and people in Colombia. Multiple investigations have been performed and some companies have implemented several industrialized processes. A constructive system of low-cost housing has been proposed from industrialized *guadua* processes that can be combined with some artisanal processes, wood, metal or concrete in smaller proportions. The specialized literature shows recent examples of the study of social housing with the use of sustainable materials in other places such as the Philippines [2] or Brazil [3].

The process of industrialization, consists of the transformation of the culms (rods) of *Guadua* in laminated panels with approximate dimensions of 140cm x 250cm x 3cm, which are obtained after “opening” the culm to obtain flat surfaces called mats. These are



Fig.3. Producción de paneles de *guadua*, Bogotá / Colombia (Fotografía: Oscar Fabian Martínez Guerrero 2015).

dejando expuesta en el tablero la cara externa (epidermis) de la guadua, que es vidriosa gracias a su contenido de sílice, conservando así su protección y apariencia natural. Este proceso se realiza en un taller bajo procesos estandarizados de producción (fotografía en Fig. 3).

Los paneles son utilizados como muros y cielorrasos en edificaciones, la cubierta es metálica y los pisos de hormigón, siendo estos dos materiales predominantes en el uso y disponibilidad del mercado para la construcción de vivienda unifamiliar en estratos socioeconómicos bajos. Este proceso de transformación industrial, difiere por completo del uso tradicional de la Guadua en Colombia.

En el sitio de construcción, los tableros se unen a una estructura de vigas y columnas que pueden ser de madera, metal o guadua natural (cilíndrica), conformando un sistema confinado. Este sistema es modular, pues se constituye a partir de un módulo básico de 3 metros x 3 metros que se repite para conformar diferentes configuraciones de formas y tamaños, adaptándose a diferentes condiciones geográficas y culturales de las familias colombianas. Tanto los paneles como las vigas y columnas, poseen medidas estandarizadas que permiten procesos de pre-armado y fácil transporte. La estructura y muros pueden apoyarse sobre una losa de hormigón o sobre palafitos cuando la construcción se ubique en terrenos inclinados o con altos niveles de humedad. Todos los componentes de construcción son livianos, por tanto su masa es 10 veces inferior a una construcción convencional de ladrillo, por lo cual los elementos estructurales tienen menor responsabilidad de carga y por tanto menor dimensión, que se traduce también en menor riesgo para las personas en caso de destrucción por sismo o desastre (Fotografías en Figs. 4, 5, 6).

Entre los años 2015 y 2017, se han realizado 4 proyectos de construcción en Colombia implementando procesos industrializados de Guadua *Angustifolia kunth*, evidenciando cualitativamente un mejor comportamiento térmico frente a construcciones convencionales de ladrillo y cemento, que son los materiales más utilizados para construcción de vivienda en Colombia.

adhered to each other in two layers by roughing and pressing processes, using an adhesive that bonds the fibers of the mats microscopically. It also gives them thermal isolation since the physical structure of the adherent is alveolar. The mats are glued on its internal face, leaving exposed on the board the outer face (epidermis) of the guadua, which is glassy thanks to its silica content, thus preserving its protection and natural appearance. This process is carried out in a workshop under standardized production processes (photo in Fig. 3).

The panels are used as walls and ceilings in buildings, the roof is metallic and the concrete floors, being these two predominant materials in the use and availability of the market for the construction of single-family housing in low socioeconomic levels. This process of industrial transformation differs completely from the traditional use of Guadua in Colombia.

At the construction site, the boards are joined to a structure of beams and columns that can be made of wood, metal or natural guadua (cylindrical), forming a confined system. This system is modular, since it is constituted from a basic module of 3 meters x 3 meters that is repeated to conform different configurations of shapes and sizes, adapting to different geographic and cultural conditions of Colombian families. Both the panels and the beams and columns have standardized lengths that allow pre-assembly processes and easy transportation. The structure and walls can be supported on a concrete slab or on stilts when the construction is located on slopes or high levels of humidity. All construction components are light, so their mass is 10 times lower than a conventional brick construction, so the structural elements have less load responsibility and therefore smaller dimension. This also translates into lower risk for people in case of destruction by earthquake or disaster (Photographs in Figs 4, 5, 6).

Between 2015 and 2017, 4 construction projects have been carried out in Colombia implementing industrialized processes of Guadua *Angustifolia kunth*, qualitatively demonstrating a better thermal behavior compared to conventional brick and cement constructions, which are the most used materials for housing construction in Colombia.



Fig.4.

Guadua industrializada, Saldaña / Colombia (Fotografía: Oscar Fabian Martínez Guerrero 2016).

Fig.5.

Guadua industrializada, Soacha / Colombia (Fotografía: Oscar Fabian Martínez Guerrero 2017).

Comportamiento térmico de las construcciones industrializadas en guadua

En los cuatro proyectos en los que se ha implementado este sistema constructivo en Colombia, se ha evidenciado cualitativamente un mejor comportamiento térmico frente a construcciones convencionales de ladrillo y cemento. Estos cuatro proyectos de Guadua poseen diferentes características de forma, tamaño, uso y localización, razón por la cual no es posible medir allí aspectos cuantitativos ni comparativos de comportamiento térmico, pero quienes habitan en estos proyectos, vivieron antes en casas de ladrillo y manifiestan lo siguiente:

- La casa de ladrillo en que vivían antes se calentaba mucho en el día y se demoraba en enfriarse durante la noche. La casa de guadua se calienta menos en el día y se enfría rápidamente durante la noche
- El aire es más fresco en la casa de guadua respecto a la casa de ladrillo
- En épocas de intenso verano, durante la noche tenían que dormir en hamacas (mueble tejido de colgar) fuera de la casa, pues la temperatura era mayor dentro que fuera de la casa. En la casa de Guadua se incrementa muy poco la temperatura durante la noche en esta misma época.
- Durante el día en época de intenso calor las personas salen de la casa para refrescarse. En la casa de Guadua es suficiente con abrir las ventanas para refrescarse y no es necesario salir de la casa
- El acabado natural de la guadua y el aire fresco a su interior hace que el espacio sea más agradable, originando mayores tiempos de permanencia dentro de la casa, por tanto mayores actividades de socialización de la familia.
- Deben tener mayor cuidado con la cocción de los alimentos, pues la guadua se puede incendiar en caso de un mal manejo del fuego porque usan estufa de gas.

Thermal behaviour of industrialized constructions of guadua

In the four projects in which this construction system has been implemented in Colombia, it has been shown qualitatively better thermal behavior compared to conventional brick and cement constructions. These four Guadua projects have different shape, size, use and location, then it is not possible to measure quantitative or comparative aspects of thermal behavior there. Inhabitants in houses from those projects, were before living in brick houses and declare that:

- The previous brick house was very hot by day and it took a long time to cool down during the night. The house of guadua warms up less in the day and cools quickly during the night.
- The air is cooler in the guadua house compared to the brick house.
- In intense summertime, during the night they had to sleep in hammocks (hanging fabric) outside the house, since the temperature was higher inside than outside the house. In the house of Guadua the temperature is increased very little during the night in this same time.
- During the day in times of intense heat people leave the house to cool off. In the house of Guadua opening the windows allow cool down and it is not necessary to leave the house
- The natural finish of the guadua and fresh air inside makes the space more pleasant, resulting in longer residence times in the house, therefore increasing socialization family activities.
- They should be more careful with the cooking of the food, since the guadua can catch fire in case of mishandling the fire because they use a gas stove.



Fig.6.
Guadua industrializada,
Inírida / Colombia
(Fotografía: Luis Enrique Yate
Calvo 2017).

Hipótesis de investigación

Los resultados de estos cuatro proyectos de construcción desarrollados en los últimos años, se constituyen como fundamento para el planteamiento de la hipótesis de investigación: "Las construcciones industrializadas de Guadua poseen un comportamiento térmico apropiado para las condiciones de clima tropical en Colombia, afianzando este sistema constructivo como una alternativa viable de vivienda para la mayoría de la población en el país que vive en condiciones precarias de habitabilidad".

3. Objetivos

El objetivo de la investigación es determinar el comportamiento térmico en construcciones industrializadas de Guadua Angustifolia Kunth en Colombia, siendo esta especie de Guadua la que predomina en el país. y se pretende medir en la investigación el comportamiento térmico de este sistema constructivo mediante el diseño y fabricación de prototipos experimentales a escala real en condiciones climáticas representativas de Colombia. Se comprobará la hipótesis de que las construcciones industrializadas de Guadua Angustifolia Kunth poseen un comportamiento térmico apropiado para las condiciones de clima tropical en Colombia, afianzando este sistema constructivo como una alternativa viable de vivienda para la mayoría de la población en el país que vive en condiciones precarias de habitabilidad.

Para conseguir este objetivo, se construirán dos prototipos arquitectónicos de tamaño real: Uno de ellos con el sistema de construcción industrializada en Guadua y el otro con el sistema tradicional de ladrillo y cemento, predominantes en la construcción de vivienda en estratos bajos de la población Colombiana. Cada prototipo tendrá un área construida de 10m² para simular un espacio real al interior de una vivienda. La disposición de vigas y columnas será la misma para los dos prototipos, como también será igual la cubierta, piso y ventanas. La cubierta para los dos prototipos será metálica con cielorraso de madera, también predominantes en las construcciones de estratos bajos. Los pisos serán losa de hormigón y las ventanas de marco metálico con vidrio crudo, también predominantes en este segmento de la población.

Será posible medir y comparar experimentalmente en igualdad de condiciones el comportamiento térmico de los dos sistemas constructivos. Para la medición, se instalarán sensores de temperatura, humedad y radiación tanto al interior como en el exterior de los prototipos. En el interior se instalarán sensores a dos alturas diferentes, considerando variaciones de las condiciones por estratificación del aire caliente. Los sensores estarán conectados a recolectores de datos para poder tomar mediciones continuas durante las 24 horas del día, siete días a la semana. Periódicamente se recopilarán datos para

Research hypothesis

The results of these four construction projects built in recent years, constitute the basis for the approach of the research hypothesis: "The industrialized buildings of Guadua have an appropriate thermal behavior for the conditions of tropical climate in Colombia, strengthening this system constructive as a viable housing alternative for the majority of the population in the country that lives in precarious conditions of habitability".

3. Objectives

The research objective is to determine the thermal behavior in industrialized constructions of Guadua Angustifolia Kunth in Colombia, being this Guadua species the one that predominates in the country. It is intended to check the thermal behavior of this constructive system through the design and manufacture of experimental prototypes on a real scale in representative climatic conditions of Colombia. The hypothesis will be verified that the industrialized constructions of Guadua Angustifolia Kunth performs an appropriate thermal behavior for the conditions of tropical climate in Colombia, strengthening this constructive system like a viable alternative of housing for the majority of the population in the country that lives in bad conditions of habitability.

To achieve this objective, two architectural prototypes of real size will be built: One of them with the industrialized construction system in Guadua and the other with the traditional brick and cement system, predominant in the construction of housing in low social level of the Colombian population. Each prototype will have a built area of 10m² to simulate a real space inside a house. The arrangement of beams and columns will be the same for the two prototypes, as will the deck, floor and windows. The roof for the two prototypes will be metal with wooden ceiling, also predominant in the inexpensive constructions of low social level. The floors will be concrete slab and the windows with metallic frame with simple glass, also predominant in this segment of the population.

It will be possible to measure and experimentally compare the thermal behavior of the two construction systems under equal conditions. For the measurement, temperature, humidity and radiation sensors will be installed both inside and outside the prototypes. In the interior sensors will be installed at two different heights, considering variations of the conditions by hot air stratification. The sensors will be connected to data collectors so they can take continuous measurements 24 hours a day, seven days a week. Data will be collected periodically for tabulation and analysis. The prototypes will be built in the city of Bogotá, where hot and cold temperatures are perceived at different times of the year. Measurements will be taken for 12 months. The location



Fig.7.
Diseño Arquitectónico
módulos comparativos
(Render: Luis Enrique Vate
Calvo 2018).

su tabulación y análisis. El sitio en que se realizará la construcción de los prototipos será la ciudad de Bogotá, allí se perciben temperaturas de calor y frío en diferentes épocas del año. Se tomarán mediciones durante 12 meses. El emplazamiento de los prototipos se hará sobre su eje diagonal en sentido oriente-occidente para que la mitad de los muros reciban sol en la mañana y la otra mitad reciban sol en la tarde. Estarán desplazados uno respecto el otro para no generar sombras entre ellos (ver Fig. 7).

Li et al. [2] constituyen un referente de interés por su investigación experimental para determinar el comportamiento energético de un muro compuesto de bambú, acero y lana de roca en China. En países estacionarios las fluctuaciones de temperatura son drásticas a lo largo del año, requiriendo la elaboración de muros compuestos para mitigar internamente estas condiciones climatológicas, pero en Colombia, por encontrarse sobre el paralelo del Ecuador, no existen variaciones tan drásticas en la temperatura, la mayoría de poblaciones del país son cálidas, existen épocas de lluvia o sol pero no estaciones, por tanto en las construcciones no se acostumbra elaborar muros compuestos como los descritos en el referente experimental. En el sistema de guadua industrializada los muros se conforman por un solo panel de guadua con un adherente alveolar que aísla un poco la temperatura exterior. Los resultados de los ensayos serán previsiblemente muy diferentes a los de este estudio, pero ha sido un referente importante para determinar el diseño de los prototipos a ensayar y de los instrumentos de medición a utilizar.

3. Conclusión

La demanda para el uso de la guadua (y bambú) a nivel mundial había sido minoritaria hasta los años recientes, por tanto no existe suficiente información científica en diversos aspectos de la Guadua. El comportamiento térmico es uno de esos aspectos inexplorados de la Guadua, por lo cual se constituye este

of the prototypes will be done on its diagonal axis in east-west direction so that half of the walls receive sun in the morning and the other half receive sun in the afternoon. They will be displaced one from the other so as not to generate shadows between them (see Fig. 7).

Experimental research from Li et al. [4] to determine the energetic behavior of a wall composed of bamboo, steel and rock wool in China is a good example. In countries with weather seasons the temperature fluctuations are drastic throughout the year, requiring the elaboration of composite walls to mitigate these climatological conditions internally, but in Colombia, that is on the equator, there are no such drastic variations in temperature, most of the country's populations are warm, there are rainy or sunny seasons but no seasons, so in buildings it is not customary to build composite walls as described in the experimental reference. In the industrialized guadua system, the walls are formed by a single bamboo panel with an alveolar adhesive that isolates the outside temperature a little. The results of the tests will be predictably very different from those of this study, but it has been an important reference to determine the design of the prototypes to be tested and the measurement instruments to be used.

4. Conclusion

The demand for the use of guadua (bamboo) worldwide was minority until recent years, so there is not enough scientific information in various aspects of the Guadua. The thermal behavior is one of those unexplored aspects of the Guadua, for which this aspect is constituted as a research objective. In addition to the importance of scientifically validating the proposed hypothesis, by experimentally demonstrating the multiple benefits of guadua, its positioning in the construction market could be promoted to directly compete with conventional materials.

aspecto como objetivo de investigación. Además de la importancia de validar científicamente la hipótesis planteada, al evidenciar experimentalmente los múltiples beneficios de la guadua, podría promoverse su posicionamiento en el mercado de construcción para competir directamente con los materiales convencionales.

A través de esta experimentación, se espera validar científicamente la hipótesis del proyecto para posicionar el uso de los procesos industrializados de la Guadua en Colombia como una alternativa para mitigar el creciente déficit de vivienda y el negativo impacto ambiental de la construcción convencional. Este resultado pondrá en evidencia virtudes de la guadua que no poseen los sistemas convencionales, por tanto será más competitiva en el mercado, favoreciendo a todos los actores de la cadena: Familias, constructores de guadua, cultivadores de Guadua. En la actualidad los cultivos de guadua en Colombia están siendo erradicados ilegalmente pues no generan ingresos importantes para sus propietarios, poniendo en riesgo la preservación de las fuentes hídricas y alterando el paisaje ambiental del país, por lo cual se espera que al posicionar la guadua en el mercado de la construcción se incentive el cultivo y preservación de la Guadua en Colombia.

Through this experimentation, it is expected to scientifically validate the project's hypothesis to position the use of the industrialized processes of Guadua in Colombia as an alternative to mitigate the growing housing deficit and the negative environmental impact of conventional construction. This result will highlight the virtues of guadua that conventional systems do not possess, therefore it will be more competitive in the market, favoring all the actors in the chain: Families, guadua builders, Guadua growers. At present, bamboo crops in Colombia are being eradicated illegally because they do not generate significant income for their owners, putting at risk the preservation of water sources and altering the country's environmental landscape, which is why it is expected that by positioning guadua in the construction market encourages the cultivation and preservation of Guadua in Colombia.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Comité 178 Bambú-Guadua (junio de 2018). Recuperado de <http://www.icontec.org/Ser/Nor/Paginas/CTN/Ct178.aspx>
- [2] Escamilla, E.Z., Hbert, G., Wohlmuth, E. (2016) When CO2 counts: Sustainability assessment of industrialized bamboo as an alternative for social housing programs in the Philippines. *Building and Environment*, 103, 44-53.
- [3] Giannetti, B.F., Demétrio, J.C.C., Agostinho, F., Almeida, C.M.V.B., Liu, G. (2018) Towards more sustainable social housing projects: Recognizing the importance of using local resources. *Building and Environment*, 127, 187-203.
- [4] Li, Y., Yao, J., Li, R., Zhang, Z., Zhang, J. (2017) Thermal and energy performance of a steel-bamboo composite wall structure. *Energy and Buildings*, 156, 225-237.

Diseño de invernadero prefabricado para precalentar el aire de ventilación y reducir el consumo energético: ángulo óptimo de acristalamiento

Prefabricated greenhouse's design to preheat the ventilation air and reduce energy consumption: optimal glazing angle

J. Gainza-Barrencua¹, M. Odriozola-Maritorea², R. Hernández-Minguillón³

ABSTRACT

La necesidad de ventilar los edificios para expulsar el aire viciado provoca importantes pérdidas térmicas en el edificio. Mediante la instalación de invernaderos en la cubierta de los edificios es posible precalentar el aire de ventilación a introducir, reduciendo las pérdidas provocadas por la renovación de aire y disminuyendo la demanda de calefacción. Cuando los rayos del sol atraviesan el vidrio del invernadero, la radiación es absorbida por los elementos de su interior, que se calientan, emitiendo radiación de onda larga que no puede salir a través del vidrio, lo que provoca el calentamiento del espacio interior.

Aprovechando este efecto invernadero, se ha diseñado un espacio solar prefabricado que se sitúa en la cubierta de los edificios y que sirve para precalentar el aire de ventilación que después se introduce en el edificio mediante el sistema de ventilación mecánica. El invernadero diseñado cuenta con una sección con forma de triángulo rectángulo, con la hipotenusa totalmente acristalada y orientada al sur para captar la mayor radiación solar posible. El resto de las superficies se han diseñado opacas y aisladas para evitar las pérdidas térmicas. Se ha elegido realizar módulos de pequeñas dimensiones que se puedan ir acoplando entre sí para formar un único invernadero mayor, lo que permite mejorar su adaptabilidad a distintos emplazamientos en las cubiertas de los edificios. Para determinar el tamaño del módulo se han tenido en cuenta las dimensiones comerciales estándar del vidrio (1,25mx2,5m), lo que ha supuesto que cada módulo tenga una anchura de 1,25m. A este invernadero se le puede acoplar además un recuperador de calor entre la expulsión del aire viciado del edificio y el aire a introducir en el invernadero, lo que mejoraría aún más la eficiencia del sistema.

Con el fin de determinar qué ángulo de acristalamiento es el idóneo y, por tanto, qué forma debe tener el invernadero, se han realizado una serie de simulaciones mediante el programa Design Builder y se han comparado las ganancias solares obtenidas en el invernadero para los siguientes ángulos: 70°, 65°, 55°, 50°, 45°, 40° y 35°. Este mismo cálculo se ha realizado para seis ciudades europeas con distinto clima y emplazamiento: Madrid, Barcelona, Hamburgo, París, Munich y Viena. Los resultados muestran que, en Madrid, Barcelona, Munich y París es con una inclinación de 55 ° cuando mayores ganancias solares se producen. En Viena, en cambio, el ángulo idóneo es 50° y en Hamburgo 60°.

Una vez obtenida la forma idónea se debe analizar cómo afectan el resto de las características constructivas del invernadero para obtener los mayores ahorros energéticos posibles en el edificio: cuál es el tipo de acristalamiento óptimo, cómo influye el aislamiento de la envolvente opaca, la inercia térmica y cómo mejora la introducción de un recuperador en el sistema.

Key Words: invernadero, ahorro energético, ventilación, captación solar, ángulo acristalamiento.

(1) Department of Architecture, UPV/EHU, +34 637181175, joseba.gainza@ehu.eus. (2) ENEDI Research Group, Department of Thermal Engineering, UPV/EHU. (3) CAVIAR Research Group, Department of Architecture, UPV/EHU.

1. Introducción

El consumo energético de los edificios del sector residencial y terciario supone en torno al 40% del consumo total en los países desarrollados [1], por lo que construir edificios eficientes es fundamental para reducir el consumo energético total.

Con el objetivo de lograr edificios de consumo de energía casi nulo, las edificaciones cada vez se realizan más aisladas y herméticas, lo que hace necesario instalar algún sistema de ventilación, ya que una adecuada calidad del aire interior está relacionada con la salud y el confort de los ocupantes del edificio [2,3,4]. Esta necesidad de ventilación, no obstante, produce un aumento de la demanda energética. Según Orme [5] que analizó el consumo anual de energía debido a la renovación de aire en el sector comercial y residencial de 13 países industrializados, supone aproximadamente el 48% del consumo por calefacción. Awbi [6], a su vez, establece que el porcentaje asociado a la ventilación se encuentra entre el 30 y 60% del total. Además, a medida que los edificios se construyen térmicamente más eficientes (con un nivel de aislamiento térmico y de hermeticidad mayor) este porcentaje aumenta, por lo que, el potencial de ahorro energético que presenta la ventilación es muy importante.

El uso de invernaderos adosados a las fachadas para reducir el consumo energético de los edificios es común en lugares y climas diferentes. En estos sistemas pasivos, cuando los rayos del sol atraviesan el acristalamiento del espacio solar, la radiación es absorbida por los elementos de su interior, que se calientan, emitiendo radiación de onda larga que no puede salir a través del vidrio, lo que provoca el calentamiento del espacio interior. Ese calor se aprovecha para calentar el interior del edificio o al menos como colchón térmico entre el interior y el exterior, reduciendo, de esta manera, el consumo energético. Mihalakakou, analizó el comportamiento de este tipo de invernaderos en cuatro ciudades europeas: Milán, Dublín, Atenas y Florencia [7]. Chiesa et al, a su vez, estudiaron las características climáticas de 50 ciudades europeas y cómo eso afecta a la factibilidad del uso de invernaderos para obtener ahorros energéticos térmicos [8]. Oliveti et al, analizaron la capacidad para calentar mediante estos sistemas en el clima mediterráneo [9]. Torra et al, estudiaron el diseño que deben tener tres invernaderos en la ciudad de Barcelona [10]. Monge-Barrio y Sánchez-Ostiz, por su parte, examinaron su uso en la ciudad de Pamplona en Navarra [11]. En estos análisis se concluye que el uso de invernaderos adosados obtiene importantes ahorros energéticos a la hora de calefactar el edificio, pero en verano, sobre todo en los climas más cálidos es necesario ventilar y sombrear los invernaderos para evitar el sobrecalentamiento.

A pesar de que el uso de invernaderos adosado a las fachadas de los edificios ha sido ampliamente

1. Introduction

The energy consumption of buildings in the residential and tertiary sector accounts for around 40% of total consumption in developed countries [1]. Consequently, building efficient constructions is essential to reduce total energy consumption.

With the aim of achieving nearly zero energy buildings (nZEB), the constructions are being built more and more isolated and airtight, which means that installing a ventilation system is required, because indoor air quality is related to the health and comfort of the occupants of the building [2,3,4]. This need for ventilation, however, produces an increase in energy demand. According to Orme [5], who analyzed the annual energy consumption due to the renewal of air in the commercial and residential sector of 13 industrialized countries, it represents approximately 48% of the heating consumption. Awbi [6], in turn, establishes that the percentage associated with ventilation is between 30 and 60% of the total. In addition, this percentage increases as the buildings are constructed more thermal efficient (with a higher level of thermal insulation and hermeticity), so that the energy-saving potential of ventilation is a major aspect.

The use of greenhouses attached to the facades to reduce the energy consumption of buildings is common in different places and climates. In these passive systems, when the sun's rays pass through the glass of the solar space, the radiation is absorbed by the elements of its interior, heating them up. Those objects emit long-wave radiation that cannot escape through the glass, which causes the heating of the interior space. This heat is used to warm the interior of the building or at least as a thermal buffer between the interior and exterior, thus reducing energy consumption. Mihalakakou, compared the behavior of these passive heating systems in four European cities: Milan, Dublin, Athens and Florence [7]. Chiesa et al, in turn, studied the climatic characteristics of 50 European cities and how that affects the feasibility of using greenhouses to obtain thermal energy savings [8]. Oliveti et al., evaluated the heating capacity of these systems in the Mediterranean climate [20]. Torra et al, studied the design of three greenhouses in the city of Barcelona [10]. Monge-Barrio and Sánchez-Ostiz, meanwhile, examined its use in the city of Pamplona in Navarra [11]. In these analyzes it is concluded that the use of attached greenhouses obtains significant energy savings when heating the building, but in summer, especially in hot climates, it is necessary to ventilate and shade those sunspaces in order to avoid overheating.

Although the use of greenhouses attached to the facades of buildings has been widely analyzed, their installation on the roof, however, has not been so much studied. An example of this use can be found in the building ICTA-ICP of the Autonomous Uni-

analizado, su instalación en la cubierta, en cambio, no ha sido tan estudiada. El edificio ICTA-ICP de la Universidad Autónoma de Barcelona, por ejemplo, cuenta con invernaderos en su cubierta, donde se aprovecha el calor residual del edificio, la concentración de CO₂ en el aire residual del edificio y el agua de lluvia recolectada para mejorar el cultivo de vegetales de los invernaderos [12,13]. Además de los beneficios que puede suponer para el cultivo de vegetales, instalar estos invernaderos en las cubiertas, al igual que ocurre con los adosados a las fachadas, también puede lograr grandes ahorros energéticos para el edificio. Además, cuentan con importantes ventajas con respecto a los adosados a fachadas. Su instalación en cubierta permite realizar el acristalamiento con el ángulo que se desee, lo que posibilita que las ganancias solares sean mayores. En el presente trabajo se estudia cómo afecta el ángulo del acristalamiento en las ganancias solares. A su vez, al colocarlos en cubierta, la forma y el volumen del invernadero no están tan limitados. Además, en las cubiertas existen menos exigencias estéticas y urbanísticas. La posibilidad de que otros edificios o elementos sombreen el invernadero también es menor. Por otra parte, como el sistema de ventilación mecánica habitualmente coge el aire de admisión en la cubierta, es posible utilizar el invernadero para precalentar dicho aire e introducirlo en el interior del edificio de una manera fácil y eficaz. Por último, cuando el invernadero se instala en la cubierta en lugar de en las fachadas es mucho más fácil prevenir el sobrecalentamiento que se puede dar en los veranos de los climas cálidos. Con tapar el invernadero o desconectarlo del sistema de ventilación es suficiente para evitar el sobrecalentamiento.

La prefabricación a la hora de construir estos invernaderos supone una serie de ventajas: se obtiene un nivel homogéneo de calidad, la seguridad para los trabajadores aumenta y los tiempos de ejecución y los costes también se reducen. Además, Tam et al analizan como las obras industrializadas pueden reducir los desechos, lo que supone también una mejora en la sostenibilidad [14].

En trabajos anteriores, se analizó como mediante la instalación de un invernadero en la cubierta de un edificio situado en Sarriguren (Navarra) se obtenían ahorros significativos en el consumo energético de calefacción durante el invierno, llegando a alcanzarse ahorros del 65% una vez optimizado el invernadero. En esos estudios se analizaban cómo afectan las características constructivas del invernadero en las temperaturas alcanzadas en su interior y, por tanto, en el aire introducido para ventilación en las viviendas. Los resultados obtenidos se presentaron en 8º Congreso Europeo sobre Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura y Urbanismo (EESAP 8) y 1er Congreso Internacional de Construcción Avanzada (CICA 1) [15].

El objetivo del presente estudio es profundizar en la

diversidad de Barcelona, where the residual heat of the building, the concentration of CO₂ in the building's residual air and the collected rainwater are used to improve the crop of vegetables in the greenhouse situated on the roof [12,13]. In addition to the benefits of planting vegetables, installing these sunspaces on the roofs can also achieve great energy savings for the building as does the glazed galleries and the greenhouse attached to the facade. What is more, they have significant advantages over the sunspaces placed on the facade. Its installation on the roof, allows to place the glazing with the angle that is wanted, which makes solar gains greater. In the present work how the glazing angle affects solar gains is studied. In turn, when they are on the roof, the shape and volume of the sunspaces are not so limited. In addition, there are less aesthetic and urbanistic requirements. The possibility that other building or elements shade the greenhouse is also smaller. On the other hand, since the mechanical ventilation system usually has its intake system on the roof, it is possible to use the greenhouse to preheat that air. The use of the ventilation system allows the introduction of preheated air inside the building in an easy and efficient way. Finally, when the sunspace is installed on the roof it is much easier to prevent the overheating that could occur in the summers of hot climates than when it is installed on facades. Covering the greenhouse or disconnecting it from the ventilation system is enough to avoid overheating.

The prefabrication at the time of constructing these greenhouses supposes some advantages: it obtains a homogenous level of quality, the security of the workers increases and the times of execution and the costs are also smaller. In addition, Tam et al analyze how industrialized works can reduce waste, which also implies an improvement in sustainability [14].

In previous works, it was analyzed how the installation of a greenhouse on the roof of a building located in Sarriguren (Navarra) supposed significant savings in the heating energy consumption during the winter, reaching savings of 65% once the greenhouse was optimized. These studies showed how the construction characteristics of the greenhouse affect the temperatures reached inside and, therefore, in the air introduced in homes for ventilation. The results obtained were presented at the 8th European Congress on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture and Urbanism (EESAP 8) and 1st International Congress on Advanced Construction (CICA 1) [15].

The objective of the present study is to analyze profoundly the form that the greenhouses must have to obtain the greatest energetic savings possible in the buildings. For this, the degree of inclination that the south-facing glazing must have in order to obtain the highest solar gains in the greenhouse is analyzed. The design that this greenhouse must have for

forma que deben tener los invernaderos para obtener los mayores ahorros energéticos posibles en los edificios. Para ello, se analiza el grado de inclinación que debe tener el acristalamiento orientado al sur para que el invernadero tenga las mayores ganancias solares posibles en función de su emplazamiento. También se analiza el diseño que debe tener ese invernadero para su prefabricación.

2. Metodología

2.1. Diseño del invernadero

Con el objetivo de realizarlo lo más eficiente posible, se ha diseñado un invernadero prefabricado con una sección con forma de triángulo rectángulo, con la hipotenusa totalmente acristalada y orientada al sur para captar la mayor radiación solar posible. El resto de las superficies se han diseñado opacas y aisladas para evitar las pérdidas térmicas.

El invernadero contará con una estructura de chapa galvanizada plegada que a su vez servirá de envolvente. En las zonas opacas, tanto en el suelo como en las fachadas no acristaladas, se colocarán planchas de poliestireno extruido de alta densidad sobre las que se pondrán adoquines de hormigón negros para dar inercia al invernadero. Para cerrar la zona orientada al sur se colocará el vidrio correspondiente sobre la subestructura metálica.

Se ha elegido realizar módulos de pequeñas dimensiones que se puedan ir acoplando entre sí para formar un único invernadero mayor, lo que permite mejorar su adaptabilidad a distintos emplazamientos en las cubiertas de los edificios. Para determinar el tamaño del módulo se han tenido en cuenta las dimensiones comerciales estándar del vidrio (1,25mx2,5m), lo que ha supuesto que cada módulo tenga una anchura de 1,25m y una longitud del lado acristalado de 2,5m, ver figura 1.

El invernadero estará conectado con el sistema de ventilación mecánica del edificio. De esta manera, el aire se precalentará antes de ser introducido en la vivienda mediante el sistema de ventilación mecánica. A este invernadero se le puede acoplar además un recuperador de calor entre la expulsión del aire viciado del edificio y el aire a introducir en el invernadero, lo que supondría que se alcanzaran tempe-

its prefabrication is also studied.

2. Methodology

2.1. Greenhouse design

In order to make it as efficient as possible, a prefabricated greenhouse with a right-angled triangle shape section has been designed, with the hypotenuse fully glazed and facing south to capture as much solar radiation as possible. The rest of the surfaces have been designed to be opaque and insulated to avoid thermal losses.

The greenhouse will have a folded galvanized sheet structure that serves also as an enclosure. On the opaque areas, both on the ground and on the non-glazed facades, extruded polystyrene sheets of high density will be placed. On top of the insulation, to give inertia, black concrete paving stones will be placed. To close the south-facing area, the corresponding glass will be placed on the metal substructure.

Make modules of small dimensions that can be coupled together to form a single major greenhouse has been chosen. This allows to improve its adaptability to different locations on the roofs of buildings. To determine the size of the module, the standard commercial dimensions of the glass (1,25mx2,5m) have been considered, which has meant that each module has a width of 1,25m and a glass side length of 2,5m, see figure 1.

The greenhouse will be connected to the building's mechanical ventilation system. In this way, the air will be preheated before being introduced through the mechanical ventilation system into the building. A heat recovery system can be attached between the expulsion air from the building and the air to be introduced into the greenhouse. This would mean that higher temperatures were reached in the greenhouse, improving the efficiency of the system.

2.2. Analysis of the angle of glazing

Establish the ideal glazing's angle to achieve its final shape is another aspect of great importance in the design of the greenhouse. The more perpendicular the solar radiation reaches the glass, the greater the solar gain in the greenhouse will be. But, since the

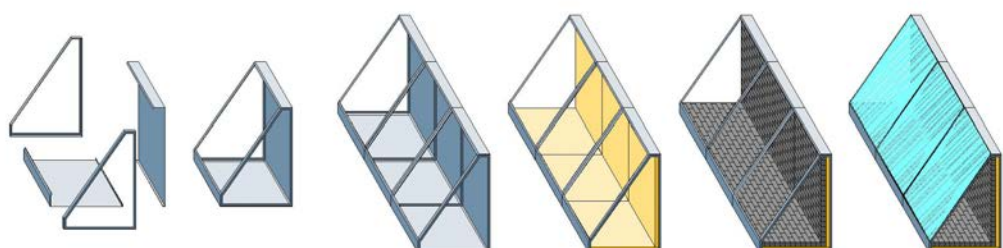


Fig. 1.
Construcción módulo invernadero.
Greenhouse module construction.

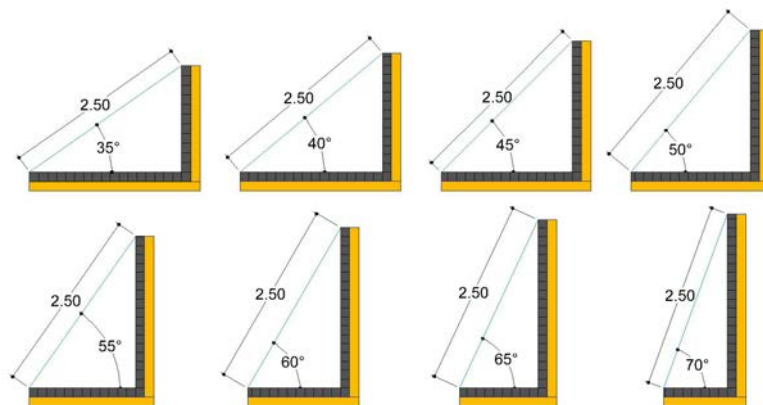


Fig. 2. Ángulos de inclinación analizados.
Analyzed angles of inclination.

raturas más altas, mejorando aún más la eficiencia del sistema.

2.2 Análisis del ángulo del acristalamiento

Otro aspecto de gran importancia en el diseño del invernadero es establecer cuál es el ángulo idóneo del acristalamiento para lograr su forma final. Cuanto más perpendicular llegue la radiación solar al vidrio mayores serán las ganancias solares en el invernadero, pero, como la posición e inclinación del sol a lo largo del año varía en función la latitud del lugar, el ángulo óptimo del acristalamiento del invernadero puede variar en función de su emplazamiento. A su vez, el clima del lugar también influye en la radiación solar recibida.

Para comprobar este hecho, se han elegido seis ciudades europeas en las que se ha simulado el invernadero con distintos grados de inclinación en el acristalamiento. El análisis se ha realizado mediante el programa de simulación energética Design Builder, que usa como motor de cálculo EnergyPlus [16]. Los ángulos analizados son los siguientes: 70°, 65°, 55°, 50°, 45, 40° y 35°. A continuación, en la figura 2, se muestran las distintas secciones de los invernaderos simulados.

Se ha optado por sólo simular el periodo de invierno (del 1 de octubre al 31 de marzo), ya que ese es el momento del año con necesidad de calefactar el edificio y, por tanto, cuando interesa recibir la mayor radiación solar posible.

A continuación, en la tabla 1 se muestran los datos climáticos de las ciudades elegidas.

3. Resultados

En la figura 3 se muestran las ganancias solares obtenidas en el invernadero en función del grado de inclinación:

Los resultados muestran, como es lógico, la gran influencia que tiene la radiación solar de cada uno de los emplazamientos en las ganancias solares del

position and inclination of the sun throughout the year varies according to the latitude of the place, the optimum glazing angle of the greenhouse can vary in function of its location. In turn, the climate of the place also influences the solar radiation received.

To verify this fact, six European cities have been chosen in which the greenhouse has been simulated with different degrees of the glass inclination. The analysis has been made using the Energy Builder simulation program, which used as a calculation engine EnergyPlus [16]. The angles analyzed are the following: 70°, 65°, 55°, 50°, 45, 40° and 35°. In figure 2 the different sections of the simulated greenhouses are shown.

Only the winter period (from October 1 to March 31) has been simulated because that is the time of the year when the building needs to be heated and therefore, when it is important to receive as much solar radiation as possible.

In table 1 the climatic data of the selected cities are shown.

3. Results

Figure 3 shows the solar gains obtained in the greenhouse in each of the chosen cities according to the degree of inclination.

The results show, as is logical, the great influence that the solar radiation of each of the sites has on the solar gains of the greenhouse. In this way, in Madrid and Barcelona where there is much more solar radiation (from October to April, 649 kWh/m² in Madrid and 600 kWh/m² in Barcelona), solar gains are much higher than in the rest of the cities (solar radiation in Vienna 321 kWh/m², in Munich 388 kWh/m², in Paris 356 kWh/m² and in Hamburg 309 kWh/m²).

If we look at the optimal glazing angle, we can see how the best results are obtained in Madrid, Barcelona, Munich and Paris with 55° inclination. In Vienna, the optimum angle between the analyzed ones is of 50°, whereas in Hamburg it is of 60°.

City	Latitude	Köppen-Geiger	HDD ₂₀		Σglobal horizontal radiation [kWh/m ²]		Σglobal horizontal radiation when T ^a < 20° C [kWh/m ²]	
			year	Oct-Abr	year	Oct-Abr	year	Oct-Abr
Madrid	40,45°	Cfa	2617	2325	1617	649	713	573
Barcelona	41°	Cfa	1944	1792	1461	600	649	529
Viena	48,12°	Dfb	3842	3312	959	321	644	306
Múnich	48,13°	Dfb	4493	3646	1123	388	790	371
París	48,72°	Cfb	3361	2805	1068	356	652	342
Hamburgo	53,63°	Cfb	4088	3292	955	309	738	308

Tabla 1.
 Datos climáticos de las ciudades elegidas.
 Climatic data of the chosen cities.

invernadero. De esta manera, en Madrid y Barcelona donde hay mucha más radiación solar (de octubre a abril 649 kWh/m² en Madrid y 600 kWh/m² en Barcelona) las ganancias solares son muy superiores que en el resto de las ciudades (radiación solar en Viena 321 kWh/m², en Munich 388 kWh/m², en París 356 kWh/m² y en Hamburgo 309 kWh/m²).

Si atendemos al ángulo óptimo del acristalamiento, se observa cómo en Madrid, Barcelona, Múnich y París con 55° de inclinación se obtienen los mejores resultados. En Viena, el ángulo óptimo entre los analizados es de 50°, mientras que en Hamburgo es de 60°.

If we look at the differences between the distinct angles of inclination in each of the cities, the differences are small (see figure 4). The differences between the solar gains obtained between the most favorable and the most unfavorable angles do not reach 7% in any of the cities. If we compare the gains from the optimal angle and those immediately after, the differences are still smaller, not even reaching 1%.

If we analyze the average temperatures obtained inside the greenhouse during the winter period, we can observe that the highest are reached with an inclination of 55° in all the cities (see figure 5). If we compare the temperatures obtained with the diffe-

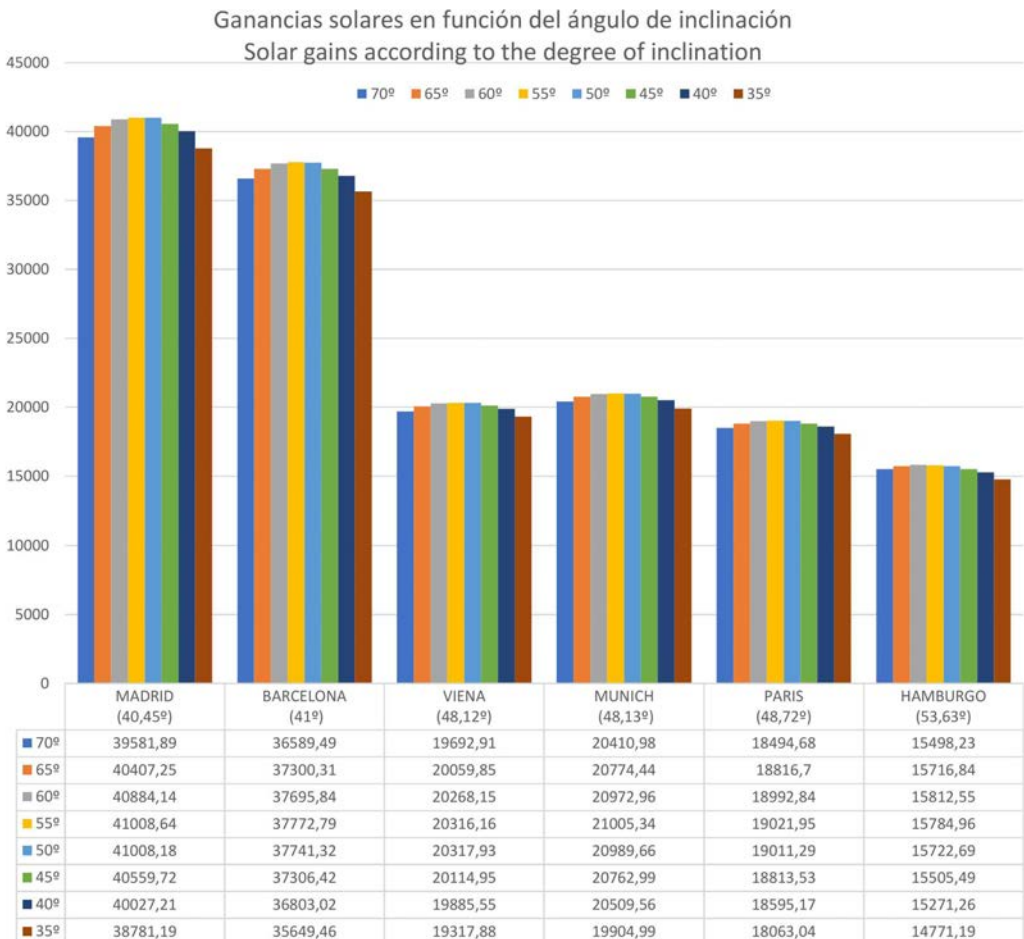


Fig. 3.
 Ganancias solares en función del ángulo de inclinación en cada una de las ciudades elegidas.
 Solar gains as a function of angle in each of the cities chosen.

	MADRID (40,45°)	BARCELONA (41°)	VIENA (48,12°)	MUNICH (48,13°)	PARIS (48,72°)	HAMBURGO (53,63°)
70°	96,521	96,867	96,924	97,170	97,228	98,012
65°	98,534	98,749	98,730	98,901	98,921	99,395
60°	99,696	99,796	99,755	99,846	99,847	100,000
55°	100,000	100,000	99,991	100,000	100,000	99,826
50°	99,999	99,917	100,000	99,925	99,944	99,432
45°	98,905	98,765	99,001	98,846	98,904	98,058
40°	97,607	97,433	97,872	97,640	97,756	96,577
35°	94,568	94,379	95,078	94,762	94,959	93,414

Fig. 4.
% de las ganancias solares en el invernadero con respecto al ángulo óptimo.
% of solar gains in the greenhouse with regard to the optimum angle.

Si reparamos en las diferencias que hay en cada una de las ciudades entre los distintos ángulos de inclinación, se observa que son escasas (ver figura 4). Las diferencias entre las ganancias solares obtenidas con el ángulo más favorable y el más desfavorable de los analizados no llega al 7% en ninguna de las ciudades. Si comparamos las ganancias del ángulo óptimo y los inmediatamente posteriores las diferencias aún son menores, no llegando ni al 1%.

Si analizamos las temperaturas medias alcanzadas dentro del invernadero durante el periodo de invierno, se observa que las más altas se alcanzan con una inclinación de 55° en todas las ciudades (ver figura 5). Si comparamos las temperaturas obtenidas con las distintas inclinaciones, se observa que las diferen-

rent inclinations, we can see that the differences are small, not reaching more than one degree in any of the cities. However, the difference between greenhouse temperatures and outside ones is very important. In Madrid, for example, where the solar gains are greater, there is a difference of 23°. In Hamburg, with less solar gains, 15° higher temperature is reached inside the greenhouse than in the outside. This preheating of the air to be introduced through the ventilation system will result in very important energy savings in the heating of the building

The results also indicate that, if we analyze the angle of inclination with respect to latitude, in all the cases studied the optimum angle lies between latitude and latitude plus 15°.

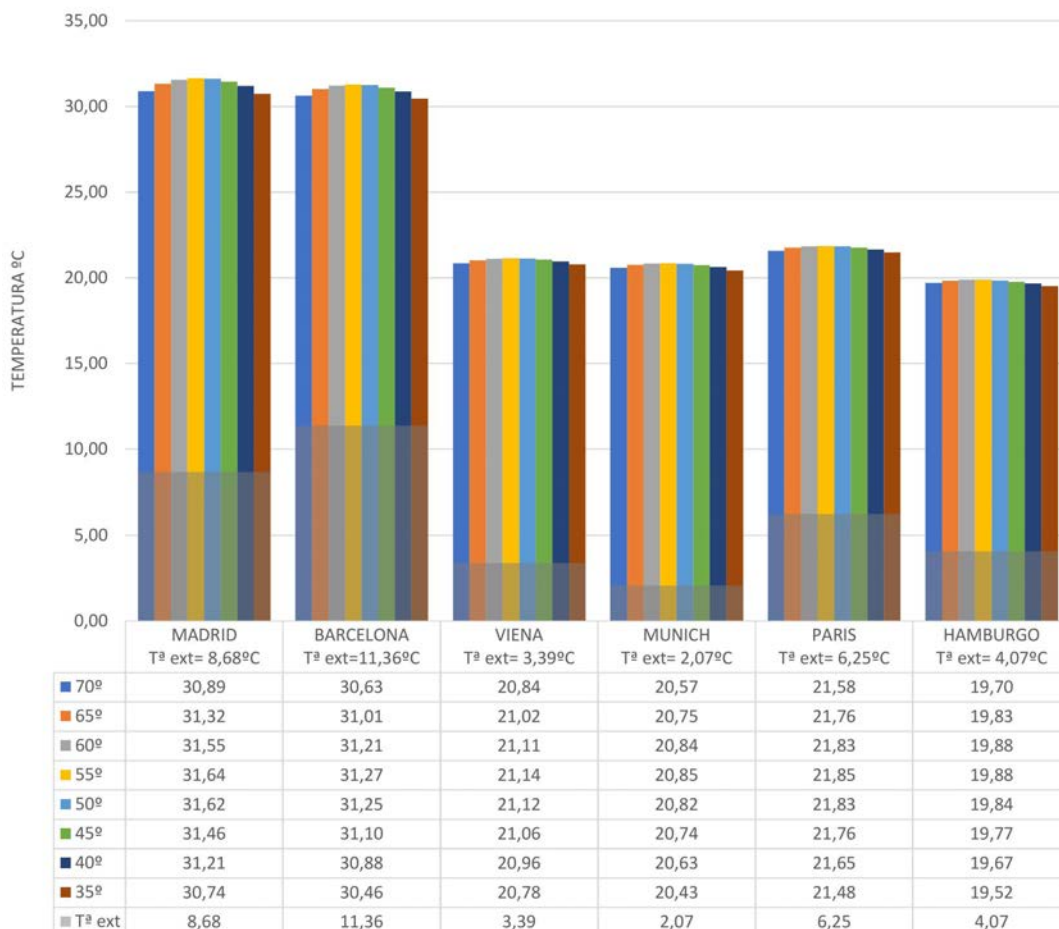


Fig. 5.
Temperaturas medias en el interior del invernadero durante el periodo de invierno en función al ángulo de inclinación.
Average temperatures inside the greenhouse during the winter period as a function of angle of inclination.

cias son pequeñas, no llegando a ser superiores a un grado en ninguna de las ciudades. Sin embargo, la diferencia entre las temperaturas del invernadero y las del exterior son muy importantes. En Madrid, por ejemplo, donde las ganancias solares son mayores, hay una diferencia de 23°. En Hamburgo, donde hay menos ganancias solares, se alcanza una temperatura 15° más alta en el interior del invernadero que en el exterior. Este precalentamiento del aire a introducir mediante el sistema de ventilación supondrá, por tanto, unos ahorros energéticos muy importantes en la calefacción del edificio.

Los resultados también indican que, si analizamos el ángulo de inclinación con respecto a la latitud, en todos los casos estudiados el ángulo óptimo se encuentra entre la latitud y la latitud más 15°.

4. Conclusiones

En todas las ciudades salvo en Viena y Hamburgo, es con el ángulo de 55° con el que mayores ganancias solares se obtienen y, además, la diferencia de ganancias entre el ángulo óptimo y el de 55° en estas dos ciudades es inferior al 0,2%. Por otra parte, es con 55° de inclinación cuando se alcanzan las temperaturas más altas dentro del invernadero en todas las ciudades. Por tanto, en aras de la industrialización y estandarización del invernadero se podría establecer como ángulo del acristalamiento 55°. En diferentes latitudes y climas más extremos, se debería comprobar cuál es en su caso el ángulo idóneo, pero, a la vista de los resultados, se puede adoptar un ángulo de 55° en la mayor parte de Europa.

Una vez establecido el ángulo del acristalamiento y la forma que debe tener el invernadero, en futuros trabajos se deberá analizar la configuración de la envolvente. En función del emplazamiento del invernadero y del clima en el que se sitúa, se estudiará el vidrio óptimo a colocar en la fachada orientada al sur, el grado de aislamiento que debe tener la envolvente opaca, así como si es conveniente dotar al invernadero de inercia. También será necesario comprobar cómo mejora la eficiencia acoplar un recuperador de calor al sistema.

4. Conclusions

In all cities except Vienna and Hamburg, the greater solar gains are obtained with the angle of 55° and, in addition, in these two cities the difference between the optimal solar gains and 55° angle is less than 0.2%. Besides, the highest temperatures inside the greenhouse are reached with a 55° inclination in all cities. Therefore, to favor the industrialization and standardization of the greenhouse the glazing angle 55° could be established. In different latitudes and more extreme climates the ideal angle in each case should be analyzed but, in view of the results, an angle of 55° could be adopted in most of Europe.

Once the angle of the glazing and the shape of the greenhouse is established, the configuration of the envelope must be analyzed in future works. Depending on the location and its climate, the optimal glass to be placed on the facade facing south should be studied. The thickness of insulation that the opaque envelope must have should be analyzed too. In turn, whether it is convenient to provide the greenhouse with inertia should be studied. Finally, it will also be necessary to check how the efficiency improves when a heat recovery system is installed.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Commission of the European Communities. Communication from the commission, Brussels. (2006). Action Plan for the energy efficiency: Realising the potential.
- [2] <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality>
- [3] Lvovsky, K. (2001). environment strategy papers; health and environment (No. 33324 Caja (530)). THE WORLD BANK.
- [4] European Environment Agency. (2005). Environment and health, EEA report N 10/2005.
- [5] Awbi, H. B. (1998). —Ventilation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2(1-2), 157-188.
- [6] Orme, M. (2001). Estimates of the energy impact of ventilation and associated financial expenditures. Energy and Buildings, 33(3), 199-205.
- [7] Mihalakakou, G. (2002). On the use of sunspace for space heating/cooling in Europe. Renewable Energy, 26(3), 415-429.
- [8] Chiesa, G., Simonetti, M., & Ballada, G. (2017). Potential of attached sunspaces in winter season comparing different technological choices in Central and Southern Europe. Energy and Buildings, 138, 377-395.
- [9] Oliveti, G., Simona, M., & Ruffolo, S. (2005, May). Solar contribution evaluation for building attached sunspace in the Mediterranean climate. In International conference passive and low energy cooling for the built environment, Santorini, Greece.
- [10] Torra, C., Cusido, J. A., & Puigdomenech, J. (1988). Some experiences on design and calculation of sunspaces in Mediterranean climates. Solar & wind technology, 5(4), 365-378.
- [11] Monge-Barrio, A., & Sánchez-Ostiz, A. (2015). Energy efficiency and thermal behaviour of attached sunspaces, in the residential architecture in Spain. Summer Conditions. Energy and Buildings, 108, 244-256.
- [12] Nadal, A., Llorach-Massana, P., Cuerva, E., López-Capel, E., Montero, J. I., Josa, A., ... & Royapoor, M. (2017). Building-integrated rooftop greenhouses: An energy and environmental assessment in the mediterranean context. Applied Energy, 187, 338-351.
- [13] Pons, O., Nadal, A., Sanyé-Mengual, E., Llorach-Massana, P., Cuerva, E., Sanjuan-Delmàs, D., ... & Rovira, M. R. (2015). Roofs of the future: rooftop greenhouses to improve buildings metabolism. Procedia engineering, 123, 441-448.
- [14] Tam, V. W., Tam, C. M., Zeng, S. X., & Ng, W. C. (2007). Towards adoption of prefabrication in construction. Building and environment, 42(10), 3642-3654. 4.
- [15] J. Gainza-Barrencia, M. Odriozola-Maritorena, Hernández_Minguillón, Rufino. (2017). Definition of the optimum characteristics of greenhouses located on the roofs of buildings to preheat the ventilation air. 8º Congreso Europeo sobre Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura y Urbanismo.
- [16] Crawley, D., Winkelmann, F., Lawrie, L., & Pedersen, C. (2001). EnergyPlus: a new-generation building energy simulation program. In FORUM-PROCEEDINGS- (pp. 575-580). AMERICAN SOLAR ENERGY SOC & THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. (DOE) (2014)

Los modelos de simulación y cálculo de redes de abastecimiento como herramienta para la sostenibilidad en las ciudades

Simulation and computing models of water supply networks as a tool for sustainability in cities

Carlos García Terán¹, Adamina Sebastián García¹, Lorena Castillo Achutegui¹

ABSTRACT

Los modelos matemáticos para la simulación de redes de abastecimiento son una herramienta indispensable para la buena gestión de los servicios de aguas en las ciudades de tamaño mediano y grande. Esto cobra especial importancia en la actualidad, con muchas de estas ciudades apostando fuertemente por convertirse en "Smart Cities". Sin embargo, en muchos casos, la gestión del agua urbana se realiza con criterios poco eficientes desde un punto de vista energético, y se prioriza en exceso la correcta operación del sistema (que el agua llegue al punto de consumo y que se resuelvan las averías en el menor tiempo posible) frente a que esta operación se realice de un modo más eficiente y sostenible. El objetivo de este trabajo fue demostrar cómo mediante el uso de modelos de simulación de redes de agua potable es posible optimizar la operación y reducir consumos eléctricos sin comprometer el nivel de servicio. Tomando como caso de estudio la ciudad de Santander (Cantabria), se elaboró un modelo de la red de abastecimiento municipal bajo el código libre EPANET. El accidentado relieve de la ciudad, así como la antigüedad y deterioro de muchas de las conducciones, que datan de hace más de cien años, revelaron problemas que comprometen el suministro de agua a los puntos más altos, y que históricamente se han solucionado mediante nuevos depósitos y grupos de bombeo para aportar presión adicional y así garantizar el suministro. Esto ha dado lugar a soluciones que, si bien son eficaces, no son compatibles con los criterios de sostenibilidad y eficiencia energética actuales. El desarrollo y calibración del modelo EPANET de la red de abastecimiento de Santander permitió analizar la sectorización actual de la red, que dio lugar a una nueva propuesta de sectorización orientada a facilitar la toma de decisiones. Esto se hizo a través de la creación de nuevos sectores y la redefinición de otros, buscando que fueran más homogéneos unos con otros en términos de caudales de entrada y extensión de la red interior a cada sector, dando así respuesta a una de las principales demandas por parte del operador del servicio. Asimismo, el nuevo modelo permitirá, entre otras actuaciones: anticipar roturas por sobrepresiones, identificar tramos con sección hidráulica insuficiente, analizar la capacidad de los hidrantes para garantizar el caudal necesario en caso de incendio, evaluar la respuesta de la red en época estival, en la que la población flotante aumenta, e identificar tramos de red con un consumo eléctrico mayor del necesario, proponiendo medidas de optimización energética. Todo ello contribuirá a mejorar la sostenibilidad en la gestión del ciclo urbano del agua y a reducir las emisiones de gases responsables del efecto invernadero.

Key Words: Abastecimiento, eficiencia energética, ciclo urbano del agua.

(1) Fundación Leonardo Torres Quevedo (Universidad de Cantabria), +34 636241121, carlos.garciateran@unican.es.

1. Introducción

Las redes de abastecimiento se encuentran entre las infraestructuras básicas esenciales para el desarrollo de las actividades humanas (Lee et al., 2016). En muchas ciudades de España, parte de estas redes tiene más de cien años de antigüedad, en sus tramos más antiguos. En el caso de Santander, el proyecto de abastecimiento (Mayo, 1875) data de finales del S. XIX. Los diferentes métodos constructivos de antaño, con materiales hoy en día obsoletos, y las grandes diferencias entre las ciudades del S. XIX y las actuales, además del propio deterioro por el paso del tiempo, hacen difícil tener un conocimiento preciso de las redes que operan hoy en día. Esto supone un problema de extrema dificultad cuando las redes son muy extensas, como en las grandes ciudades.

El cálculo por computadora de los flujos y presiones en las redes complejas ha sido un reto de interés para los profesionales de los servicios de aguas (Ramana et al., 2015). Este problema puede ser abordado desde diferentes frentes: diseño, operación, rehabilitación y mantenimiento (Martínez-Bahena et al., 2015). En el marco de las actuaciones que está llevando a cabo el Excmo. Ayuntamiento de Santander, en su objetivo de convertir a Santander en una Smart City (Cheng et al., 2015; Sanchez et al., 2014), la mejora en la gestión del agua en general, y de la eficiencia energética del servicio en particular, sirvieron de impulso para la realización de este trabajo.

Descripción de la red en el área de estudio

Santander, al norte de España, es una ciudad con una población de 171.951 habitantes (INE, 2017). Se abastece de ríos y pozos cercanos, cuyas aguas son tratadas en la estación de tratamiento de agua potable –ETAP– de El Tojo y, de ésta, se conducen a los 8 depósitos de distribución de la ciudad (Tabla 1). A todos ellos les llega el agua por gravedad desde las conducciones generales, 4 arterias de Ø900, Ø600, Ø500 y Ø350 mm, con excepción de dos, a los que es necesario apoyar con sendas estaciones de bombeo. La singular topografía de la ciudad, con una parte alta y grandes pendientes a ambos lados, con desniveles de hasta 60 m, ha dado lugar a problemas históricos de bajas presiones en algunas zonas y sobrepresiones en otras.

1. Introduction

Water distribution networks are among the basic infrastructure facilities that are essential for human activity (Lee et al., 2016). In most cities in Spain, most of these networks are more than one hundred years old, in their oldest sections. In the case of Santander, the water supply project (Mayo, 1875) dates from the late 19th Century. The different constructive methods of yesteryear and the use of materials that are obsolete nowadays, as long as the big differences between the cities of the 19th century and the 21st ones, plus the deterioration due to the passage of time, make it difficult to have an accurate knowledge of the networks that operate nowadays. This is essential to be able to advance future scenarios before making changes in the water supply network. This is relatively simple to solve for small networks, but it is a huge problem for thousand nodes and pipes networks.

Computation of flows and pressures in a complex networks by computer has been of interest for water services professionals (Ramana et al., 2015). This problem can be approached in its different stages: design, operation, rehabilitation and maintenance (Martínez-Bahena et al., 2015). In the framework of the actions being carried out by the Santander City Council, in its objective of turning Santander into a Smart City (Cheng et al., 2015; Sanchez et al., 2014), the improvement in water management and energy efficiency of the service, was the basis to carry out this work.

Description of the network in the study area

Santander, in northern Spain, is a medium-sized city, with a registered population of 171,951 inhabitants (INE, 2017). It is supplied by rivers and nearby wells, whose waters are treated at the “El Tojo” water treatment plant. From this, water is conveyed to 8 distribution tanks throughout the city (Table 1). They are filled by gravity from the main pipes, 4 arteries with sections of Ø900, Ø600, Ø500 and Ø350 mm, with the exception of two, to which it is necessary to support with two pumping stations, due to their elevation. The singular topography of the city, with a high part and large slopes on both sides, with elevation differences of up to 60 m, has given rise to historical problems of low pressure in some areas and overpressures in others.

STORAGE TANK	LEVEL (m)	CAPACITY (m ³)	GROUND AREA (m ²)	MAX. HEIGHT (m)
Pronillo	54.77	16,800	4,000	4.2
MacMahón	61.00	2,000	500	4.0
Atalaya	74.00	2,000	500	4.0
Avellano	71.93	16,000	4,000	4.0
Arna Alto	71.90	1,452	363	4.0
Arna Bajo	70.20	1,256	314	4.0
Cueto	92.92	150	44	3.4
Peñacastillo	84.65	9,000	1,333	6.8

Tabla 1.

Características de los depósitos de la ciudad de Santander.
Characteristics of the water tanks in Santander city.

Operación actual del servicio

En la actualidad, la red de la ciudad se divide en 36 sectores independientes, con una única entrada para cada uno de ellos. La mayoría de estos sectores se abastecen por gravedad de los depósitos mencionados anteriormente, con la salvedad de dos, a los que se ha presurizado mediante dos actuaciones, denominadas Plan de Presiones de General Dávila –PPGD– I y II. Estos sectores se localizan entre los depósitos de Pronillo y Avellano, con sendos equipos de bombeo en las conexiones con los mismos, lo que dota de la presión suficiente a las viviendas incluidas en ellos.

2. Objetivos

El objetivo inicial fue disponer de un modelo matemático de la red municipal de Santander, ya que no se disponía del mismo, para lo que se optó por el software de libre acceso EPANET –disponible en <https://www.epa.gov/water-research/epanet#downloads>–. EPANET (Rossman, 2000) ha sido ampliamente utilizado y validado a nivel internacional (Sayyed et al., 2014; Cobacho et al., 2015; Farina et al., 2014; Jia et al., 2008). EPANET es muy potente para el análisis hidráulico y de evolución de la calidad del agua en redes a presión, pero con escasa capacidad para evaluar el impacto energético de una red de forma directa (Gómez et al., 2016).

Una vez se dispusiera del modelo, éste se utilizaría para identificar oportunidades para mejorar la gestión del servicio y, posteriormente, plantear y simular los escenarios de mejora. La propuesta de una nueva sectorización de la red, basada en criterios de optimización energética (Nicolás et al., 2014), también se planteó como objetivo a medio plazo.

3. Metodología

Descripción del modelo hidráulico de red

Se representaron los elementos característicos de la red en EPANET, incluyendo 32.603 nudos de caudal, 33.312 líneas, 29 válvulas, 12 depósitos y 5 bombas (Fig. 1).

Posteriormente, se añadieron los consumos diarios a los nudos correspondientes, con datos facilitados por el concesionario del servicio, y se creó una curva de consumo horario (Fig. 2) a partir de datos reales de un barrio de la ciudad que ya dispone de contadores inteligentes, con lectura en tiempo real. Se hace notar que la hora punta de consumo es 1,86 veces el valor medio horario, una cifra sensiblemente mayor a la recomendada por la bibliografía española (Liria, 1995). Esto se debe a que la curva se ha elaborado a partir de una población de unos 2.500 habitantes, lo que tiende a exagerar los coeficientes. Conociendo esto, se decidió no modificar esta curva, con objeto de quedar del lado de la seguridad en las horas de

Current operation of the service

The city network is divided into 36 independent sectors, with a single entry for each of them. Most of these sectors are supplied by gravity from the aforementioned tanks, with the exception of two, which have been pressurized through two actions, called “Pressure Plan of General Dávila” –PPGD– I and II. Pumping equipment in the connections with two tanks –Pronillo and Avellano– gives sufficient pressure to the houses included inside these two sectors.

2. Objectives

The initial objective was to build a mathematical model of the water-distribution network of Santander, since it was not available. We opted for an open source simulation model using EPANET –free download available at <https://www.epa.gov/water-research/epanet#downloads>–. EPANET (Rossman, 2000) has been widely used and validated internationally (Sayyed et al., 2014, Cobacho et al., 2015, Farina et al., 2014, Jia et al., 2008). Never the less, EPANET is a software designed for hydraulic analysis and evolution of water quality in pressure networks, but with little capacity to assess the energy impact of a network directly (Gómez et al., 2016).

Once the model was available, it would be used to identify opportunities to improve water service management and, subsequently, to plan and simulate new scenarios. An example would be a scenario with lower energy consumption without altering the performance of the service, understood as the final pressure supplied to users. The proposal for a new sectorization of the network, based on energy optimization criteria (Nicolás et al., 2014), was also proposed as a medium-term objective.

3. Methodology

Description of the model

The main elements of the water-distribution network were represented in EPANET, including 32,603 flow nodes, 33,312 links, 29 valves, 12 tanks and 5 pumps (Fig. 1).

Water demand were added to the corresponding nodes, with data provided by the utility, and an hourly consumption curve was created (Fig. 2) based on real data from a neighborhood in the city that already has real-time reading. It is highlighted that the peak hour of consumption is 1.86 times the average hourly value, a value significantly higher than that recommended by the Spanish bibliography (Liria, 1995). This is because the curve has been drawn from a population of about 2,500 inhabitants, which tends to exaggerate the hourly variation coefficients. Knowing this, it was decided not to modify this curve, in order to avoid underestimation in the hours of greatest consumption.

mayor consumo.

Para la simulación de las pérdidas de energía en la red, EPANET ofrece tres alternativas, representadas por tres fórmulas clásicas en la hidráulica de tuberías: Hazen-Williams (H-W), Darcy-Weisbach (D-W) y Colebrook-White (C-W). Se seleccionó la ecuación de D-W, por ser la más utilizada entre la comunidad científica, y recomendada por varias administraciones para el cálculo de redes de distribución (CONAGUA, 2015).

To estimate energy losses, EPANET offers three alternatives, represented by three classic formulas in hydraulics: Hazen-Williams (H-W), Darcy-Weisbach (D-W) and Colebrook-White (C-W). The D-W equation was selected, as it is the most used among the scientific community, and recommended by several administrations for the calculation of distribution networks (CONAGUA, 2015).

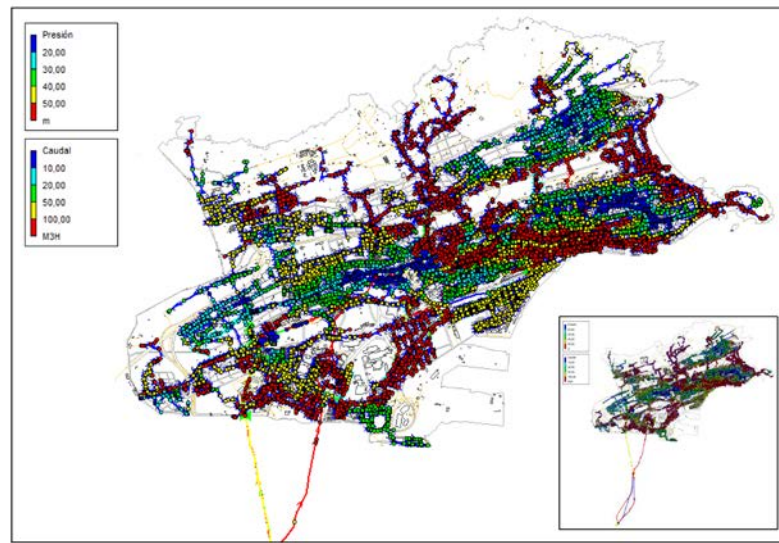


Fig. 1.
Esquema del modelo de red de abastecimiento EPANET de Santander.
Outline of Santander's EPANET water-distribution network model.

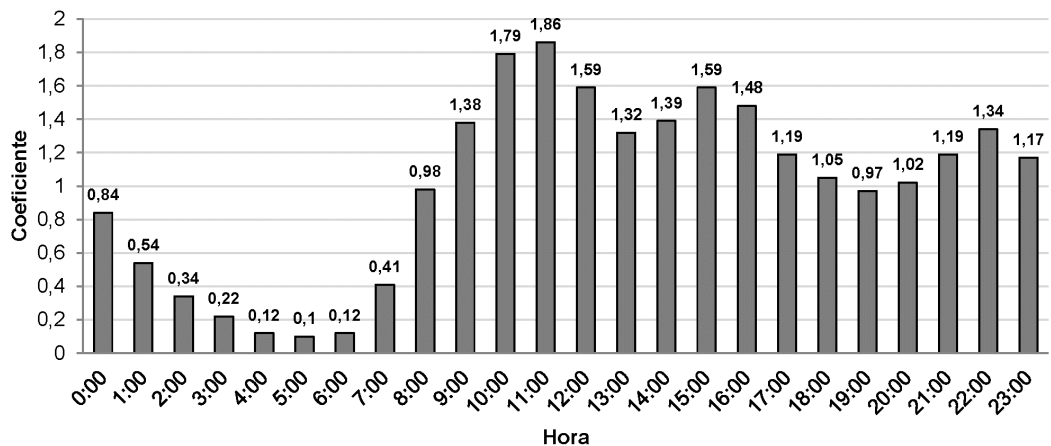


Fig. 2.
Curva de consumo horario para modulación de la demanda de agua potable.
Demand pattern for drinking water.

Tiempo de análisis

La mayoría de las redes de distribución de agua operan en un ciclo de 24 h, en el cual los depósitos se llenan por la noche, cuando la tarifa eléctrica es más baja, y se vacían durante el día (Martínez et al., 2007). Santander no es una excepción, por lo que la simulación hidráulica se realizó durante 24 h y 48 h, para representar adecuadamente los procesos de llenado y vaciado de los depósitos urbanos, que inicialmente se consideraron parcialmente llenos. El intervalo de cálculo seleccionado fue de 1 h, coincidente con el

Time options

Most water-distribution networks operate in a 24-hour cycle, in which tanks are filled at night, when the electricity tariff is lower, and are emptied along the day (Martínez et al., 2007). Santander is not an exception, so the hydraulic simulation was carried out for 24 h and 48 h, to adequately represent the filling and emptying processes of the tanks, which initially were considered partially full. The time interval was 1 h, equal to the hourly pattern and sufficient to meet the objectives set.

intervalo del patrón horario y suficiente para cumplir con los objetivos planteados.

Calibración del modelo

La calibración es el proceso por el cual se comparan los datos simulados con los datos medidos, para una misma magnitud, y será mejor cuanto mayor sea la coincidencia entre ambos valores (Alves et al., 2014). El objetivo de la calibración es minimizar las discrepancias entre los valores estimados y los medidos en campo (Shen & McBean, 2012), y todos los modelos de redes de abastecimiento de agua requieren de calibración para ser válidos (Koppel & Vassiljev, 2009).

Se realizó una calibración en presiones del modelo, mediante mediciones en campo en cincuenta (50) puntos de la red, si bien, finalmente, sólo 49 fueron utilizados, pues se descartó uno de los puntos por errores en la medición (Fig. 3). Para ello se utilizó un datalogger modelo LO-LOG Flash, equipado con software Radwin.

Calibration of the model

Calibration is the comparison between simulated data and measured data, and the higher matching among them benefit the calibration process (Alves et al., 2014). The objective of the calibration is to minimize the discrepancies among the estimated values and those measured in the field (Shen & McBean, 2012), and all models of water supply networks require calibration to be valid (Koppel & Vassiljev, 2009).

The model was calibrated by pressures, with measurements in fifty (50) points of the network, although only 49 were valid, since one of the points was discarded due to invalid measurement (Fig. 3). A LO-LOG Flash datalogger, equipped with Radwin software, was used.

It is known the poor conservation of some sections, the oldest, with loss of area by corrosion of the material - molten iron - due to water. Corrosion and incrustations make it very difficult to determine

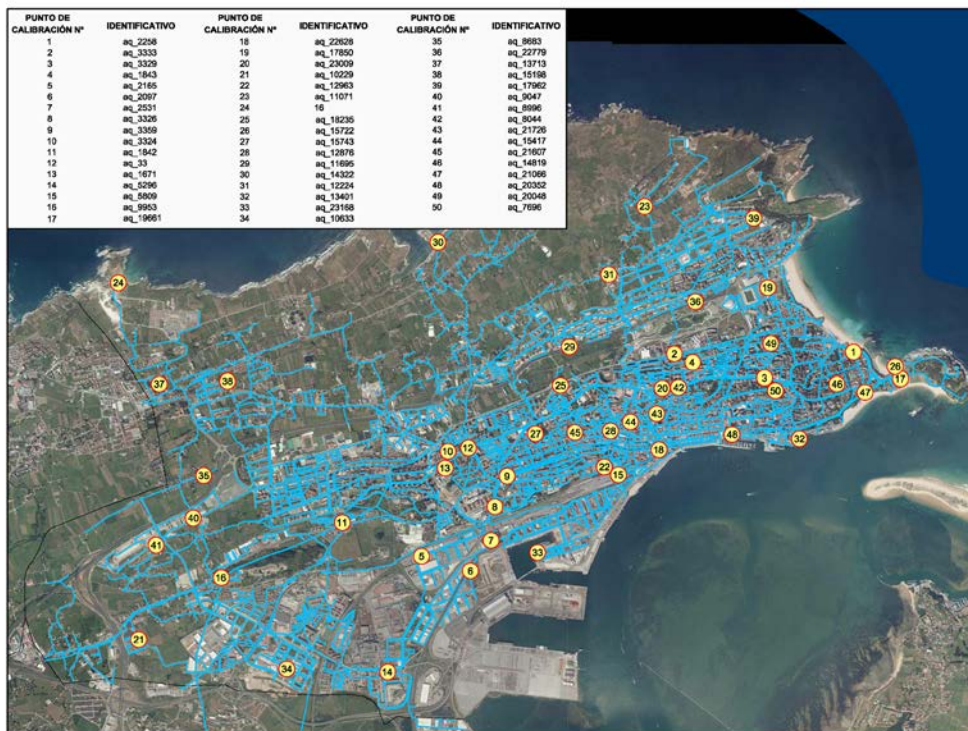


Fig. 3. Puntos de calibración de presiones del modelo Epanet de Santander. Calibration points.

Un hecho conocido, pero no cuantificado, era el mal estado de conservación de algunos tramos de tubería, los más antiguos, con pérdida de sección por incrustaciones y corrosión del material –hierro fundido– por el contacto con el agua. La corrosión e incrustaciones hacen muy difícil la determinación del diámetro real de las tuberías (Koppel & Vassiljev, 2009). Durante el proceso de calibración de presiones del modelo se representó este fenómeno mediante el aumento de la rugosidad de la tubería, primero, y reduciendo el diámetro, después. Esta última corrección se realizó en las tres arterias que llegan al

the actual diameter of the pipes (Koppel & Vassiljev, 2009). During the process of calibration, this phenomenon was represented by increasing the roughness of the pipe, first, and reducing the diameter, afterwards. This last correction was made in the three arteries that arrive to the main reservoir of the city - Pronillo -, whose nominal diameters (mm) were Ø600, Ø500 and Ø350, and ended up being reduced to Ø407, Ø297 and Ø208, respectively. Additionally, given the difficulty to adjust the pressures only by reducing the diameters, it was necessary to introduce fictitious pressure reducing valves in these same

depósito principal de la ciudad –Pronillo–, cuyos diámetros nominales (mm) eran Ø600, Ø500 y Ø350, y que acabaron reduciéndose a Ø407, Ø297 y Ø208, respectivamente. Adicionalmente, dada la dificultad para ajustar las presiones sólo reduciendo los diámetros, fue necesario introducir válvulas reductoras de presión de forma ficticia en estos mismos tramos, siempre antes de la distribución a los sectores en que se divide la ciudad. Esto da una idea del problema real en algunos de los tramos más antiguos, en los que la sección actual es mucho menor de la original, y de la conveniencia de sustituir las conducciones por otras nuevas.

sections, always before distribution to the sectors into which the network is divided. This gives an idea of the problem; some sections are much smaller than the original ones, and it is urgent to replace the pipes with new ones.

Finally, the calibration was performed iteratively, until reaching a correlation coefficient $C = 0.994$, obtained by the expression:

$$C(o, e) = \frac{\sum(o - \bar{o}) \cdot (e - \bar{e})}{\sqrt{\sum(o - \bar{o})^2 \cdot \sum(e - \bar{e})^2}}$$

Finalmente, la calibración se realizó de forma iterativa, hasta alcanzar un coeficiente de correlación $C=0,994$, obtenido mediante la expresión:

Where: C = correlation coefficient; o = observed data; \bar{o} = average of the observed data; e = estimated data; \bar{e} = average of the estimated data.

Donde: C = coeficiente de correlación; o = valor observado; \bar{o} = promedio de los valores observados; e = valor estimado; \bar{e} = promedio de los valores estimados.

4. Propuesta de nueva sectorización y resultados

La herramienta creada permite estudiar nuevos escenarios, mediante la apertura y cierre de tuberías (válvulas) y la simulación bajo esas nuevas condiciones. Partiendo de ello, se analizó la sectorización actual de la red, para identificar aspectos a mejorar y proponer soluciones orientadas a una división en sectores más homogéneos, tanto en extensión como en caudales de entrada a cada uno de ellos. Esto dio lugar a una nueva propuesta con 47 sectores, frente a los 36 anteriores (Fig. 4). Con la nueva sectorización, se comprobó que era más sencillo identificar sectores con problemas de sobrepresiones, en las zonas bajas de la ciudad, o con presiones excesivamente reducidas –en las partes más altas–. Esto permitiría tomar decisiones de forma más ágil y precisa.

4. Proposal for new sectorization and results

The tool created allows to study new scenarios, by opening and closing valves and simulation under these new conditions. Based on that, current sectorization was analyzed to identify aspects to be improved, and to propose solutions aimed at a division into more homogeneous sectors, both in terms of extension and inflows to each of them. This resulted in a new proposal with 47 sectors, compared to the previous 36 (Fig. 4). With the new proposal, it was easier to identify sectors with problems of overpressure, or with excessively reduced pressures. This would allow decisions to be made more agile and precise.

It was found that there are problems due to overpressures in many of the sectors, with values higher than 60 m in several phases of the simulation. In some cases, problems were identified both by high and low pressures, depending on the moment of the simulation and the point of the sector considered.

Se comprobó que existen problemas por sobrepresiones en muchos de los sectores, con valores superiores a 60 m.c.a. en varios instantes de la simulación. En algunos casos, se identificaron problemas tanto por presiones elevadas como por presiones reducidas, dependiendo del instante de la simulación y del punto del sector considerado.

5. Conclusions y future actions

5. Conclusiones y futuras acciones

El modelo matemático de la red de Santander realizado como parte de este estudio es una herramienta muy útil para evaluar el comportamiento del siste-

The mathematical model carried out is a very useful tool to evaluate the system from the hydraulic point of view. The characteristics of the city, with a very rugged relief and some old pipes, give rise to problems due to inadequate pressures in several points, as could be verified once the model was calibrated. The main solution has been to have smart valves and high tanks that are filled by pumps, which increases the electric consumption. In addition, Santander is a tourist city, with large occupancy of hotel beds and holiday houses in summertime, which leads to more water consumption at that time of year.

ma desde el punto de vista hidráulico. Las características propias de la ciudad, con una orografía muy accidentada y tramos de tubería antiguos, dan lugar a problemas por falta de sección o presiones inadecuadas en varios puntos de la red, como se pudo comprobar una vez calibrado el modelo. La solución predominante, en este sentido, ha consistido en disponer válvulas inteligentes (con consigna variable a lo largo del día) y depósitos elevados que son llenados mediante grupos de bombeo, lo que incrementa el consumo eléctrico del servicio. A estos problemas debe sumarse el hecho de que Santander es una ciudad turística, con gran ocupación de plazas hoteleras y de segunda residencia en la época estival, lo que provoca que el consumo de agua se incremente en esa época del año.

En este trabajo se ha realizado una nueva propuesta de sectorización de la red de agua potable de Santander, orientada a una gestión más eficaz del sistema en cuanto a: 1) identificación de tramos con presiones excesivas/escasas; 2) detección de oportunidades de optimización energética, en los sectores que se abastecen de un depósito que se llena mediante grupos de bombeo.

Las futuras acciones a realizar consistirán en la explotación del modelo EPANET de Santander, entre las que se incluyen:

- Propuestas concretas de optimización energética en el sector Peñacastillo, donde existe una válvula reductora de presión aguas abajo del depósito que se llena por medio de un bombeo.
- Análisis de escenarios de respuesta frente a incendios, con la simulación de la entrada en funcionamiento de los hidrantes de la ciudad y la comprobación de su funcionalidad y caudal máximo.
- Análisis de escenarios de consumo en época estival, con la creación de nuevos patrones de consumo y una mayor demanda de caudal.
- Anticipar actuaciones de mantenimiento y reparación, mediante la identificación de tramos más propensos a sufrir roturas por sobrepresiones.

6. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por FCC aqualia dentro del convenio Smartwater, en el que participan el Excmo. Ayuntamiento de Santander, la Fundación Leonardo Torres Quevedo de la Universidad de Cantabria y FCC aqualia.

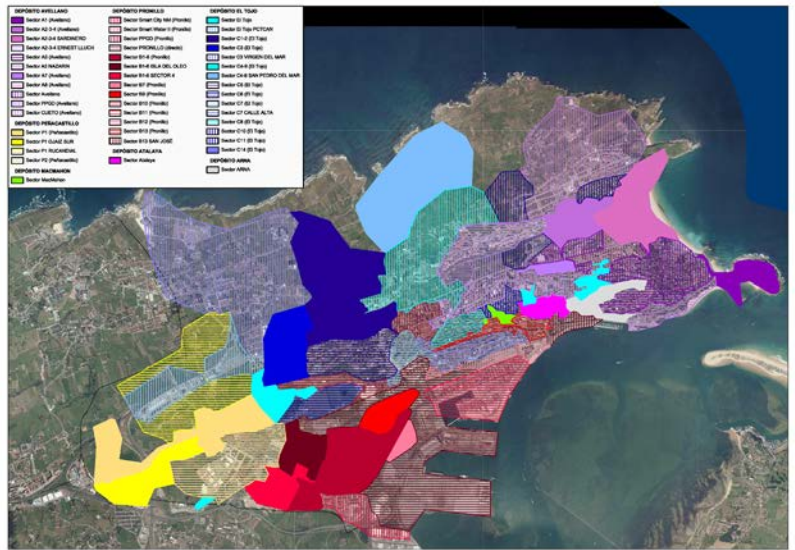


Fig. 4. Propuesta de nueva sectorización en la red de abastecimiento de Santander.
Proposal for a new sectorization in Santander's water-distribution network.

In this work, a new sectorization proposal for the water network of Santander has been made, aimed at a more efficient management of the system in terms of: 1) identification of sections with excessive/scarce pressures; 2) detection of opportunities for energy optimization, in sectors that are supplied by a tank that is filled by pumps.

The future actions will consist in developing Santander's EPANET model, which include:

- Specific proposals for energy optimization in Peñacastillo sector, where there is a pressure reducing valve downstream of the tank that is filled by pumping.
- Analysis of fire response scenarios, with the simulation of the start-up of hydrants in the city and the verification of their functionality and maximum flow.
- Analysis of consumption scenarios in summer, with specific consumption patterns and a greater demand.
- Anticipate maintenance and repair actions, by identifying sections that are prone to burst due to overpressure.

6. Acknowledgements

This work has been funded by FCC aqualia within the Smartwater agreement, participated by Santander City Council, Leonardo Torres Quevedo Foundation and FCC aqualia.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Alves, Z., Muranho, J., Albuquerque, T., & Ferreira, A. (2014). Water distribution network's modeling and calibration. A case study based on scarce inventory data. *Procedia Engineering*, 70, 31-40. doi:10.1016/j.proeng.2014.02.005
- [2] Cheng, B., Longo, S., Cirillo, F., Bauer, M., & Kovacs, E. (2015). Building a Big Data Platform for Smart Cities: Experience and Lessons from Santander. *Proceedings - 2015 IEEE International Congress on Big Data, BigData Congress 2015*, 592-599. doi:10.1109/BigDataCongress.2015.91
- [3] Cobacho, R., Arregui, F., Soriano, J., & Cabrera, E. (2015). Including leakage in network models: An application to calibrate leak valves in EPANET. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 64(2), 130-138. doi:10.2166/aqua.2014.197
- [4] CONAGUA (2015). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Datos básicos para proyectos de agua potable y alcantarillado. Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F.
- [5] De Nicolás, V., Laguna-Piñuelas, F., Vidueira, P. (2014). Criterio para la optimización energética de redes ramificadas de agua. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5 (6), 41-51.
- [6] Farina, G., Creaco, E., & Franchini, M. (2014). Using EPANET for modelling water distribution systems with users along the pipes. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 31(1), 36-50. doi:10.1080/10286608.2013.820279
- [7] Gómez, E., Cabrera, E., Soriano, J., & Balaguer, M. (2016). On the weaknesses and limitations of EPANET as regards energy doi:10.2166/ws.2015.145
- [8] INE (2017). Instituto Nacional de Estadística. R.D. 1039/2017, de 15 de diciembre, por el que se declaran oficiales las cifras de población resultantes de la revisión del Padrón municipal referidas al 1 de enero de 2017. BOE núm. 316 de 29 de diciembre de 2017. Ministerio de Economía, Industria y Competitividad. Gobierno de España.
- [9] Jia, H., Wei, W., & Xin, K. (2008). Hydraulic model for multi-sources reclaimed water pipe network based on EPANET and its applications in Beijing, China. *Frontiers of Environmental Science and Engineering in China*, 2(1), 57-62. doi:10.1007/s11783-008-0013-0
- [10] Liria, J. (1995). Proyecto de redes de distribución de agua en poblaciones. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid. ISBN: 84-380-0081-9
- [11] Lee, H.M., Yoo, D.G., Sadollah, A., & Kim, J.H. (2016). Optimal cost design of water distribution networks using a decomposition approach. *Engineering Optimization*, 48, 2141-2156. doi: 10.1080/0305215X.2016.1157689
- [12] Koppel, T., & Vassiljev, A. (2009). Calibration of a model of an operational water distribution system containing pipes of different age. *Advances in Engineering Software*, 40(8), 659-664. doi:10.1016/j.advengsoft.2008.11.015
- [13] Martínez-Bahena, B., Cruz-Chávez, M. A., Peralta-Abarca, J. D. C., Juárez-Chávez, J. V., Ortíz-Huerta, A., & Moreno-Bernal, P. (2015). Analysis of a Town's Water Distribution System. *Proceedings - 2014 IEEE International Conference on Mechatronics, Electronics, and Automotive Engineering, ICMEAE 2014*, 206-211. doi:10.1109/ICMEAE.2014.25
- [14] Martínez, F., Hernández, V., Alonso, J. M., Rao, Z., & Alvisi, S. (2007). Optimizing the operation of the Valencia water-distribution network. *Journal of Hydroinformatics*, 9(1), 65-78. doi:10.2166/hydro.2006.018
- [15] Mayo, A. (1875). Memoria del proyecto de abastecimiento de aguas a Santander.
- [16] Rossman, L.A. (2000). EPANET2 users' manual. Water Supply and Water Resources Division. National Risk Management Research Laboratory. US EPA. Cincinnati.
- [17] Sanchez, L., Muñoz, L., Galache, J. A., Sotres, P., Santana, J. R., Gutierrez, V., . . . Pfisterer, D. (2014). SmartSantander: IoT experimentation over a smart city testbed. *Computer Networks*, 61, 217-238. doi:10.1016/j.bjp.2013.12.020
- [18] Sayyed, M. A., Gupta, R., & Tanyimboh, T. T. (2014). Modelling pressure deficient water distribution networks in EPANET. *Procedia Engineering*, 89, 626-631.
- [19] Shen, H., & McBean, E. (2012). Hydraulic calibration for a small water distribution network. *Water Distribution Systems Analysis 2010 - Proceedings of the 12th International Conference, WDSA 2010*, 1545-1557. doi:10.1061/41203(425)138
- [20] Tzatchkov, Velitchko G.; Alcocer-Yamanaka, Víctor H.; (2016). Modelación de la variación del consumo de agua potable con métodos estocásticos. *Tecnología y Ciencias del Agua*, Mayo-Junio, 115-133.
- [21] Ramana, G. V., Sudheer, C. V., & Rajasekhar, B. (2015). Network analysis of water distribution system in rural areas using EPANET. *Procedia Engineering*, 119, 496-505.

La Transformación Digital del Sector Público

Digital Transformation of The Public Sector

Guillermo García¹, José Antonio Arenas², Antonio Eraso³, Aitana Cañizares⁴, José Manuel Blanco⁵

ABSTRACT

CiTD Engineering & Technologies recibe el encargo de definir una metodología para implantar BIM, y desarrollar una prueba piloto, para uno de los principales gestores y operadores de infraestructuras nacionales. El objetivo es optimizar la operación y el mantenimiento a través de la transformación digital de la empresa, y la integración de nuevos procesos BIM en el modelo de gestión existente.

El proceso se compone de dos partes.

La primera, inicial, consiste en el desarrollo de una metodología BIM ad-hoc a la oficina técnica del cliente, y sirve como precursora de la transformación digital de la empresa. Para ello, se plantea como eje de actuación el desarrollo de una Guía BIM que analice, entre otras cosas, la posibilidad de integrar los requisitos procedentes de los procedimientos preexistentes y registre los procedimientos definitivos adoptados para esa integración durante la etapa de recopilación de datos y posterior generación del modelo. El alcance de la Guía BIM abarca los siguientes puntos: captura y recopilación de datos, intercambio de información en entornos virtuales, grado de definición de componentes, datos relevantes para el mantenimiento de las instalaciones existentes, convivencia con CAD y GIS, integración con el modelo de gestión aeroportuario.

La segunda parte, consiste en el desarrollo de la prueba piloto a través del modelado as-built de una de sus instalaciones, que permita validar la aplicación de los procedimientos preestablecidos en la Guía BIM. Para ello debía construirse un modelo de inventario de las condiciones existentes que permita mejorar la gestión de las infraestructuras a través de la digitalización y siguiendo, en lo posible, los procedimientos actuales de gestión del cliente; mejorar la capacidad para realizar otros estudios desde el modelo, como el análisis energético; y habilitar un modelo que sirva como "Digital Twin" enfocado a la gestión de activos y el mantenimiento.

La implantación se desarrolla en varias fases.

Diagnóstico: análisis de necesidades, compatibilidad entre sistemas existentes y BIM, procesos internos, perfiles, etc. Con esta información se elabora la Guía BIM v0 en la cual se establecen metas, convenciones, organización, etc.

Divulgación de la Guía BIM v0: en paralelo al registro y toma de datos del edificio se interactúa con los gestores de la información y mantenimiento para preestablecer procedimientos. Esto permite evaluar las capacidades del cliente para el uso y gestión futura del modelo.

Proyecto Piloto: se modela el activo propuesto en base a la toma de datos con láser-escáner. Se establece un calendario de entregas parciales del modelo compatible con el avance de los trabajos y la evolución en el manejo de las herramientas BIM por parte del cliente hasta la entrega del modelo final.

Guía BIM Definitiva: a partir de la información recopilada en fases anteriores, se genera una versión final, base para la gestión de sus activos.

El proceso termina con el seguimiento de los primeros pasos de la implantación BIM ya en manos del cliente, para verificar que se está desarrollando conforme a lo previsto y con el desarrollo de nuevos pilotos basados en el digital twin como simulaciones, IoT, BMS, etc

Key Words: operations, maintenance, digital twin, infrastructure, laser-scanner.

(1) Architect, HO Digital Transformation, CiTD Engineering & Technologies, +34 651702908, guillermo.garcia@citd.eu. (2) Architect, BIM Manager, CiTD Engineering & Technologies. (3) Architect, BIM Specialist, CiTD Engineering & Technologies. (4) Civil Engineer, BIM Specialist, CiTD Engineering & Technologies. (5) Industrial Engineer, BIM Specialist, CiTD Engineering & Technologies.

1. Introducción

Esta comunicación resume la propuesta de CiTD ante el encargo recibido para desarrollar una metodología de implementación BIM aplicada a una terminal aeroportuaria, comprobada sobre un modelo piloto BIM y con una orientación clara hacia cómo conectar este modelo BIM con otros procesos de Facility Management relacionados con:

- La integración con sistemas de información geográfica (GIS)
- El Internet de las cosas (IoT)
- Etiquetas de identificación por radiofrecuencia (RFID)
- Gestión integral de activos físicos (IBM Maximo)
- Simulaciones mediante dinámica computacional de fluidos (CFD)

Estos requerimientos de conexión sobre la base del modelo BIM están actualmente en fase de desarrollo por CiTD.

Sin embargo la metodología de implementación se ha plasmado en un documento denominado Guía BIM que no sólo recoge los requerimientos marcados, para este caso, por la normativa americana (a solicitud del cliente) si no también todo el proceso de análisis y las decisiones tomadas para efectuar el registro de los objetos en el modelo BIM y su integración en la medida de lo posible con los requisitos procedentes de su estándar CAD así como con el modelo de gestión aeroportuario.

Un documento que ha sido constantemente testado y optimizado durante el desarrollo del modelo piloto BIM.

Objetivos

- Analizar la posibilidad de integrar a la metodología BIM los estándares CAD de desarrollo y representación de proyectos en 2D.
- Analizar la posibilidad de integrar un modelo BIM, que registre a manera de inventario las condiciones existentes, en la metodología actual de gestión de activos y que se convierta en el contenedor 3D principal de estos recursos y su información asociada.
- Mejorar la capacidad para realizar otros estudios desde el modelo BIM: prestacional, visualización, coordinación y revisión online, realidad virtual, análisis varios y otros.

Planteamiento

1. Introduction

This communication summarizes CiTD's proposal in response to a request to develop a BIM implementation methodology applied to an airport terminal, tested on a BIM pilot model and with a clear orientation towards how to connect this BIM model with other Facility Management processes related to:

- Integration with geographic information systems (GIS)
- The Internet of Things (IoT)
- Radio frequency identification labels (RFID)
- Integral management of physical assets (IBM Maximo)
- Simulations using computational fluid dynamics (CFD)

These connection requirements based on the BIM model are currently under development by CiTD.

However, the implementation methodology has been embodied in a document called BIM Guide, which not only includes the requirements set out in the American regulations for this case (at the request of the client), but also the entire analysis process and the decisions taken to register the objects in the BIM model and their integration as far as possible with the requirements of its CAD standard as well as with the airport management model.

A document that has been constantly tested and optimized during the development of the BIM pilot model.

Objectives

- Analyze the possibility of integrating CAD standards for 2D project development and representation into the BIM methodology.
- Analyze the possibility of integrating a BIM model that records existing conditions as an inventory in the current asset management methodology and becomes the main 3D container for these resources and their associated information.
- Improve the capacity to carry out other studies from the BIM model: performance, visualization, online coordination and review, virtual reality, various analyses and others.

Approach

- Collect as much graphical and non graphical information as possible to classify, filter and reflect it on the BIM model, using terrestrial laser scanner technology for the survey of the entire building.

- Recopilar toda la información gráfica y no gráfica posible para clasificarla, filtrarla y reflejarla en el modelo BIM, haciendo uso de la tecnología de escáner láser terrestre para el levantamiento de todo el edificio.
- Generar un modelo piloto BIM como contenedor espacial virtual para registrar todos los elementos reconocidos en la plataforma de gestión MAXIMO y que son objeto de mantenimiento.
- Establecer flujos de trabajo para la generación e intercambio de información entre la plataforma de gestión MAXIMO y el software de modelado REVIT definiendo las variables principales que permitan la interconexión entre plataformas. Estas variables serían: el tipo de archivo de intercambio, los campos de datos necesarios contenidos en los elementos sujetos a mantenimiento.
- Analizar y desarrollar la actualización ida y vuelta con el software de gestión del mantenimiento viendo la posibilidad de automatizar el proceso con el fin de contar siempre con una base de datos vigente y fiable.
- Configurar, en función del estudio futuro a realizar desde el modelo, las características que deben tener los elementos de modelo que serán sometidos a estos ensayos. El nivel de desarrollo máximo del proyecto ha sido LOD 300 (Level of Development).
- Generate a BIM pilot model as a virtual space container to register all the elements recognized in the MAXIMO management platform and that are subject to maintenance.
- For this purpose, the work processes, the procedures applied in maintenance tasks and the possibilities of interconnecting and visualising them in the BIM pilot model are analysed.
- Establish workflows for the generation and exchange of information between the MAXIMO management platform and the REVIT modeling software, defining the main variables that allow the interconnection between platforms. These variables would be: the type of exchange file, the required data fields contained in the items subject to maintenance.
- Analyze and develop the round-trip update with the maintenance management software, seeing the possibility of automating the process in order to always have a valid and reliable database.
- To configure, depending on the future study to be carried out from the model, the characteristics that the model elements to be subjected to these tests must have. The maximum development level of the project was LOD 300 (Level of Development)

Conclusiones

- Los procedimientos vigentes no han podido ser compatibilizados al 100% con las metodologías BIM por diferencias en la concepción de los estándares o software utilizados, en el caso de CAD por los condicionantes del software y niveles de definición máximos aplicables a los elementos, la asignación de propiedades o características a los elementos puede ser similar a un nivel general pero no a niveles específicos.
- En consecuencia se deben rescribir los procedimientos de registro y clasificación de elementos para un entorno Open BIM definiendo las características a compatibilizar con MAXIMO y otras tecnologías del FM en investigación, en este caso se usó el estándar COBle especializado en la conexión de BIM con sistemas GMAO (gestión del mantenimiento asistido por ordenador). El software MAXIMO contempla en su última versión 7.6.0.9 esta posibilidad de leer modelos BIM en normativa COBle.

2. Exposición del problema

- Las acciones de Facility Management en el organigrama de la empresa cliente están diversificadas, el número de activos a mantener es

Conclusions

- The current procedures could not be 100% compatible with the BIM methodologies due to differences in the design of the standards or software used, in the case of CAD due to software constraints and maximum definition levels applicable to the elements, the assignment of properties or characteristics to the elements may be similar at a general level but not at specific levels.
- Consequently, the procedures for registering and classifying elements for an Open BIM environment must be rewritten, defining the characteristics to be made compatible with MAXIMO and other FM technologies under investigation. In this case, the COBle standard specialized in the connection of BIM with CMMS (computer-aided maintenance management) systems was used. The latest version of MAXIMO software, version 7.6.0.9, includes this possibility of reading BIM models in COBle regulations.

2. Problem statement

- The Facility Management shares in the client company's organization chart are diversified, the number of assets to be held is directly proportional to the size of the real estate assets. Managing space rental, managing air conditioning, registering physical assets, keeping the database and

directamente proporcional a la envergadura del patrimonio inmobiliario. Gestionar el alquiler de espacios, gestionar la climatización, registrar activos físicos, mantener actualizada la base de datos y los planos, todo ello y más requieren una gestión más ágil y tecnológica.

- Durante la primera fase de diagnóstico del cliente y recopilación de información nos percatamos que estaba descoordinada, desactualizada y era incoherente. Cada departamento o división gestionaba la misma información por separado, el gasto de recursos empleados para tareas se duplicaba. El entorno CAD no tiene al AutoCAD como centro de recopilación de información como pasa en un entorno BIM.
- La información generada en las tareas de mantenimiento llegaba a ser imprecisa, desconfiable, reducida y la gestión podía llegar a ser ineficiente.
- El sector público tiene fijada una fecha límite para aplicar BIM en licitaciones públicas de edificación y necesitan dar el paso hacia la transformación digital de sus procedimientos.

3. Objetivo de la investigación

Desarrollar una metodología ad-hoc de implementación BIM y un modelo piloto de una Terminal Aeroportuaria al cual aplicar esta metodología en la transición de CAD a Open BIM para luego ir más allá, poner a prueba el modelo piloto con las nuevas tecnologías de gestión del mantenimiento, análisis de datos y visualización que CITD está investigando como parte de su proceso interno de transformación digital.

4. Hipótesis

- Que la metodología de organización y explotación del sistema de información del cliente, que desarrolla la normativa para la actualización de la información gráfica y alfanumérica relativa a su entorno gráfico, puede ser compatible con la metodología BIM.
- Que las especificaciones y normas a seguir para el mantenimiento y entrega de los planos de estado actual desarrollados en AutoCAD pueden ser replicadas en BIM.
- Que las acciones relativas a Facility Management, de la División de Ingeniería y Mantenimiento y sus Departamentos, pueden ser canalizadas a través de BIM.

Para comprobarlo es necesario generar un modelo piloto BIM del tipo Register Model, que contenga un inventario de los activos físicos actuales; este modelo se convertirá en un Digital Twin del edificio real con un nivel de definición suficiente para poder

plans up to date, all of which require more agile and technological management.

- During the first phase of client diagnosis and information gathering, we found that it was uncoordinated, outdated and inconsistent. Each department or division managed the same information separately, the expenditure of resources used for tasks doubled. The CAD environment does not have AutoCAD as the information gathering center as it does in a BIM environment.
- The information generated in the maintenance tasks became imprecise, unreliable, reduced and the management could become inefficient.
- The public sector has set a deadline for applying BIM in public building tenders and needs to take the step towards the digital transformation of its procedures.

3. Objective of the research

Develop an ad-hoc BIM implementation methodology and a pilot model of an Airport Terminal to apply this methodology in the transition from CAD to Open BIM and then go further, testing the pilot model with the new technologies of maintenance management, data analysis and visualization that CITD is investigating as part of its internal digital transformation process.

4. Hypothesis

- That the methodology of organization and operation of the client's information system, which develops the regulations for the updating of graphic and alphanumeric information relating to its graphic environment, may be compatible with the BIM methodology.
- That the specifications and standards to be followed for the maintenance and delivery of the current status drawings developed in AutoCAD can be replicated in BIM.
- That the actions related to Facility Management, of the Engineering and Maintenance Division and its Departments, can be channelled through BIM.

To verify this it is necessary to generate a Register Model BIM pilot model, containing an inventory of the current physical assets; this model will become a Digital Twin of the real building with a sufficient level of definition to be able to support and respond to the analyses and tests that the client requires to test.

5. Methodology

A) Main procedures:

- 5.1. Development of a BIM implementation

soportar y responder a los análisis y pruebas que el cliente requiere testear.

5. Metodología

A) Procedimientos principales:

5.1. Desarrollo de una metodología de implementación BIM que incluya como subproceso inicial un análisis previo del cliente.

5.1.1. Identificamos su nivel de madurez BIM como punto de partida de análisis, basados en el modelo de madurez BIM desarrollado por Bew & Richards (ver Fig. 1), para luego avanzar por el desarrollo de estrategias apropiadas hacia niveles superiores.

5.1.2. Estudiamos el perfil del cliente a través de cuestionarios tipo UK BIM Protocol – Appendix 2 obteniendo como resultado el EIR (Employer’s Information Requirements) que nos permitió evaluar sus necesidades.

5.1.3. Identificamos los usos BIM que engloban sus necesidades basados en la tabla de usos BIM particularizados para el cliente.

5.2. Una prueba piloto BIM para aplicar esta metodología que incluya como subproceso inicial una recopilación y toma de datos en campo.

Nos planteamos las siguientes preguntas:

5.2.1. ¿Cómo realizamos la toma de datos en campo?

Optamos por la nueva tecnología de escaneo láser 3D para generar nubes de puntos, representaciones digitales de las superficies externas de los componentes del edificio (cerramientos, estructuras, instalaciones, equipos, mobiliario, etc.). (Ver Fig. 2).

5.2.2. ¿Qué software de modelado usar?

Era primordial definir en las etapas tempranas el software de modelado pues condicionaba muchas cosas:

methodology that includes as an initial sub-process a previous analysis of the client.

5.1.1. We identify your BIM maturity level as the starting point for analysis, based on the BIM maturity model developed by Bew & Richards (see Fig. 1), and then move forward with the development of appropriate strategies to higher levels.

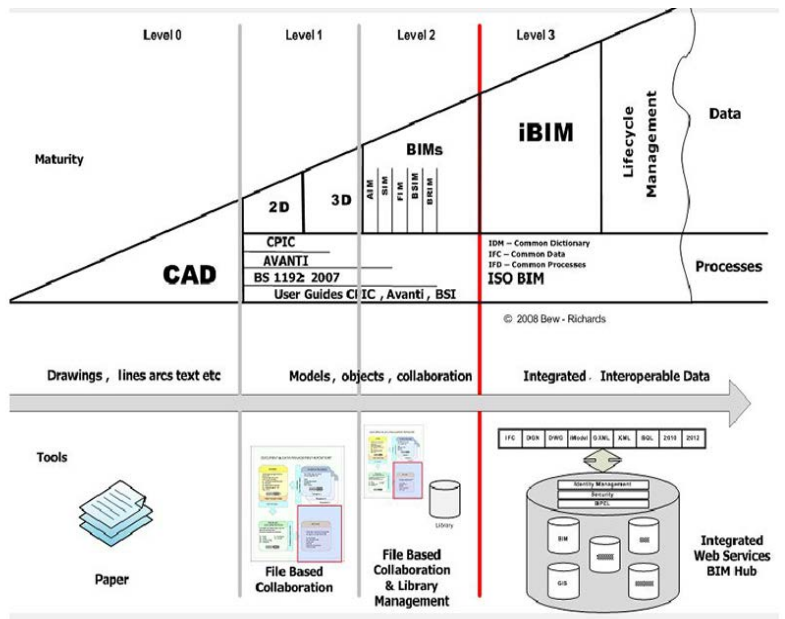


Fig. 1. Modelo de madurez BIM (Bew & Richards, 2008) Richards (2008). BIM Maturity Model (Bew & Richards, 2008).

5.1.2. We studied the client’s profile through questionnaires such as UK BIM Protocol - Appendix 2 obtaining as a result the EIR (Employer’s Information Requirements) that allowed us to evaluate their needs.

5.1.3. We identify the BIM uses that meet your needs based on the table of customer-specific BIM uses.

5.2. A BIM pilot test to apply this methodology, including as an initial sub-process a collection and collection of data in the field.

We ask ourselves the following questions:

5.2.1. How do we collect data in the field?

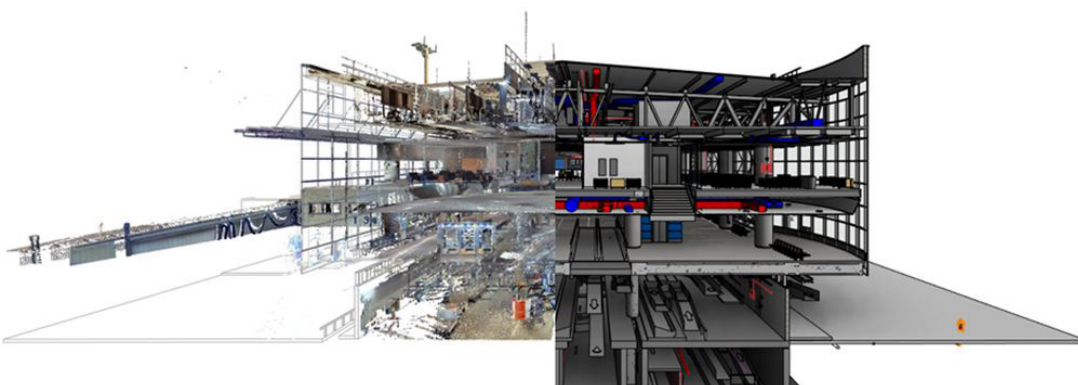


Fig. 2. De la nube de puntos al modelo BIM. From point cloud to BIM model.

- Cómo se estructurarían los archivos que conformarían el modelo del edificio.
- Cómo configurar las plantillas y estilos de representación y construcción de los modelos.
- Cómo sería el flujo de trabajo en un entorno Open BIM.
- Qué grado de interconexión tenía, real o en fase de prueba, con otros software del entorno BIM y de la cartografía.

Para lograr una mejor integración (evitar posibles futuras incompatibilidades) de los estándares CAD (AutoCAD) con la metodología BIM se optó por usar el software de modelado REVIT también de Autodesk.

También influyó el actual y futuro desarrollo y colaboración con otro software BIM, de realidad digital, de análisis de datos, de nuevas tecnologías, entre otros (Ver Fig. 2).

5.2.3. ¿Qué versión de Revit usaríamos?

La versión de Revit a usar estuvo condicionada por el empleo de nuevas tecnologías aplicadas al levantamiento topográfico; empleando un escáner laser 3D terrestre generamos nubes de puntos de todo el edificio, el software de conexión de esta tecnología con Revit estaba limitada como máximo a Revit versión 2017 y se acordó emplear esa (Ver Fig. 2).

5.2.4. ¿Qué información era necesario generar en el modelo piloto?

El Pliego de Prescripciones Técnicas establecía el LOD (Niveles de Desarrollo) de los objetos y entidades gráficas del edificio, estos niveles están definidos en el documento Level of Development Specification 2017 (Estándar internacional elaborado por BIM FORUM) que en su Parte II establece los atributos mínimos que deben contener estos elementos constructivos según LOD y fase, paralelamente el estándar del cliente aportaba la estructura de clasificación y codificación de los objetos contenidos en el edificio y el programa GMAO (Gestión del mantenimiento asistido por ordenador) IBM Maximo aportaba el listado de activos físicos gestionados por la organización (ver Fig. 3).

B) Procedimientos complementarios:

Analizamos los requerimientos particulares a los cuales el modelo piloto BIM debía servir:

- a. La integración con sistemas de información geográfica (GIS)

We opted for the new 3D laser scanning technology to generate point clouds, digital representations of the external surfaces of the building components (enclosures, structures, installations, equipment, furniture, etc.). (See Fig. 2).

5.2.2. Which modeling software to use?

It was essential to define in the early stages the modeling software because it conditioned many things:

- How the archives that would make up the building model would be structured.
- How to configure the templates and styles of representation and construction of the models.
- What the workflow would be like in an Open BIM environment.
- What degree of interconnection it had, real or in the test phase, with other software in the BIM and mapping environment.

In order to achieve a better integration (avoid possible future incompatibilities) of the CAD standards (AutoCAD) with the BIM methodology, it was decided to use the REVIT modeling software also from Autodesk.

Also influenced by the current and future development and collaboration with other BIM software, digital reality, data analysis, new technologies, among others (See Fig. 2).

5.2.3. Which version of Revit would we use?

The version of Revit to be used was conditioned by the use of new technologies applied to the topographic survey; using a 3D terrestrial laser scanner we generated point clouds throughout the building, the software for connecting this technology with Revit was limited to a maximum of Revit version 2017 and it was agreed to use this (See Fig. 2).

5.2.4. What information was needed to be generated in the pilot model?

The Technical Specifications established the LOD (Levels of Development) of the objects and graphic entities of the building, these levels are defined in the document Level of Development Specification 2017 (International Standard elaborated by BIM FORUM) that in its Part II establishes the minimum attributes that these constructive elements must contain according to LOD and phase. At the same time, the client's standard provided the

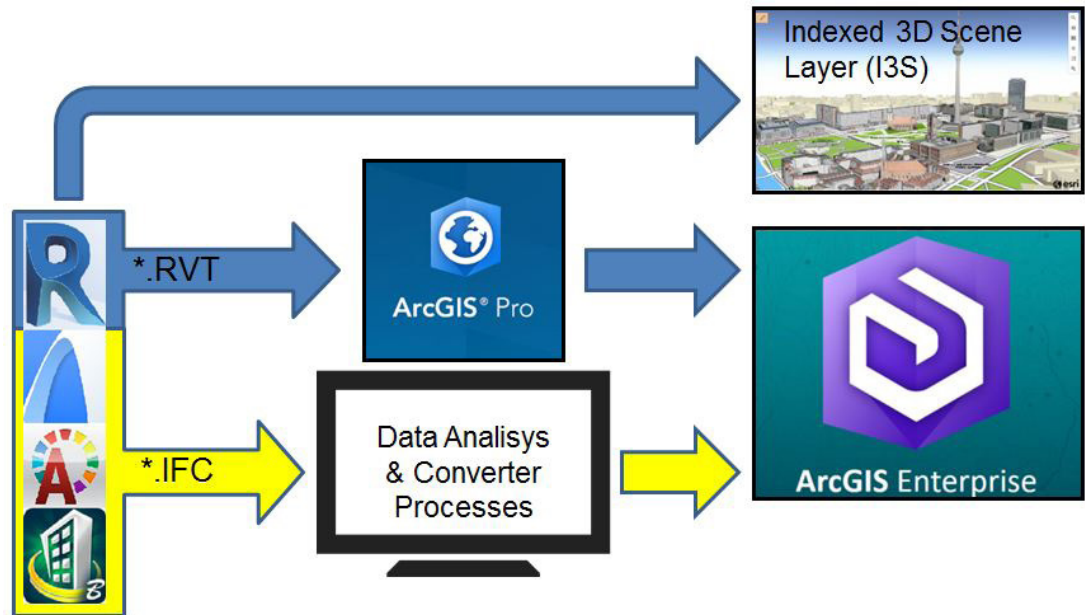


Fig. 4. Flujo BIM – GIS. BIM - GIS flow.

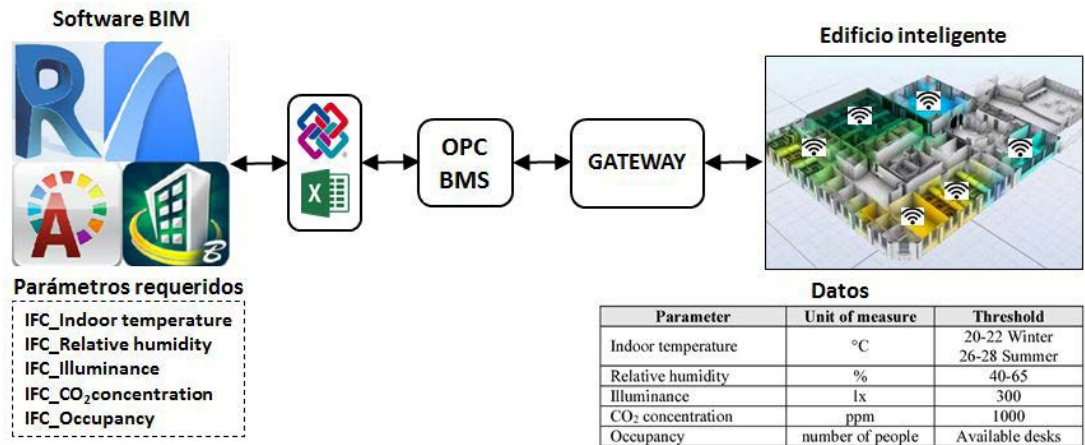


Fig. 5. Flujo BIM – OPC BMS – IoT. BIM - IoT flow.

b. El Internet de las cosas (IoT)

El cliente utiliza dispositivos Beacons, partiendo de esa experiencia investigamos como integrar IoT con BIM.

Se ha descubierto que la integración es posible mediante comunicación OPC, los datos gestionados por la BMS (Building Management System) son convertidos para ser leídos por el software de modelado.

Las señales de control de los sensores son canalizados y clasificados por un dispositivo tipo Gateway para generar líneas de código y ser sometidos posteriormente a un proceso de mapeo o asignación (Ver Fig. 5).

Ventajas a la vista:

- Representar en el modelo BIM los cambios de valor de los sensores asociados.
- Acceder a los datos de los sensores asociados en tiempo real desde el modelo BIM.

- Display the complete BIM model in a geographical context.
- Creation of I3S (Indexed 3D Scene Layers) data from Revit, a new 3D industry standard for the exchange of 3D data locally or via the web, approved by the OGC (Open Geospatial Consortium).

b. The Internet of Things (IoT)

The client uses Beacons devices, based on this experience we investigate how to integrate IoT with BIM.

It has been discovered that integration is possible through OPC communication, data managed by the BMS (Building Management System) is converted to be read by the modeling software.

The control signals from the sensors are channeled and classified by a Gateway device to generate lines of code and are then subjected to a mapping or assignment process (see Fig.

c. Etiquetas de identificación por radiofrecuencia (RFID)

El cliente requiere tener control sobre ciertos activos físicos, como su localización, desplazamiento, mantenimiento preventivo, etc. partiendo de esa necesidad investigamos si ese control puede integrarse con el modelo BIM.

El flujo es similar al de IoT con BIM, desde los dispositivos con RFID se envían datos a un software que los recopila, clasifica y analiza y mediante comunicación OPC pueden llegar a registrarse en un modelo BIM. (Ver Fig. 6).

Ventajas a la vista:

- Tener controlados en el modelo BIM datos de los objetos con etiquetas RFID como puede ser su localización a determinadas horas del día. Ello es posible porque los modelos BIM se pueden geo-referenciar y compartir, con las etiquetas RFID, el mismo sistema de coordenadas terrestres.

d. Gestión integral de activos físicos (IBM Maximo)

IBM Maximo es el sistema de gestión de activos que usa el cliente y nos fue requerido su integración con BIM, adquirimos licencias del software para analizar dicha posibilidad.

5).

Benefits at a glance:

- Represent in the BIM model the value changes of the associated sensors.
- Access the associated sensor data in real time from the BIM model.

c. Radio frequency identification labels (RFID)

The client needs to have control over certain physical assets, such as their location, displacement, preventive maintenance, etc. Based on this need, we investigate whether this control can be integrated with the BIM model.

The flow is similar to that of IoT with BIM, from RFID-enabled devices data is sent to software that collects, classifies and analyzes it, and through OPC communication can be recorded in a BIM model. (See Fig. 6).

Benefits at a glance:

- Have data on objects with RFID tags controlled in the BIM model, such as their location at certain times of the day. This is possible because BIM models can be geo-referenced and shared with RFID tags using the same ground coordinate system.



Fig. 6. Flujo RFID – OPC BMS – BIM (<http://www.sigigan.com/rfid.html>)
RFID – OPC BMS – BIM flow (<http://www.sigigan.com/rfid.html>)

Resultado de la investigación

La versión 7.6.0.2 de MAXIMO ya reconoce archivos generados en COBLE, desde el modelo BIM se exporta una base de datos íntegra, organizada y clasificada por la norma internacional COBLE que puede ser leída y reescrita por MAXIMO para ser devuelta al modelo BIM (Ver Fig. 7).

d. Integral management of physical assets (IBM Maximo)

IBM Maximo is the asset management system used by the client and we were required to integrate it with BIM, we acquired software licenses to analyze this possibility.

Result of the research:

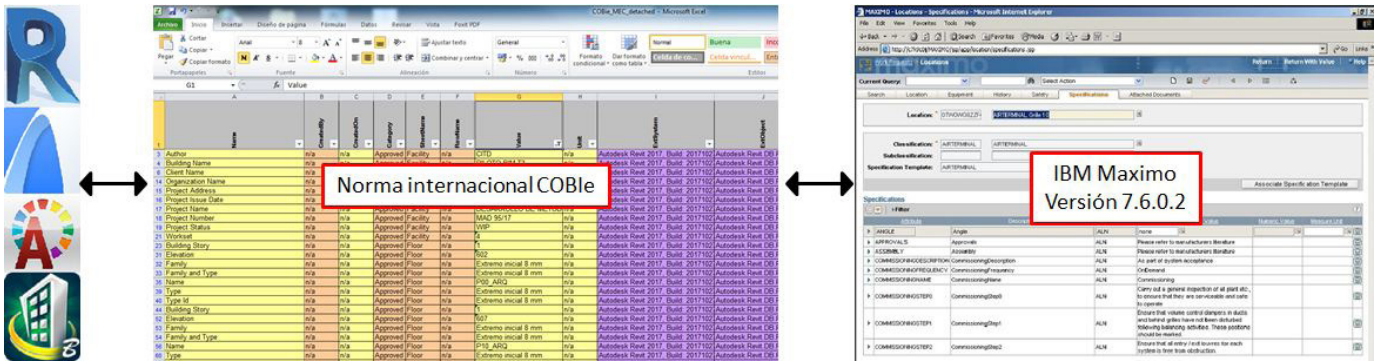


Fig. 7.
Flujo BIM - Maximo.
BIM – IBM Maximo flow.

e. Simulaciones mediante dinámica computacional de fluidos (CFD)

La aplicación práctica al sector AEC, ya sean espacios o instalaciones, es la optimización de diseños simulando el comportamiento de fluidos (HVAC & Plumbing).

- Se analizó la aplicación de CFD a los proyectos en proceso de finalización y proyectos futuros de ingeniería, arquitectura y construcción.
- Se realizó una comparativa entre software CFD: ANSYS Fluent, Autodesk CFD y Solidworks Flow Simulation.
- Se aplicó Autodesk CFD a un modelo previamente realizado en Autodesk Revit simulando la distribución del aire acondicionado en el ambiente y las temperaturas que podría ir adquiriendo en su recorrido (ver Fig. 8).

Resultado de la investigación:

El software CFD es una herramienta potente que cumple perfectamente su fin que es el de mejorar el diseño de espacios o instalaciones en base a analizar factores físico térmicos.

6. Conclusiones

- En la actualidad como parte del proceso de transición es necesario convivir con la metodología BIM y con la metodología de CAD.

Version 7.6.0.2 of MAXIMO already recognizes files generated in COBLE, from the BIM model a complete database is exported, organized and classified by the international standard COBLE that can be read and rewritten by MAXIMO to be returned to the BIM model (See Fig. 7).

e. Simulations using computational fluid dynamics (CFD)

The practical application to the AEC sector, whether it be spaces or installations, is the optimisation of designs by simulating the behaviour of fluids (HVAC & Plumbing).

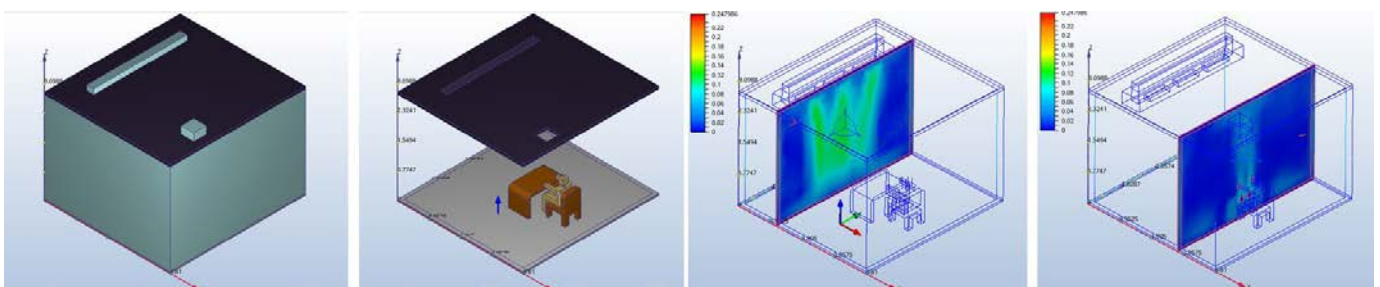
- The application of CFDs to projects in the process of completion and future engineering, architecture and construction projects was discussed.
- A comparison was made between CFD software: ANSYS Fluent, Autodesk CFD and Solidworks Flow Simulation.

- Autodesk CFD was applied to a model previously made in Autodesk Revit simulating the distribution of the air conditioning in the environment and the temperatures that could be acquired in its path (see Fig. 8).

Result of the research:

The CFD software is a powerful tool that perfectly fulfills its purpose which is to improve the design of spaces or facilities based on the analysis of physical and thermal factors.

Fig. 8.
Simulación con Autodesk CFD.
Simulation with Autodesk CFD.



- Debido a las limitaciones encontradas para compatibilizar Revit con los estándares CAD por ser enfoques distintos de cómo representar y registrar los elementos en la interfaz del software, se ha descartado desarrollar una aplicación especí-

6. Conclusions

- Currently, as part of the transition process, it is necessary to live with the BIM methodology and the CAD methodology.

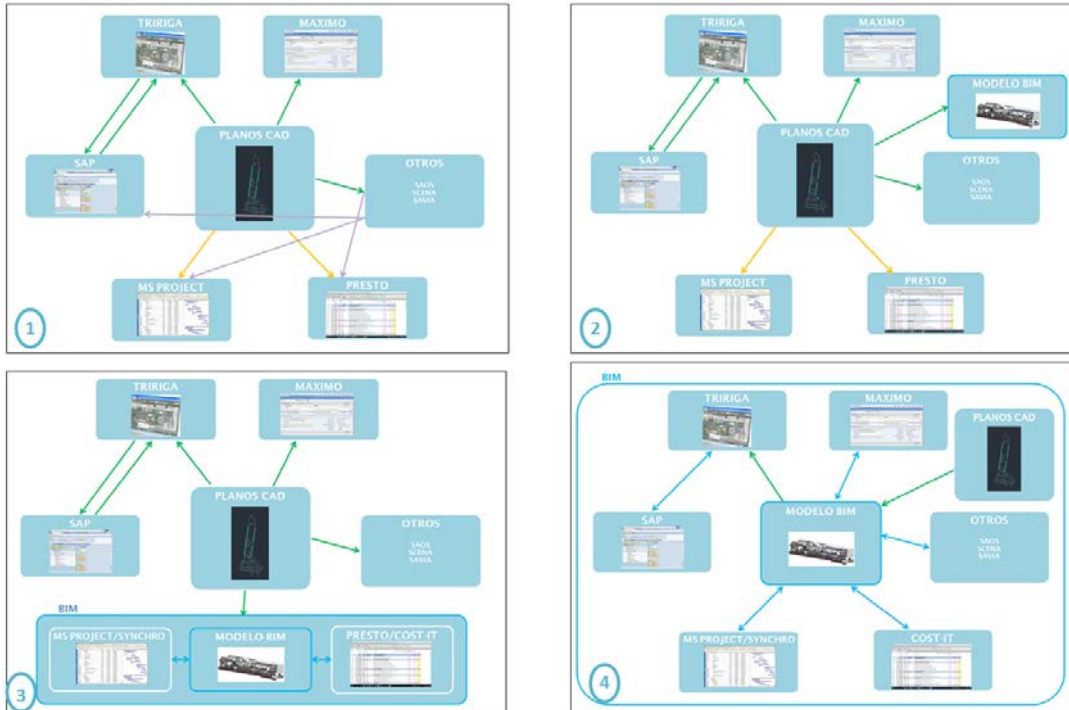


Fig. 9. Evolución de la metodología de trabajo asociada al uso de información gráfica desde el nivel inicial actual en BIM hasta el uso extendido de BIM.
Evolution of the work methodology associated with the use of graphic information from the current initial level in BIM to the extended use of BIM.

fica para automatizar la edición desde Revit compatible con los estándares de CAD. Los planos en formato DWG y PDF vigentes de elementos no modelados se integrarán al modelo BIM de dos formas:

- Insertados en el modelo como vínculo o como importado.
- A través de un parámetro del tipo URL que lo vincule al modelo.
- El escaneado láser 3D se ha convertido en una herramienta indispensable para hacer levantamientos más precisos mediante la digitalización de lo existente. En esta experiencia pudimos detectar al superponer la nube sobre los planos AutoCAD de estado actual vigentes que el edificio de la Terminal Aeroportuaria es más ancho aproximadamente 50cm y que el eje de pilares en esa fachada está desplazado una distancia similar.
- La nube de puntos ha sido un apoyo importantísimo para generar un modelo BIM fiel reflejo del edificio real (digital twin), en menos tiempo y georreferenciado en coordenadas UTM lo que le da conectividad con plataformas GIS. En esta experiencia el departamento de cartografía pudo integrar y visualizar perfectamente el modelo BIM en ArcGIS a través de IFC enriqueciendo su base de datos.

- Due to the limitations encountered in making Revit compatible with CAD standards because they are different approaches to representing and registering the elements in the software interface, it has been ruled out that a specific application could be developed to automate editing from Revit compatible with CAD standards. Current DWG and PDF drawings of unmodelled elements will be integrated into the BIM model in two ways:

- Inserted in the model as a link or as an imported model.
- Through a parameter of the URL type that links it to the model.
- 3D laser scanning has become an indispensable tool for making more accurate surveys by digitizing the existing data. In this experience we were able to detect by superimposing the cloud over the current AutoCAD current state plans that the Airport Terminal building is wider by approximately 50cm and that the axis of pillars on this facade is displaced by a similar distance.
- The point cloud has been a very important support to generate a BIM model faithfully reflecting the real building (digital twin), in less time and georeferenced in UTM coordinates which gives it connectivity with GIS platforms. In this experience, the mapping department was able to integra-

- Para lograr la conexión entre BIM y el sistema de gestión aeroportuaria propusimos 3 opciones:
 - Actualizar la versión de IBM Maximo a la que permite interconectar con BIM
 - A través de Maximo Trirriga.
 - Hacer uso de un BMS.
- te and visualize the BIM model perfectly in ArcGIS through IFC, enriching its database.
- To achieve the connection between BIM and the airport management system we proposed 3 options:
 - Upgrade the version of IBM Maximo to the one that allows you to interconnect with BIM.
 - By Maximo Trirriga.
 - Use a BMS (Building Management System).

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] The Computer Integrated Construction (2011). BIM Project Execution Planning Guide Version 2.1. UK: Research Program at The Pennsylvania State University.
- [2] BIM FORUM (2017). Level of Development Specification. USA: BIMForum.
- [3] The British Standard Institution (2015). BS 8536-1:2015 Briefing for design and construction Part 1: Code of practice for facilities management (Buildings infrastructure). UK: bsi.
- [4] The British Standard Institution (2016). BS 8536-2:2016 Briefing for design and construction Part 2: Code of practice for asset management (Linear and geographical infrastructure). UK: bsi.
- [5] The British Standard Institution (2014). PAS 1192-3:2014 Specification for information management for the operational phase of assets using building information modeling. Incorporating Corrigendum N°1. UK: bsi.
- [6] The British Standard Institution (2014). BS 1192-4:2014 Collaborative production of information Part 4: Fulfilling employer's information exchange requirements using COBle-Code of practice. UK: bsi.
- [7] EUBIM Taskgroup. Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector. Strategic action for construction sector performance: driving value, innovation and growth. CE: EUBIM Taskgroup. Recuperado de <http://www.eubim.eu/handbook/>
- [8] BuildingSMART Spanish Chapter (2014). GUÍA DE USUARIOS BIM. Modelado del Estado Actual. Documento 2. V 1.0. España: BSSC. Recuperado de <https://www.buildingsmart.es/bim/guias-ubim/>
- [9] BuildingSMART Spanish Chapter (2014). GUÍA DE USUARIOS BIM. BIM para Mantenimiento y Operaciones. Documento 12. V 1.0. España: BSSC. Recuperado de <https://www.buildingsmart.es/bim/guias-ubim/>
- [10] McCuen, T.L. and Pittenger, D.M. (2016). Building Information Modeling for Airports. USA: ACRP. Recuperado de <https://www.nap.edu/catalog/23517/building-information-modeling-for-airports>

Repercusión de los aspectos socio-económicos en las tipologías de vivienda industrializada: Uso de hormigón aligerado en Asturias

Impact of socio-economic aspects on the typologies of industrialized housing: Use of lightweight concrete in Asturias

Daniel González Prieto¹, M^a Manuela Prieto González²

ABSTRACT

La vivienda unifamiliar prefabricada ha cobrado mucha importancia en España en los últimos años. Esto es debido al aumento del precio de los inmuebles en el centro de las ciudades y a la desmitificación de la pérdida de calidad en el proceso de la industrialización de la vivienda.

Los aspectos económico-sociales, junto a los de eficiencia energética, energía incorporada, gestión de residuos y reutilización de las construcciones, se relacionan también con el concepto de sostenibilidad. Partiendo de esta premisa, en este trabajo se investiga acerca de la tipología de vivienda que mejor se adapta a las necesidades económico-sociales del perfil del demandante de vivienda unifamiliar industrializada y en el análisis se tienen en cuenta, además, la eficiencia energética y la energía incorporada en la construcción del edificio.

Se toma como punto de partida la construcción de viviendas unifamiliares prefabricadas, de módulos abiertos, hechos con paneles de hormigón aligerado de arcilla expandida, un sistema muy usado en Asturias (norte de España). En esta investigación se abordan tres aspectos de análisis, con el fin de llegar a un planteamiento de construcción óptimo. El primero tiene que ver con el programa de necesidades y superficies del comprador de la vivienda; el segundo, con la planificación de la construcción; el tercero, con las distintas tipologías ya construidas y que pueden dar respuesta a este programa, con el estudio de un caso en el que se analizan la demanda energética, la energía incorporada y la energía de uso.

Key Words: industrializado, modular, panelizado, pasivo, edificio.

1. Introducción

Los impactos medioambientales debidos a la actividad humana, entre ellos los gases de efecto invernadero que están conduciendo al calentamiento global, junto con la disminución del potencial de uso de los combustibles fósiles, han conducido a la aparición de numerosas Directivas de contenido energético y medioambiental. En la Unión Europea, los edificios representan el 40% del consumo final de energía, el 36% de las emisiones de CO₂, el 30% del consumo de materias primas, el 12 % del consumo de agua potable y son productores del 30% de los residuos destinados a vertedero [1]. La necesidad de disminuir los consumos energéticos de los edificios ha conducido en Europa a Directivas para conseguir edificios de energía casi cero en 2020. En 2002 se publicó la Directiva Europea 2002/91/CE sobre rendimiento energético de edificios [2], a la que posteriormente se unieron otras dos Directivas: 2010/31/EU [3] y 2012/27/UE [4]. La Directiva 2002/91/CE se centró en la metodología para calcular la eficiencia energética de los edificios y en la definición de los requisitos mínimos a cumplir por los edificios nuevos y por aquellos edificios existentes que fueran objeto de una profunda renovación. Más tarde, la Directiva 2010/31/UE introdujo el concepto de edificios de energía casi nula y estableció el final de 2020 como fecha límite para implementar dicho tipo de edificios en las nuevas construcciones.

En España, estas Directivas se han transpuesto mediante el Código Técnico de la Edificación 2006 y 2013 [5, 6 y 7], que continúa modificándose, Orden FOM / 588/2017 [8], que modifica los documentos básicos relativos a ahorro de energía y salubridad. Las preocupaciones sobre los aspectos ambientales han llevado a un mayor uso de los estudios del ciclo de vida, con los impactos reflejados en la declaración medioambiental de producto EN 15804 [9] y en el comportamiento medioambiental de los edificios EN 15978 [10].

La normativa medioambiental se centra de forma pormenorizada en etapas, que se esquematizan en la Fig. 1. La primera es la producción de los elementos o componentes para el edificio: extracción de materias primas (A1), transporte a fábrica (A2) y fabricación (A3). Posteriormente, los componentes producidos se transportan (A4) y se ensamblan en fábrica (módulos) o en el sitio donde irá el edificio, formando partes mayores (A5). Una vez construido el edificio, comienza la etapa de uso del mismo, que comprende: uso inicial (B1), mantenimiento (B2), reparación (B3), sustitución (B4), rehabilitación (B5), uso de la energía operacional (B6) y uso del agua operacional (B7). La evaluación de impactos medioambientales, sociales y económicos se realiza en cada una de las etapas. Los impactos medioambientales tienen indicadores que se cuantifican mediante cálculos a partir de la composición, peso y procesos aplicados [9 y 10].

1. Introduction

The environmental impacts due to human activity, including the greenhouse gases that are leading to global warming, together with the decrease in the potential use of fossil fuels, have led to the emergence of numerous energy and environmental content Directives. In the European Union, buildings represent 40% of final energy consumption, 36% of CO₂ emissions, 30% of raw material consumption, 12% of drinking water consumption and are producers of 30% of waste destined for landfill [1]. The need to reduce the energy consumption of buildings has led in Europe to Directives to get nearly zero-energy buildings in 2020. In 2002, the European Directive 2002/91/EC on the energy performance of buildings [2] was published, which was later joined by two other Directives: 2010/31/EU [3] and 2012/27/EU [4]. Directive 2002/91 / EC focused on the methodology for calculating the energy efficiency of buildings and on the definition of the minimum requirements to be met by new buildings and by those existing buildings that were subject to a deep renovation. Later, Directive 2010/31/EU introduced the concept of nearly zero-energy buildings and established the end of 2020 as the deadline to implement such buildings in new constructions.

In Spain, these Directives have been transposed through the Technical Building Code 2006 and 2013 [5, 6 and 7], which continues to be modified, order FOM/588/2017 [8], which modifies the basic documents related to energy saving and health. Concerns about environmental aspects have led to a greater use of life cycle studies, in order to address impacts reflected in the environmental product declaration EN 15804 [9] and in the environmental performance of the buildings EN 15978 [10].

The aforementioned regulations focus in detail on stages, which are outlined in Fig. 1. The first is the production of the elements or components for the building: extraction of raw materials (A1), transport to the factory (A2) and manufacturing (A3). Subsequently, the components produced are transported (A4) and assembled in factory (modules) or in the place where the building will be erected, forming larger parts (A5). Once the building has been built, the stage of use begins, which includes: initial use (B1), maintenance (B2), repair (B3), replacement (B4), rehabilitation (B5), use of operational energy (B6) and use of operational water (B7). The evaluation of environmental, social and economic impacts is carried out in each of the stages. Environmental impacts have indicators that are quantified by calculations based on the composition, weight and processes applied [9 and 10].

In addition to the environmental aspect, economic, social and cultural are being added, which obey the economic possibilities and functionalities defined by the customers and their economic and social

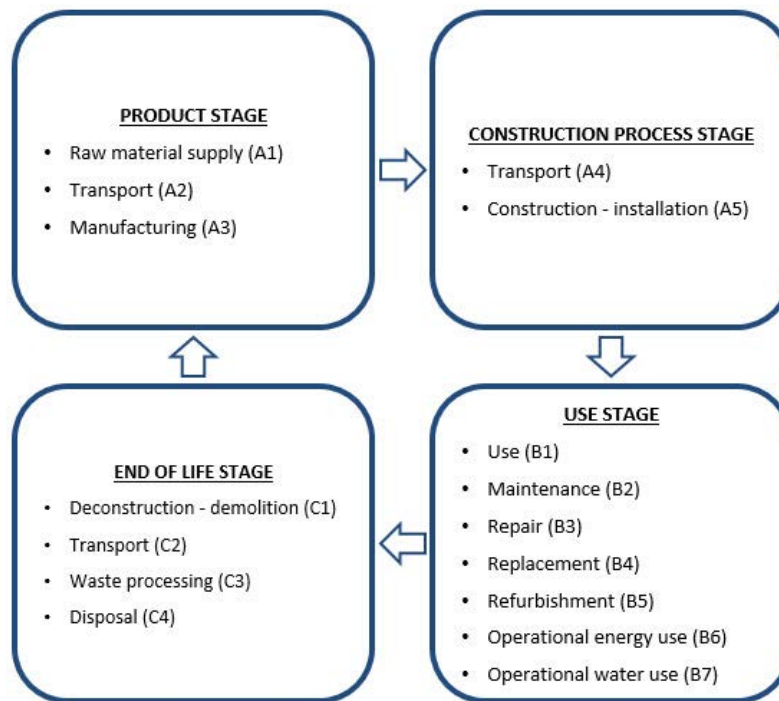


Fig. 1. Etapas de la vida de los edificios (Elaboración propia; 2018). Stages of buildings life (Own elaboration; 2018).

Adicionalmente, a los aspectos medioambientales, se han ido sumando otros económicos, sociales y culturales que obedecen a las necesidades-posibilidades funcionales y económicas que define el cliente y su entorno social-económico. Los aspectos de contenido social están establecidos en EN-16309 [11] y los económicos en EN-16627 [12]. Se precisa la adaptación a las posibilidades económicas y necesidades de los clientes y que se creen ambientes socio-económicos inclusivos que favorezcan el trabajo de proveedores y constructores locales.

En el presente trabajo se analizan aspectos de sostenibilidad de una vivienda unifamiliar diseñada para su construcción industrializada con módulos abiertos. Se toma como punto de partida la construcción de viviendas con paneles de hormigón aligerados con arcilla expandida, uno de los sistemas con mayor proyección del mercado en el norte de España, y se investiga acerca de la situación socio-económica y sobre la tipología de vivienda que mejor se adapta a las necesidades del perfil del demandante de vivienda unifamiliar industrializada. Se define una tipología de vivienda y se analiza teniendo en cuenta la demanda, la energía incorporada en la construcción del edificio y la energía de uso.

2. Entorno socio-económico: posibilidades y necesidades del comprador de la vivienda

La Fig. 2 representa datos del libro "España en cifras 2017" [13], que se han seleccionado para ilustrar el entorno en el caso español. En la Figura, en el gráfico de barras horizontales de gama de azules, se representa por Comunidades Autónomas la renta media anual, que es un indicador de la capacidad para invertir en vivienda. En el gráfico de barras horizontales

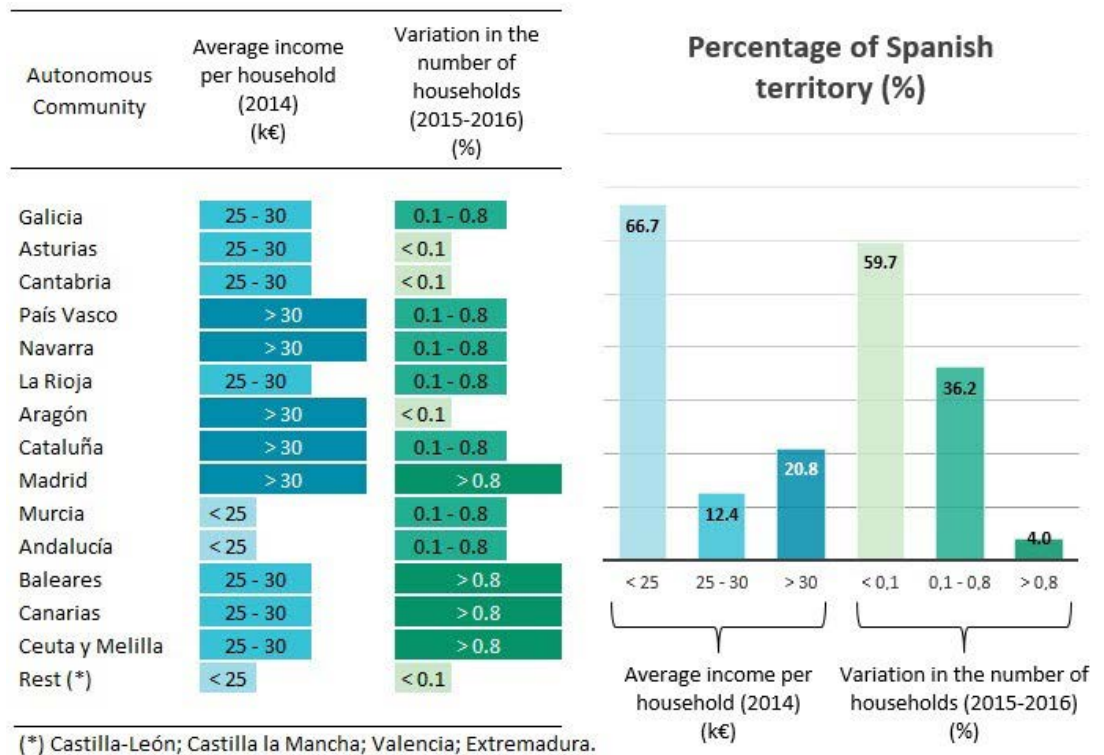
surrounding. The social aspects are established in EN-16309 [11] and the economic ones in EN-16627 [12]. It is also required to adapt to the costumers needs to create inclusive socio-economic environments that favour the work of local suppliers and builders.

In the present work, aspects of sustainability of a single-family home designed for its industrialized construction with open modules are analyzed. The starting point is the construction of houses with panels of lightweight concrete made with expanded clay, one of the systems with the greatest projection of the market in the north of Spain, and research is carried out on the socio-economic situation and on the type of housing that best fits with the needs of the profile of the applicant of industrialized single-family housing. A housing typology is defined and analyzed taking into account the demand, the energy embodied in the construction of the building and the energy of use

2. Socio-economic aspects: possibilities and needs of the buyer of housing

Figure 2 represents data from the book "Spain in figures 2017" [13], which have been selected to illustrate the conditions in the Spanish case. In the Figure, in the horizontal bar graph with a range of blues, the average annual rent is represented by Autonomous Communities (a first-level political and administrative division in Spain), since such a rent is an indicator of the capacity to invest in housing. The graph of horizontal bars with a range of greens shows the annual percentage change in the number of households: growth or decrease due to migration effects or the family reunification inherent in the economic recession. The graph of vertical bars, with the same ranges

Fig. 2. Renta media en 2014 y variación del número de hogares entre 2015 y 2016: a) por regiones; b) porcentajes de los intervalos de renta y de la variación del número de hogares considerando todo el territorio español (Elaboración propia; 2018). Average income in 2014 and variation in the number of households between 2015 and 2016: a) by region; b) percentages of income intervals and variation in the number of households (Own elaboration; 2018).



de gama de verdes, se representa la variación porcentual anual del número de hogares: crecimiento o decrecimiento por efectos migratorios o por el reagrupamiento familiar inherente a la recesión económica. El gráfico de barras verticales, con las mismas gamas de colores representa cómo repercuten estos datos en el conjunto del estado español (teniendo en cuenta el porcentaje de territorio que supone cada Comunidad Autónoma) y permite apreciar que la renta media es menor de 25.000 € en el 66,7% del territorio (Murcia, Andalucía y resto), que está entre 25.000 y 30.000 € en el 12,4% del territorio (Galicia, Asturias, Cantabria, La Rioja, Baleares, Canarias, Ceuta y Melilla) y que es mayor de 30.000 € en el 20,8% del territorio (País Vasco, Navarra, Aragón, Cataluña y Madrid). La variación anual del número de hogares es muy pequeña en las Comunidades Autónomas de Asturias, Cantabria, Aragón y resto, siendo Madrid la Comunidad Autónoma donde más crece. En el 59,7% del territorio español la variación es muy pequeña y solamente en Madrid, que representa el 4% del territorio, varía más del 0,8%. Por tanto, en Asturias, que es donde se sitúa la vivienda estudiada, la renta media está entre 25.000 y 30.000 € y la variación anual del número de hogares toma un valor muy pequeño.

La Fig. 3 representa los tipos de hogares en 2015 y 2016 teniendo en cuenta la forma de convivencia. Se observa que apenas hubo variación entre 2015 y 2016 en la cantidad de hogares asignados a cada forma de convivencia. El gráfico de barras verticales tienen en cuenta todas las edades de la población, mientras que el gráfico de sectores se refiere sólo a personas de 30 a 34 años. En el conjunto de la población, el 28% de las personas viven solas, el 60% viven

of colors, represents how these data affect the whole of the Spanish state (taking into account the percentage of territory that each Autonomous Community represents) and allows appreciate that the average income is less than € 25,000 in 66.7% of the territory (Murcia, Andalusia and the rest), which is between € 25,000 and € 30,000 in 12.4% of the territory (Galicia, Asturias, Cantabria, La Rioja, Balearic Islands, Canary Islands, Ceuta and Melilla) and that is greater than € 30,000 in 20.8% of the territory (Basque Country, Navarra, Aragon, Catalonia and Madrid). The annual variation in the number of households is very small in the Autonomous Communities of Asturias, Cantabria, Aragon and the rest, being Madrid the Autonomous Community where it grows the most. In 59.7% of the Spanish territory the variation is very small and only in Madrid, which represents 4% of the territory, varies more than 0.8%. Thus, in Asturias, where the studied housing is located, the average rent is between € 25,000 and € 30,000 and the annual variation in the number of homes takes a very small value.

Fig. 3 represents the types of households in 2015 and 2016 taking into account the form of cohabitation. It is observed that there was hardly any variation between 2015 and 2016 in the number of households assigned to each form of cohabitation. The vertical bar chart takes into account all ages of the population, while the pie chart refers only to people aged 30 to 34 years. In the population as a whole, 28% of people live alone, 60% live in a couple (37% with children and 23% without children) and 12% are single fathers or mothers with children. With regard to people between 30 and 34 years old, 11% live alone, 55% live with a partner (34% are couples with children and 21% are couples without children), 30% live

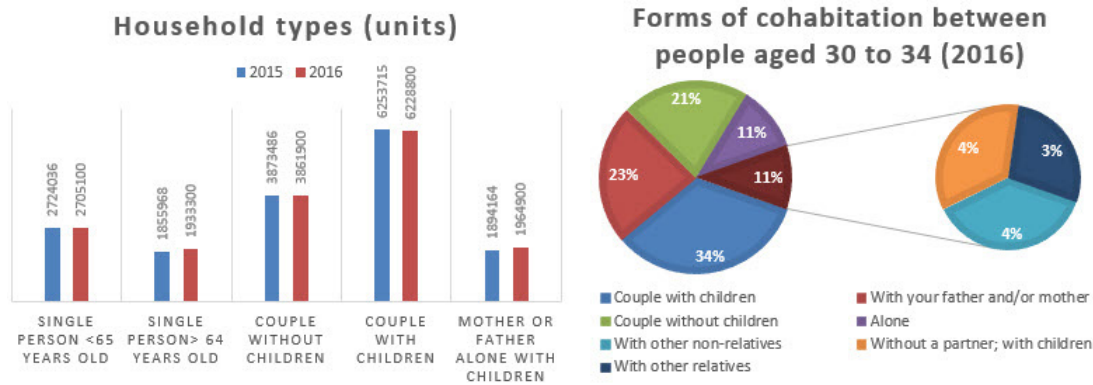


Fig. 3.

Tipos de hogar en 2015 y 2016 y forma de convivencia de las personas de 30 a 34 años en 2016 (Elaboración propia; 2018).

Household types in 2015 and 2016 and forms of cohabitation between people aged 30 to 34 in 2016 (Own elaboration; 2018).

en pareja (37% con hijos y 23% sin hijos) y el 12% son padres o madres solos con hijos. Respecto a las personas con edades entre 30 y 34 años, el 11% viven solos, el 55% viven en pareja (el 34% son parejas con hijos y el 21% son parejas sin hijos), el 30% viven con los padres o con otros parientes o no parientes y el 4% viven sin pareja y con hijos. Por otro lado, el número de hijos por pareja en España está alrededor de 1,3 desde hace varios años. Por tanto, considerando la convivencia en pareja del conjunto de la población y ponderando con y sin hijos, se obtiene que el número medio de personas asociadas a la convivencia en pareja es de 2.8. Por ello, el número de personas que se considerarán en el caso que se estudiará más adelante se ha establecido en 3.

3. Planificación y fases de la construcción: organización de la producción

La Fig. 4 representa una descripción de los procesos y controles de la construcción industrializada y la Fig. 5, un esquema tipo de tiempos para la construcción industrializada con módulos abiertos.

Como puntos fuertes de la construcción industrializada destacan:

- Mayor control de los impactos derivados de la implantación del edificio, de la gestión de los materiales necesarios y de los residuos, tanto en fábrica como después de la construcción.
- Mejor seguimiento y control del proceso productivo y de la calidad de la obra.
- Personalización de la responsabilidad del constructor.
- Disminución de los gastos de financiación del capital para abordar la construcción de una vivienda, al ser menor el tiempo necesario.

La construcción con paneles prefabricados o módulos permite:

- Un diseño adaptado al gusto del cliente.

with their parents or with other relatives or non-relatives and 4% live without a partner and with children. On the other side, the number of children per couple in Spain has been around 1.3 for several years. Therefore, considering the cohabitation as a couple within the whole population and pondering those couples with and without children, the average number of people living in a couple results 2.8. Consequently, the number of people that will be considered in our case study will be 3.

3. Planning and phases of construction: organization of production

Fig. 4 represents a description of the processes and controls of the industrialized construction and Fig. 5, a time-type diagram for the industrialized construction with open modules.

As strong points of the industrialized construction stand out:

- Greater control of the impacts derived from the execution of the building, the management of the necessary materials and the waste, both in the factory and after the construction.
- Better monitoring and control of the production process and the quality of the work.
- Personalization of the builder's responsibility.
- Decrease in capital financing costs to address the construction of a house, as the time required is shorter.

The construction with prefabricated panels or modules allows:

- A design adapted to the client's taste.
- The concentration of waste and the reuse of surplus produced during manufacturing.
- A better tracking of the assembly of the components.

- La concentración de residuos y el reuso de los sobrantes que se producen en la fabricación.
- Un mejor seguimiento del ensamblado de los componentes.
- Una menor dependencia del clima.
- Una disminución del número de accidentes.
- Less dependence on weather.
- A decrease in the number of accidents.

La industrialización ha de promover, por su concepto, la disminución del costo final del edificio para igualdad de calidad, al automatizar y sistematizar la producción, y este punto ha de redundar en facilitar el acceso a la vivienda. Se produce un menor tiempo de espera entre que se decide construir y se toma posesión de la vivienda (4 o 5 meses), lo que rebaja los costes financieros. El seguimiento del proceso de construcción es independiente de otros factores (como el tiempo) y hay un mayor control de la calidad. Por último, el montaje en sitio se reduce a un plazo alrededor de un mes, lo que supone un efecto ilusionante para el comprador.

Industrialization has to promote, by its concept, the reduction of the final cost of the building with the same quality, by automating and systematizing production, and this point should help to facilitate access to housing. There is a shorter waiting period between the decision to build and the delivery of the finished house (4 or 5 months), which lowers the financial costs. The monitoring of the construction process is independent of other factors (such as weather) and there is greater quality control. Finally, the duration of the assembly on site is reduced by about a month, which entails an exciting effect for the buyer.

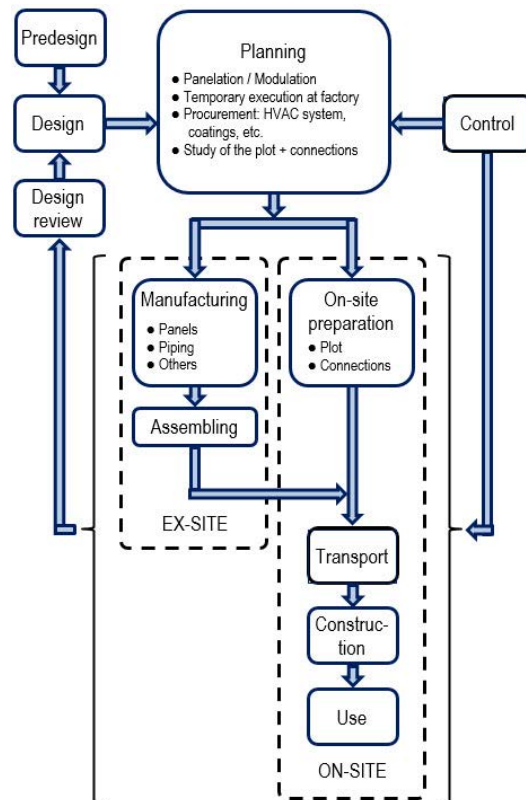


Fig. 4. Diseño, planificación, fabricación y construcción de viviendas industrializadas modulares (Elaboración propia; 2018). Design, planning, manufacturing and construction of modular industrialized homes (Own elaboration; 2018).

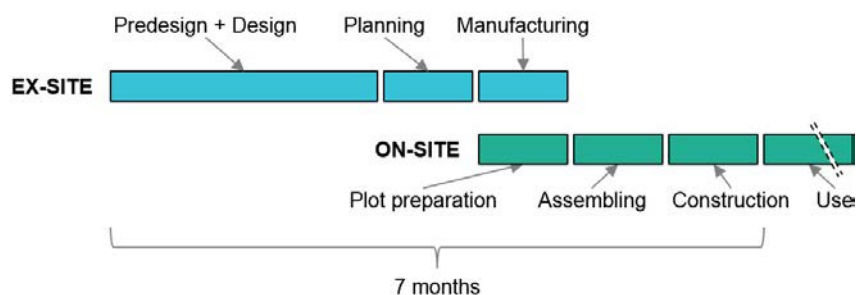


Fig. 5. Esquema tipo de tiempos para la construcción industrializada con módulos abiertos (Elaboración propia; 2018). Typical schedule for industrialized construction with open modules (Own elaboration; 2018).

4. Estudio de caso

La Fig. 6 muestra diferentes tipologías de construcción de viviendas unifamiliares prefabricadas, de módulos abiertos, hechos con paneles de hormigón aligerado de arcilla expandida. De arriba a abajo: vivienda tradicional de una planta; vivienda moderna de una planta; vivienda moderna de una planta distribuida en varios bloques interconectados; y vivienda moderna de dos plantas. La tipología de vivienda tradicional de una planta es la que se ha escogido para hacer el estudio de caso. La vivienda se sitúa en el norte de España, en Oviedo (altitud 232 m; latitud 43,37° N; longitud -5,85° E) y se diseña como ejemplo de casa pasiva de tamaño reducido (66,76 m² de superficie útil). Los datos que proceden del entorno socio-económico y la experiencia profesional hicieron decidirse por una vivienda de una planta para ser habitada por tres ocupantes, formada por salón-cocina, dos baños, tres habitaciones, pasillo y cuarto de instalaciones. En cuanto a los huecos acristalados, se disponen en las fachadas sur y norte y suponen un porcentaje del 32% y del 13%, respectivamente.



El clima de Oviedo es templado y con abundantes lluvias, con una temperatura media anual de 13,0 °C. La precipitación anual es de 848 mm. El promedio mensual de precipitaciones es muy variable, con valores medios mínimos de 43 mm y máximos de 116 mm, para julio y noviembre respectivamente, según datos en [14]. Otros datos de clima, obtenidos en [15] y que se utilizan en los cálculos, son: temperatura seca de verano 23,5 °C; temperatura húmeda de verano 18,6 °C; oscilación media diaria 8,5 °C; oscilación media anual 27,2 °C; temperatura seca en invierno 1,2 °C; temperatura mínima del terreno 6,40 °C y temperatura no perturbada del terreno 13,35 °C.

La Tabla 1 refleja los materiales y espesores utilizados para solera, muro y cubierta, así como los valores de conductancia térmica obtenidos. Se emplean paneles de hormigón armado aligerado, cuyos valores de densidad y conductividad se indican en el pie de la tabla. Para los muros exteriores, la solera y la cubier-

4. Case study

Fig. 6 shows different types of construction of prefabricated single-family homes, based on open modules, made with lightweight concrete panels of expanded clay. From top to bottom: traditional one-story house; modern one-story house; modern housing of a plant distributed in several interconnected blocks; and modern two-story house. The typology that has been chosen to make the case study is that of a traditional one-story house. The house is located in the north of Spain, in Oviedo (altitude 232 m, latitude 43.37 N, length -5.85 E) and is designed as an example of passive house of reduced size (66.76 m² of floor space). Data coming from the socio-economic environment and professional experience led to choose a house of one floor, inhabited by three occupants, consisting of living room-kitchen, two bathrooms, three bedrooms, corridor and facilities room. As for the glazed openings, they are arranged in the south and north facades and represent percentages of 32% and 13%, respectively.

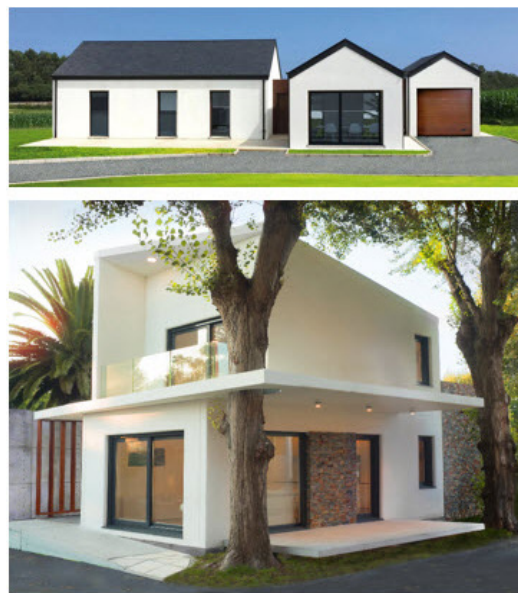


Fig. 6. Ejemplos de construcción industrializada con hormigón aligerado en Asturias (Elaboración propia; 2018).
Examples of industrialized construction with lightweight concrete in Asturias (Own elaboration; 2018).

The weather of Oviedo is temperate and with abundant rains, with an average annual temperature of 13.0°C. The annual rainfall is 848 mm. The monthly average of precipitations is very variable, with minimum average values of 43 mm and maximums of 116 mm, for July and November respectively, according to data from [14]. Other weather data, obtained from [15] and used in the calculations, are: dry summer temperature 23.5°C; wet summer temperature 18.6°C; average daily oscillation 8.5°C; average annual oscillation 27.2°C; dry temperature in winter 1.2°C; minimum ground temperature 6.40°C and undisturbed ground temperature 13.35°C.

Table 1 shows the materials and thicknesses used for exterior walls, floor and roof, as well as the thermal

ta, el espesor del hormigón aligerado es de 140 mm; los tabiques interiores son del mismo hormigón, pero de 80 mm de espesor. El espesor de aislamiento XPS en muros y solera es 140 mm; en cubierta es 200 mm. Los vidrios son triples, con cámara de argón: $U_g = 0,56 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ y factor solar $g = 0,51$. Los marcos son de aluminio con rotura de puente térmico y baja conductividad: $U = 0,83 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, absorptividad = 0,4 y clase de infiltración = 4.

conductance values obtained. Lightweight reinforced concrete panels are used, whose density and conductivity values are indicated at the bottom of the table. For the exterior walls, the floor and the roof, the thickness of the lightweight concrete is 140 mm; the partitions are made of the same concrete, but 80 mm thick. The XPS insulation thickness in walls and floor is 140 mm; on deck it is 200 mm. Argon-filled triple glazing is used: $U_g = 0.56 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ and solar factor $g = 0.51$. Glazing frames are aluminium with thermal bridge breaking and low conductivity: $U = 0.83 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, absorptivity = 0.4 and infiltration class = 4.

Tabla 1.

Composición y propiedades de la envolvente del edificio (Elaboración propia; 2018).
Composition and properties of the building envelope (Own elaboration; 2018).

	Materials	Thickness (mm)	U (W/m ² K)
Exterior walls	Lightened concrete (*)	140	0.17
	XPS	140	
	Others	78	
Floor	Lightened concrete (*)	140	0.17
	XPS	140	
	Others	349	
Roof	Lightened concrete (*)	140	0.16
	XPS	200	
	Others	76	

(*) Density = 1800 kg/m³; thermal conductivity = 0.68 W/m K.

Pérdidas y ganancias térmicas

Para el cálculo de la demanda y la carga se utiliza el programa CypeCad Mep 2017 g [15] que realiza simulación dinámica en base horaria siguiendo un modelo equivalente de resistencia-capacitancia (R-C).

Conforme al documento DB-HE 1 del Código Técnico de la Edificación vigente en España [7], la demanda energética de calefacción no debe superar el valor límite $D_{cal,lim}$, obtenido mediante la ecuación (1):

$$D_{cal,lim} = D_{cal,base} + F_{cal,sup} / S \quad (1)$$

donde

$D_{cal,base}$ es el valor base de la demanda energética de calefacción, para cada zona climática de invierno correspondiente al edificio, que toma los valores de la tabla 2.1 del DB-HE 1;

$F_{cal,sup}$ es el factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción, que toma los valores de dicha tabla 2.1;

S es la superficie útil de los espacios habitables del edificio, en m².

Como Oviedo pertenece a la zona D1: $D_{cal,base} = 27 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{año})$ y $F_{cal,sup} = 2.000 \text{ kWh}/\text{año}$, según la citada tabla 2.1. Teniendo en cuenta que la superficie útil de la vivienda estudiada es $S = 66,76 \text{ m}^2$, resulta $D_{cal,lim} = 57,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{año})$.

Thermal losses and gains

The calculation of demand and load has been made using the CypeCad Mep 2017 g program [15], which performs dynamic simulation on a time basis following an equivalent resistance-capacitance (R-C) model.

According to the document DB-HE 1 of the Technical Building Code in force in Spain [7], the energy demand for heating must not exceed the limit value $D_{cal,lim}$, obtained by means of equation (1):

$$D_{cal,lim} = D_{cal,base} + F_{cal,sup} / S \quad (1)$$

where

$D_{cal,base}$ is the base value of the heating energy demand, for each winter climatic zone corresponding to the building, which takes the values from table 2.1 of DB-HE 1;

$F_{cal,sup}$ is the correction factor of the heating energy demand to take into account the usable floor space, which takes the values from said table 2.1;

S is the usable floor space of the building, in m².

Taking into account that Oviedo belongs to zone D1: $D_{cal,base} = 27 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{year})$ and $F_{cal,sup} = 2,000 \text{ kWh}/\text{year}$, according to the aforementioned table 2.1. As the useful area of the studied house is $S = 66.76 \text{ m}^2$, then $D_{cal,lim} = 57.0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{year})$.

The composition of the envelope and the orientation

La composición de los cerramientos y la orientación utilizada llevan a una demanda calculada del edificio de 13,29 kWh/(m²·año), que está por debajo de Dcal,lim y es también inferior al valor máximo de 15 kWh/(m²·año) fijado en el estándar Passive House.

Partiendo de los datos del caso considerado, se obtiene el correspondiente balance de energía, que incluye los diversos conceptos de pérdidas y ganancias. Las pérdidas son: las de transmisión a través de las superficies opacas (muro exteriores, cubierta y solera), las de ventilación y las pérdidas por las ventanas. Las ganancias incluyen: las solares, las ganancias interiores y la demanda de calefacción. Estos valores, calculados en el total del edificio y para todo el año, se representan en la Fig.7 para el caso de estudio. Las ganancias solares constituyen los valores máximos teóricos que se podrían conseguir para esa orientación, ya que el edificio en este caso no tiene sombras. Las pérdidas más importantes son a través de las superficies opacas (41%), por ventilación (29%) y a través de las ventanas (13%), resultando muy bajo el porcentaje de otras pérdidas (1%). Las pérdidas de ventilación se reducen debido a la instalación de un circuito cerrado de aire de ventilación, con un intercambiador de calor del 82% de rendimiento. Las ganancias solares representan el 28%, las ganancias internas el 43% y las demanda de calefacción el 13% del total. Las contribuciones de las ganancias solares y de las ganancias internas a las ganancias totales son muy importantes, ya que el edificio está fuertemente aislado.

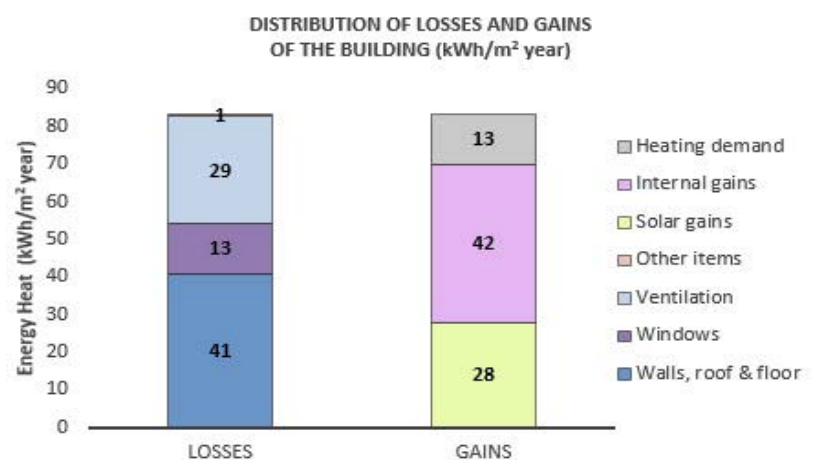
Ciclo de vida

En el cálculo de la energía incorporada se consideran las etapas de fabricación de componentes (A1+A2+A2) y las etapas de construcción del edificio, compuestas éstas últimas por el transporte de materiales a fábrica (A4) y el proceso de construcción (A5). Para la obtención de la energía primaria incorporada y las emisiones de CO₂ equivalente se ha utilizado la base de datos "Arquimedes" de CypeCad. Para la fabricación de los paneles de hormigón aligerado, se han utilizado datos aproximados disponibles de losa maciza de hormigón armado, horizontal, canto de 14 cm y 8 cm, realizada con hormigón HA-25/B/20/1ia, fabricado con superficie encofrante de tableros de madera. El transporte se supone que se ha realizado con camiones con motor diésel y el recorrido se ha efectuado a nivel regional. Se considera que todos los productos que componen el edificio y sus envases se transportan desde la fábrica hasta la entrada de la obra. Las distancias de transporte consideradas no tienen en cuenta que en la construcción industrializada los materiales no se transportan directamente a la obra, sino que se llevan primero a la fábrica de módulos y luego van desde allí hasta el lugar donde se ubicará el edificio.

La Fig. 8 muestra los resultados de energía incorporada y emisiones de CO₂ equivalente para las

of the building lead to a calculated energy demand of 13.29 kWh/(m²·year), which is below Dcal,lim and is also lower than the maximum value of 15 kWh/(m²·year) fixed in the Passive House standard.

Based on the data of the case considered, the corresponding energy balance is obtained, which includes all concepts regarding losses and gains. The losses are: those of transmission through the opaque surfaces (exterior walls, roof and foundation), ventilation and losses through windows. Gains include: solar, inner gains and heating demand. These values, calculated in the total of the building and for the whole year, are shown in Fig. 7 for the case study. Solar gains are the theoretical maximum values that could be obtained for this orientation, since the building of this case has no shadows. Most important losses are by transmission through the opaque surfaces (41%), by ventilation (29%) and through windows (13%), other losses representing only a very low percentage (1%). The ventilation losses are reduced due to the installation of a closed circuit of ventilation air, with a heat exchanger of 82% of efficiency. Solar gains represent 28%, inner gains 43% and heating demand 13% of total. Contributions from solar gains and inner gains to the total gains are very important, because the building is heavily insulated.



Life cycle

The calculation of the embodied energy considers the stages of component manufacturing (A1 + A2 + A2) and the stages of the building construction, the latter consisting of the transport of materials to the factory (A4) and the construction process (A5). To obtain the embodied primary energy and the equivalent of CO₂ emissions, the "Archimedes" database of CypeCad has been used. Data relating to the manufacture of lightweight concrete panels are approximate, since they come from the information available on solid horizontal slab of 14 cm and 8 cm of edge, made of reinforced concrete HA-25/B/20/1ia, manufactured with shuttering of wooden boards. The transport is supposed to have been done with diesel-engine trucks and the route has been carried out at a regional level. All products to be integrated

Fig. 7.

Distribución de pérdidas y ganancias térmicas (Elaboración propia; 2018). Thermal losses and gains distribution (Own elaboration; 2018).

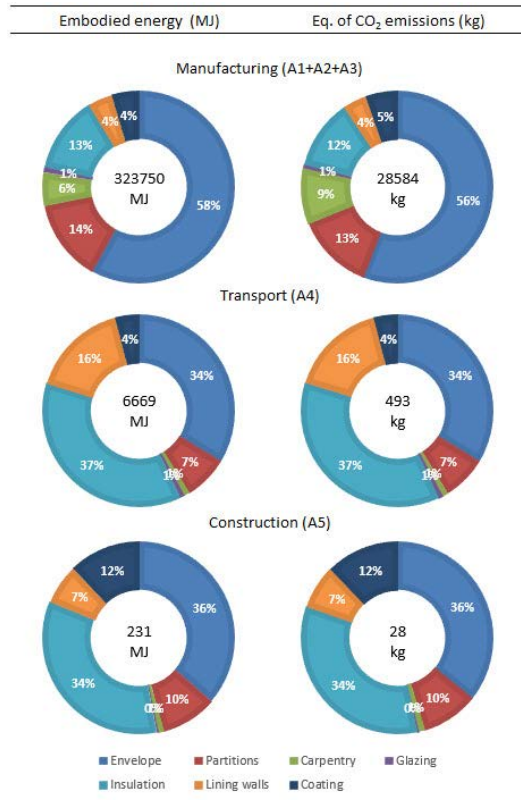


Fig. 8. Construcción del edificio: energía incorporada y emisiones de CO₂ equivalente en las etapas de fabricación, transporte y construcción (Elaboración propia; 2018). Building construction: embodied energy and equivalent of CO₂ emissions along the manufacturing, transport and construction stages (Own elaboration; 2018).

etapas de fabricación de elementos, transporte de los mismos y construcción del edificio. En el centro de los diagramas circulares se presenta el valor total; la distribución de porcentajes corresponde a las proporciones en las que intervienen los diferentes componentes del edificio: cerramientos, particiones interiores, aislamientos, carpinterías, vidrios, revestimientos y trasdosados (compuestos éstos por 4,5 cm de lana mineral y 1,5 cm de placa de yeso laminado, y alojando las conducciones y cables de las instalaciones). Se aprecia que la etapa que tiene mayor importancia es la de fabricación, ya que representa el 97,9% de la energía incorporada y el 98,2% de las emisiones.

En la fabricación de elementos, los cerramientos de hormigón aligerado (de 14 cm de espesor) son los que más energía incorporada y emisiones producen, pues suponen el 58 y el 55% respectivamente; las particiones interiores, que son también de hormigón aligerado (de 8 cm de espesor) contribuyen con un 14 y un 13% respectivamente. Sumando estos porcentajes, que se relacionan con el mismo material, resulta un 72 y un 68% respectivamente. La suma de los aislamientos y los trasdosados representan, tanto en energía incorporada como en emisiones, el mismo porcentaje: un 17%. A la suma de carpinterías y vidrios les corresponde el 7 y el 10% en energía incorporada y en emisiones. Por último, los revestimientos representan el 4 y el 5%.

En las etapas de transporte y construcción, el porcentaje que representa el aislamiento cobra más importancia: 37% en energía incorporada y 38% en

in the building, as well as their containers, are supposed to be transported from the factory to the building site. The transport distances considered do not take into account that in the industrialized construction the materials are not transported directly to the construction site, but they are taken first to the module factory and then are sent from there to the place where the building will be located.

Fig. 8 shows the results of embodied energy and equivalent of CO₂ emissions for the stages of component manufacturing, their transport to site and the building construction. The total value is presented in the centre of the circular diagrams; the distribution of percentages corresponds to the proportions in which the different components of the building intervene: envelope, partitions, carpentry, glazing, coating and lining walls (the latter composed by 4.5 cm of mineral wool and 1.5 cm of gypsum plasterboards, and housing the pipes and cables of the facilities). It is appreciated that manufacturing is the stage having greater importance, since it represents 97.9% of the embodied energy and 98.2% of the CO₂ emissions.

In the manufacture of elements, those incorporating more energy and emissions correspond to the lightweight concrete envelope (14 cm thick), as they represent 58 and 55% respectively; the partitions, which are also lightweight concrete (8 cm thick) contribute 14 and 13% respectively. Adding these percentages, which are related to the same material, results in 72 and 68% respectively. The sum of the insulation and the lining walls represent, both in embodied energy and in emissions, the same percentage: 17%. The sum of carpentry and glazing corresponds to 7 and 10% in embodied energy and emissions. Finally, the coating represent 4 and 5%.

In the transport and construction stages, the percentage represented by the insulation is more important: 37% in embodied energy and 38% in emissions, in both cases.

Accepting a building life of 50 years and referring the results of embodied primary energy and emissions to the useful surface of the house, the values shown in Table 2 are obtained. These values will be compared with those that will be calculated in the stage of use of the building.

Regarding the operational energy (B6), the primary energy and the equivalent of CO₂ emissions have been calculated. The calculation is based on the heating demand obtained for the building, since in Asturias the cooling demand is not important and its consideration is not required. The calculation of the primary energy and the equivalent of CO₂ emissions associated to the building life requires the definition of the heating system and the system for production of sanitary hot water (SHW). Table 3 shows a summary of the demand for heating and for sanitary

	Energía Primaria (kWh/m ² año)	Emisiones CO ₂ eq. (kg/m ² año)
Fabricación	26,91	8,48
Transporte	0,55	0,15
Construcción	0,02	0,01
Total	27,48	8,63

Demanda ACS	51,00 kWh/m ² año
Demanda calefacción	13,29 kWh/m ² año
Total	64,29 kWh/m² año
COP	2,40
Rendimiento	0,94
Factores paso	
Elect. Peninsular	
EPNR	1,95 kWh _{EPNR} /kWh _{EF}
CO ₂	0,33 kg/kWh _{EF}
Gas Natural	
EPNR	1,19 kWh _{EPNR} /kWh _{EF}
CO ₂	0,25 kg/kWh _{EF}

emisiones, en ambos casos.

Aceptando una vida del edificio de 50 años y refiriendo los resultados de energía primaria incorporada y de emisiones a la superficie útil de la vivienda, se obtienen los valores que figuran en la Tabla 2. Estos valores se compararán con los que se calcularán en la etapa de uso del edificio.

En cuanto a la energía operacional (B6), se han calculado la energía primaria y las emisiones de CO₂ equivalente. El cálculo se apoya en la demanda de calefacción obtenida para el edificio, ya que en Asturias la demanda de refrigeración no es importante y no se requiere su consideración. El cálculo de la energía primaria y de las emisiones de CO₂ equivalente que se producen en la vida el edificio necesita la definición del sistema de calefacción y de producción de agua caliente sanitaria (ACS). La Tabla 3 muestra un resumen con la demanda de calefacción y agua caliente sanitaria que se consideran y también los parámetros de rendimiento de la caldera de gas y la bomba de calor de aire (COP). También se muestran los factores de paso/conversión prescritos por el IDAE [16].

La Tabla 4 muestra los resultados de la demanda anual de energía primaria y de las emisiones de CO₂ equivalente para los dos sistemas considerados (se han aplicado los rendimientos de cada sistema y los factores de paso). El sistema de bomba de calor consume menos energía primaria y produce menos emisiones de CO₂ equivalente: 41,52 frente a 64,56 kWh/(m²·año) y 7,03 frente a 13,67 kg/(m²·año), respectivamente.

Comparación entre uso y fabricación más construcción

La Tabla 5 representa la importancia relativa de las

hot water that are considered, as well as the performance parameters of the gas boiler and the air heat pump (COP). The conversion ratios prescribed by the IDAE [16] are also shown.

Table 4 shows the results of the annual primary energy demand and the equivalent of CO₂ emissions for the two systems considered (the thermal performance of each system and the energy and emissions ratios have been applied). The heat pump system consumes less primary energy and produces less equivalent of CO₂ emissions: 41.52 versus 64.56 kWh/(m²·year) and 7.03 versus 13.67 kg/(m²·year), respectively.

	Bomba de calor		Caldera gas	
	Energía Primaria (kWh/m ² año)	Emisiones CO ₂ eq. (kg/m ² año)	Energía Primaria (kWh/m ² año)	Emisiones CO ₂ eq. (kg/m ² año)
Calefacción	10,82	1,83	16,82	3,56
ACS	41,52	7,03	64,56	13,67
Total	52,34	8,87	81,39	17,24

Comparison between use and manufacturing plus construction

Table 5 shows the relative importance of the stages of manufacturing plus construction with respect to the use stage, for the two thermal systems and considering whether or not the sanitary hot water (SHW) service is included. When the SHW is included, the use represents 65.54 and 50.67% of primary energy and emissions, respectively, for the heat pump system. These percentages are 74.73 and 66.77%, respectively, for the gas boiler system. If the SHW is not included, the primary energy and emissions are only used to produce the building and keep it at a comfortable temperature of 20°C during its 50-year

Tabla 2.

Energía primaria incorporada y emisiones de CO₂ equivalente por metro cuadrado de superficie útil y por año (Elaboración propia; 2018). Embodied primary energy and eq. of CO₂ emissions per square meter of usable area and per year (Own elaboration; 2018).

Tabla 3.

Demanda, rendimientos y factores de paso (Elaboración propia; 2018). Demand, thermal performance and energy and emissions ratios (Own elaboration; 2018).

Tabla 4.

Comparación de la demanda anual para uso de bomba de calor o caldera de gas (Elaboración propia; 2018). Comparison of the annual demand for the use of heat pump or gas boiler (Own elaboration; 2018).

Tabla 5.

Porcentaje de energía primaria y emisiones comparando el uso con la fabricación más la construcción (Elaboración propia; 2018).
Percentage of primary energy and emissions comparing use with manufacturing plus construction (Own elaboration; 2018).

	Bomba de calor		Caldera gas	
	Energía Primaria (%)	Emisiones CO ₂ eq. (%)	Energía Primaria (%)	Emisiones CO ₂ eq. (%)
CON ACS				
Uso	65,57	50,67	74,76	66,63
Fabricación + Construcción	34,43	49,33	25,24	33,37
SIN ACS				
Uso	28,25	17,51	37,97	29,21
Fabricación + Construcción	71,75	82,49	62,03	70,79

etapas de fabricación más construcción respecto a la etapa de uso, para los dos sistemas térmicos y considerando incluido o no el servicio de agua caliente sanitaria. Cuando se incluye el ACS, el uso representa el 65,54 y el 50,67% de energía primaria y emisiones, respectivamente, cuando se usa bomba de calor. Estos porcentajes son del 74,73 y el 66,77% respectivamente, cuando se utiliza caldera de gas. Si no se incluye el ACS, la energía primaria y las emisiones se destinan solamente a producir el edificio y mantenerlo a temperatura de confort de 20°C durante su vida de 50 años. En este caso, el uso representa menor valor que la fabricación más la construcción; en concreto, el 28,25 y el 17,51% de la energía primaria y las emisiones, respectivamente, cuando se usa bomba de calor. Estos porcentajes son del 37,97 y 29,21% cuando se emplea caldera de gas.

5. Conclusiones

Las principales conclusiones obtenidas son:

1. La renta media en Asturias está entre 25.000 y 30.000 € y el crecimiento anual del número de viviendas es menor del 0,1%.
2. En cuanto a las formas de convivencia, la más común, que afecta al 60% de la población general, es la de pareja con o sin hijos, siendo 3 personas el número más frecuente de miembros por hogar.
3. La construcción industrializada tiene como ventajas más importantes un precio más bajo y un menor tiempo de espera.
4. La demanda de calefacción para el caso estudiado, una vivienda tradicional de una planta (de unos 67 m² de superficie útil), con recuperador de calor de aire, es del orden de 13 kWh/(m²•año).
5. La fabricación de los cerramientos exteriores y las particiones interiores (paneles de hormigón aligerado) es la etapa que mayor importancia tiene, tanto en energía primaria incorporada (72%), como en emisiones de CO₂ equivalente (68%). En la etapa de construcción cobra importancia el aislamiento: el 37% de la energía primaria incorporada y también el 37% de las emisiones de CO₂ equivalente.
6. La energía operacional y las emisiones del edifi-

life, what leads to lower values for the use stage than for the stages of manufacturing plus construction; in particular, 28.25 and 17.51% of primary energy and emissions, respectively, for the heat pump system, and 37.97 and 29.21% for the gas boiler system.

5. Conclusions

The main conclusions obtained are:

1. The average income in Asturias ranges between € 25,000 and € 30,000 and the annual growth in the number of households is less than 0.1%.
2. Regarding the forms of cohabitation, the most common, which affects 60% of the general population, is that of a couple with or without children, being 3 persons the most frequent number of members per household.
3. Industrialized construction has as its most important advantages a lower price and a shorter waiting time.
4. The heating demand for the case study, a traditional one-storey house (about 67 m² of floor space), with air heat recovery, is around 13 kWh/(m²•year).
5. Manufacturing of exterior enclosures and interior partitions (lightened concrete panels) is the stage that has greater importance, both in embodied primary energy (72%) and in equivalent of CO₂ emissions (68%). In the construction stage, insulation becomes important: 37% of the embodied primary energy and also 37% of the equivalent of CO₂ emissions.
6. The operational energy and emissions of the building have been studied using two types of heating systems: heat pump and gas boiler (in both cases, including or not the consumption of sanitary hot water). These values have been compared in the stages of manufacturing of elements and construction of the building, considering 50 years as building lifespan and 1 m² of useful floor space. The relative importance of the use stage with respect to the stage of manufacturing plus construction depends to a great extent on the consideration or not of SHW in the computation. At the use stage, for the heat pump sys-

cio se han estudiado utilizando bomba de calor y caldera de gas, incluyendo o no el consumo de agua caliente sanitaria. Estos valores se han comparado en las etapas de fabricación de elementos y de construcción del edificio, con referencia a 50 años de vida del edificio y unidad de superficie útil del mismo. La importancia relativa de la etapa de uso respecto a la de fabricación más construcción depende en gran medida de la consideración o no de ACS en el cómputo. Para la bomba de calor, el uso pasa del 65,54% al 28,22% en energía primaria y del 50,67% al 17,51% en emisiones. Si se usa caldera de gas, estos valores se incrementan y pasan a ser 74,73% y 37,97% en energía primaria y 66,63% y 29,21% en emisiones, respectivamente.

tem, primary energy is reduced from 65.54% to 28.22% and emissions are lowered from 50.67% to 17.51%. If a gas boiler is used, primary energy is decreased from 74.73% to 37.97% and emissions are cut down from 66.63% to 29.21%.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Comisión Europea; Dirección General de la Energía; Sección "Temas-Eficiencia Energética-Edificios". <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>
- [2] Comisión Europea; Directiva 2002/91/EC; "Eficiencia energética de los edificios"; Diario Oficial de las Comunidades Europeas; 2003.
- [3] Comisión Europea; Directiva 2010/31/UE; "Eficiencia energética de los edificios (refundición)"; Diario Oficial de la Unión Europea; 2010.
- [4] Comisión Europea; Directiva 2012/27/UE; "Eficiencia energética (modificando las Directivas 2009/125/EC y 2010/30/EU y derogando las Directivas 2004/8/EC y 2006/32/EC)"; Diario Oficial de la Unión Europea; 2012.
- [5] Ministerio de Industria (Gobierno de España); Real Decreto 314/2006; "Código Técnico de la Edificación CTE. Documento Básico de Ahorro de Energía DB-HE"; Boletín Oficial del Estado Nº 74; 2006; <http://www.codigotecnico.org>.
- [6] Ministerio de Vivienda (Gobierno de España); Orden VIV/984/2009; "Modificación de determinados documentos básicos del Código Técnico de la Edificación aprobados por el Real Decreto 314/2006 y el Real Decreto 1371/2007"; Boletín Oficial del Estado Nº 99; 2009.
- [7] Ministerio de Fomento (Gobierno de España); Orden FOM/1635/2013; "Actualización del Documento Básico DB-HE, Ahorro de Energía, del Código Técnico de la Edificación"; Boletín Oficial del Estado Nº 219; 2013; <http://www.codigotecnico.org>
- [8] Ministerio de Fomento (Gobierno de España); Orden FOM/588/2017; "Modificación del Documento Básico DB-HE, Ahorro de energía, y el Documento Básico DB-HS, Salubridad, del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006"; Boletín Oficial del Estado Nº 149; 2017; <http://www.codigotecnico.org>
- [9] AENOR (Asociación Española de Normalización); Norma UNE-EN 15804:2012+A1:2014; "Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción"; Servicio de Publicaciones de AENOR; 2012 y anexo A1 de 2014.
- [10] AENOR (Asociación Española de Normalización); Norma UNE-EN 15978:2012; "Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo"; Servicio de Publicaciones de AENOR; 2012.
- [11] AENOR (Asociación Española de Normalización); Norma UNE-EN 16309+A1:2015; "Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento social de los edificios. Métodos de cálculo"; Servicio de Publicaciones de AENOR; 2015.
- [12] AENOR (Asociación Española de Normalización); Norma UNE-EN 16627:2016; "Sostenibilidad en las obras de construcción. Evaluación del comportamiento económico de los edificios. Métodos de cálculo"; Servicio de Publicaciones de AENOR; 2016.
- [13] Instituto Nacional de Estadística; "España en cifras 2017"; 2017; http://www.ine.es/prodyser/espa_cifras/2017/index.html#1
- [14] CLIMATE-DATA.ORG; "Datos Climáticos Mundiales: Datos de Oviedo"; 2018; <https://es.climate-data.org>
- [15] CYPE Ingenieros; "CypeCad Mep; versión 2017 g"; España; 2017; <http://instalaciones.cype.es/>
- [16] IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía) - Ministerio de Industria Energía y Turismo (Gobierno de España); "Factores de conversión del IDAE"; 2016.

Propuesta de una metodología basada en el análisis multicriterio para valorar el desempeño sostenible de diferentes tipos de cubiertas planas

Proposal of a multicriteria decision analysis methodology to assess the sustainable performance of different flat roof types

Salvador Guzmán-Sánchez¹, Daniel Jato-Espino^{2*}, Ignacio Lombillo³

ABSTRACT

Las cubiertas de los edificios cobijan una gran proporción de las áreas urbanas; debido a ello, en un contexto de creciente urbanización y/o rehabilitación de zonas consolidadas, sumado al cambio climático, deben ser consideradas como un nicho para desarrollar soluciones constructivas sostenibles. La elección de un determinado diseño de cubierta influye directamente en la sostenibilidad de las ciudades, ya que provocará diversos impactos económicos, ambientales y sociales. El estudio realizado tiene como objetivo proponer un índice cuantitativo que represente la contribución a la sostenibilidad de diferentes diseños de cubierta plana bajo distintos escenarios climáticos, con la intención de contribuir a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU para el año 2030. Para ello, el análisis se sustenta en un modelo multicriterio para medir la sostenibilidad de las diferentes alternativas en base a una lista de indicadores de tipo energético, hidrológico, económico, estructural, social y medioambiental.

El análisis multicriterio empleado se basa en una combinación de los métodos AHP (Analytic Hierarchy Process) y TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution). El primero sirve para ponderar los pesos de cada indicador en el modelo multicriterio, y el segundo para cuantificar la sostenibilidad en base al valor del indicador y a su peso determinado anteriormente. El análisis se ha realizado considerando tres escenarios climáticos distintos (Mediterráneo, Oceánico y Continental), que consisten en los dominios más representativos de la península ibérica, y estudiando cuatro secciones de cubierta: autoprotegida, con acabado en grava, con acabado en placa flotante y ajardinada. Esta selección se ha realizado con el propósito de cubrir las tipologías de cubierta plana de uso más extendido actualmente. Cabe destacar que para justificar el estudio, se ha contado con la colaboración de un grupo de expertos en Edificación que, a partir de una serie de encuestas, han valorado la importancia de los indicadores, permitiendo la cuantificación de los pesos de los mismos. También se han aprovechado las aportaciones de los expertos para depurar y filtrar la lista de indicadores inicialmente propuesta, con el propósito de que ésta sea de mayor calidad.

Los resultados de la investigación muestran que las cubiertas ajardinadas son la alternativa más sostenible en los tres escenarios climáticos evaluados. Esto es debido principalmente a los beneficios exclusivos de estas cubiertas, que incluyen mejor aislamiento térmico, menor coste del ciclo de vida, mayor uso de materiales reciclados, mayor retención de agua de escorrentía y mayores aportes ecosistémicos. Por lo tanto, este tipo de cubierta se postula como una solución multifuncional para ser firmemente considerada en el planeamiento urbano y en el diseño de estrategias para la regeneración urbana mediante infraestructura verde. No obstante, se justifica que todavía existe un margen apreciable de mejora en su desempeño sostenible, que tendría que ser objeto de estudio en investigaciones futuras.

Key Words: Escenarios climáticos, Opinión de expertos, Análisis multicriterio, Cubiertas planas, Sostenibilidad.

(1) Universidad de Cantabria, ETS de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, 39005 Santander, España (2) Corresponding author. Grupo de investigación GITECO, Universidad de Cantabria, ETS de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, 39005 Santander, España, +34 942203943, jatod@unican.es. (3) Dept. de Ingeniería Estructural y Mecánica, Universidad de Cantabria, ETS de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, 39005 Santander, España

1. Introducción

Hoy en día se estima que aproximadamente un 50% de la población mundial vive en zonas urbanas y ciudades (Banco Mundial, 2018). Las ciudades, como aglomeraciones de espacios de trabajo, vivienda, instalaciones y servicios, así como dinamizadoras de la economía global, son necesarias para el desarrollo humano. Sin embargo, los patrones de consumo actual y la creciente urbanización provocan una gran alteración medioambiental y climática, a nivel local y global.

Las cubiertas de los edificios, al suponer una gran superficie dentro de las ciudades, son un nicho para desarrollar soluciones constructivas sostenibles, ya que influyen en los fenómenos relacionados con las alteraciones de temperatura, el agua o la calidad del aire en las ciudades. Por lo tanto, el adecuado diseño de estos elementos constructivos puede contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU para el 2030.

En línea con lo anterior, se han realizado algunas investigaciones dedicadas a valorar la selección de cubiertas en base a múltiples criterios, como pueden ser ahorros energéticos, coste de ciclo de vida o desempeño medioambiental (Liu, 2004; Canto-Perello, et al., 2015; Gagliano, et al., 2015; Collier, et al., 2013). Sin embargo, en la revisión de estudios precedentes, se ha detectado un vacío en lo que respecta a selección de cubiertas en base a criterios de sostenibilidad.

Así, la investigación realizada tiene por objetivo evaluar la sostenibilidad de diferentes diseños de cubierta plana en base a una lista de indicadores relacionados con la sostenibilidad social, económica y ambiental, bajo tres escenarios climáticos distintos. Para ello, se desarrolla un modelo multicriterio ideado expresamente para realizar este estudio; sin embargo, dicha metodología puede adaptarse con facilidad a otros elementos constructivos, de manera que se convierte en una solución práctica para evaluar la sostenibilidad de los elementos constructivos en edificación, y poder así implementar estrategias de desarrollo urbano alineadas con los ODS para el 2030.

2. Metodología

El enfoque conceptual del flujo de trabajo desarrollado se muestra en la Figura 1. Consiste en establecer unos indicadores de tipo social, económico y ambiental para evaluar la sostenibilidad de cuatro secciones de cubierta plana, bajo diferentes escenarios climáticos. Para ello, se utiliza un análisis multicriterio (MCDA), y en base a los pesos de los indicadores, obtenidos con la colaboración de un panel de expertos en la materia, se halla el índice que refleja la sostenibilidad de cada alternativa.

1. Introduction

Nowadays, almost 50% of world population live in urban areas. Cities are needed for human development, since they provide a combination of workspaces, housing, facilities and services, while promoting global economy. However, global consumption habits and growing urbanization cause important environmental alterations at local and global scales.

Roofs cover a high proportion of urban areas and have a remarkable influence on different phenomena related to temperature increasing or water and air quality. Hence, the design of these elements could provide the opportunity to develop sustainable roofing alternatives. Therefore, the proper design of these constructive elements could contribute to the achievement of the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) for 2030.

In line with these considerations, several studies have been undertaken to evaluate the selection of roofs based on different criteria, such as energy efficiency, life cycle cost or environmental performance (Liu, 2004; Canto-Perello, et al., 2015; Gagliano, et al., 2015; Collier, et al., 2013). Nevertheless, the revision of previous investigations revealed a gap in the development of methodologies for roofing selection according to sustainable criteria.

Therefore, this study aimed at assessing the sustainability of different flat roof designs across a refined list of indicators related to sustainability under three different climate scenarios. For that purpose, a Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) method was specifically developed for this research. Even so, this methodology can be implemented easily to other constructive elements, so that it can be considered as a practical solution to evaluate the sustainability of buildings and support the adoption of urban planning strategies aligned with the SDGs.

2. Methodology

A conceptual representation of the workflow developed in the study is shown in Figure 1. The approach taken consisted of establishing indicators related to economic, environmental, and social aspects, in order to evaluate the sustainability of four flat roof types under different climate scenarios. The use of the proposed MCDA method enabled assessing the performance of these roofs and ranking them across a list of indicators refined based on the collaboration of a panel of experts in the building sector.

2.1 Climate scenarios

The climate scenarios analysed in the research corresponded to the three main climate zones in the Iberian Peninsula: Mediterranean, Oceanic and Continental. Each climatic zone was associated with a reference city to obtain the different climate para-

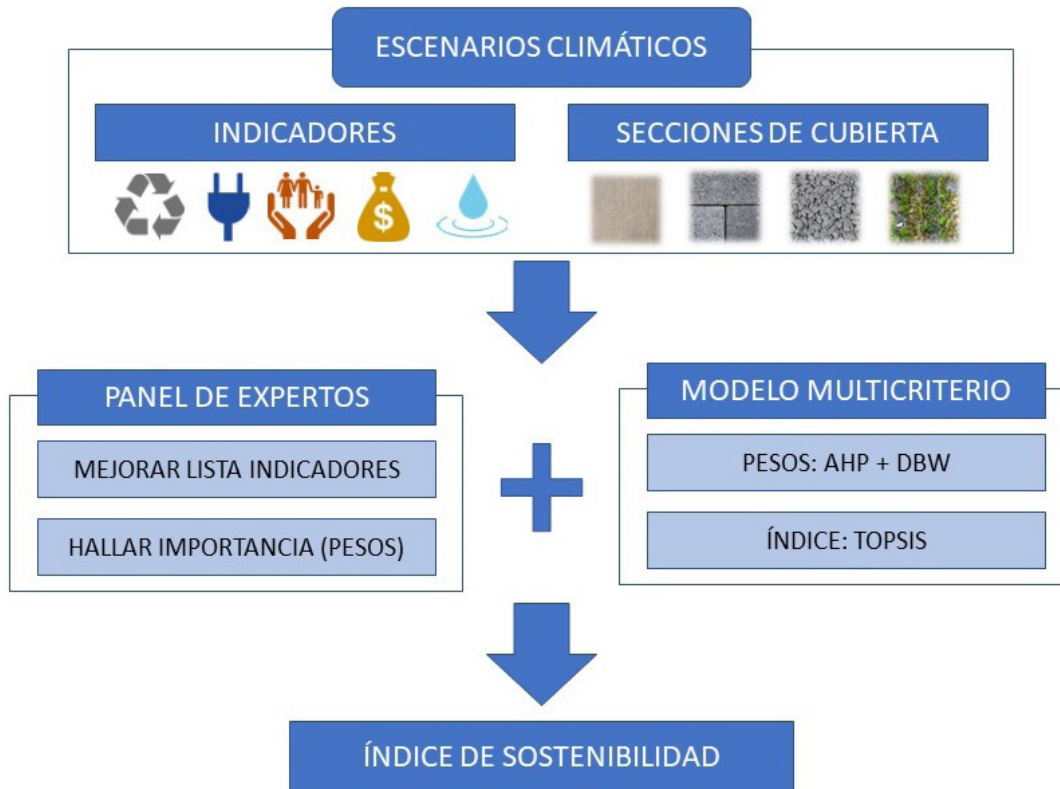


Fig. 1. Flujo de trabajo en el estudio. Workflow of the research.

2.1 Escenarios climáticos

Los escenarios climáticos analizados en el estudio coinciden con los tres dominios climáticos principales de la península ibérica: mediterráneo, oceánico y continental. Para cada zona climática se ha considerado una ciudad de referencia con el objetivo de obtener los parámetros climáticos necesarios.

El clima oceánico es propio del norte peninsular. Se caracteriza por una gran pluviosidad, con distribución regular a lo largo del año y temperaturas medias suaves con diferencias entre la costa y el interior, siendo más suaves y con menor amplitud en la costa y al contrario en el interior. La ciudad de referencia adoptada es Santander.

El clima continental es propio de las zonas interiores de la península. Se caracteriza por una pluviosidad escasa y temperaturas que aumentan de norte a sur y tienen unas amplitudes muy grandes, principalmente debido al aislamiento de la influencia del mar. La ciudad de referencia considerada es Madrid.

El clima mediterráneo es propio de la costa mediterránea y la suratlántica peninsular. Se caracteriza por una pluviosidad de escasa a moderada y unas amplitudes térmicas medias con veranos calurosos e inviernos muy suaves. La ciudad de referencia es Valencia.

2.2 Descripción de los tipos de cubierta

En el estudio se analizan cuatro secciones de cubier-

metros required.

The Oceanic climate is typical in the north of Spain, consisting of high levels of precipitation regularly distributed throughout the year and mild ranges of temperature, with differences between coastal and interior areas. The representative city for this climate was Santander.

The interior regions in Spain belong to a Continental climate. It is characterised by low levels of rainfall and temperatures with large thermal amplitudes, increasing from north to south favoured by the insolation of these areas from the sea. The representative city for this climate was Madrid.

The Mediterranean climate is typical in the Mediterranean and south-Atlantic coast of Spain. Its pluviosity ranges from scarce to moderate and medium thermal amplitudes, with hot summers and mild winters. The representative city for this climate was Valencia.

2.2 Description of flat roof types

Four alternatives were designed to represent the most widely used types of flat roofs: self-protected, gravel finishing, floating flooring and green (Broto, 2011; Sánchez-Ostiz, 2007). The materials of the layers were chosen to maximize their contribution to sustainability, including recycled, light, economic or high Albedo materials. Some of these layers were common for all the roofs, such as cellular concrete for sloped creed, thermal insulation of extruded po-

ta plana de uso muy habitual: invertida con capa de protección de grava, autoprotegida, invertida de placas flotantes e invertida ajardinada extensiva (Broto, 2011; Sánchez-Ostiz, 2007).

Los materiales de las distintas capas se han seleccionado de manera que se maximice su contribución a la sostenibilidad, disponiendo materiales reciclados, más ligeros y económicos o con mayor reflectancia en capas de protección. Hay algunas capas comunes entre ellas, como la formación de pendientes, el aislamiento térmico de poliestireno extruido o la capa de impermeabilización de PVC. El resto de las capas, específicas de cada tipo de cubierta, se definen a continuación:

- Cubierta plana invertida, no transitable, no ventilada, con capa de protección de grava (Figura 3a): consta de una capa de protección de grava por encima del aislamiento y de la impermeabilización.
- Cubierta plana no transitable, no ventilada, autoprotegida (Figura 3b): la impermeabilización está en la capa exterior, sobre el aislamiento térmico y la barrera de vapor.
- Cubierta plana invertida, transitable, ventilada, con placas flotantes (Figura 3c): la capa de protección es un pavimento flotante de hormigón sostenido por plots de plástico, regulables en altura, situados sobre una capa de mortero de reparto que está sobre el aislamiento.
- Cubierta plana invertida, transitable, ajardinada extensiva (Figura 3d): tiene un espesor de sustrato de 10 centímetros que soporta vegetación menor. La capa separadora, la capa drenante y la barrera antirraíz se sitúan por encima del aislamiento.

lystyrene or waterproofing membrane of PVC. The remaining layers are defined as follows:

- Gravel finishing roof (Figure 3a): it has a protection layer made of aggregates above the thermal insulation and the waterproofing membrane.
- Self-protected roof (Figure 3b): the top layer is a waterproofing membrane located above the thermal insulation and vapour barrier.
- Floating flooring roof (Figure 3c): the protection layer consists of a set of concrete floor tiles placed on a series of plots adjustable in height and is situated above a mortar bed over the thermal insulation.
- Green roof (Figure 3d): the protection layer is a 10 cm growing substrate that supports minor vegetation. Separation, drainage and root barrier layers are placed above the thermal insulation.

2.3 Initial list of indicators

A list of indicators related to social, environmental and economic sustainability were developed in the research in order to assess the sustainability of different flat roof types according to the principles included in the SDGs (Naciones Unidas, 2016). Table 1 shows the first list of indicators before the refinement process.

The indicators can be arranged in different groups according to their field of application. Hence, the Water group included indicators related to benefits of roofs in terms of runoff quantity and quality management: Runoff attenuation (I6), Water purification (I7) and Reduction of runoff temperature (I8).

The Energy efficiency group contained indicators providing an improvement in the performance in the

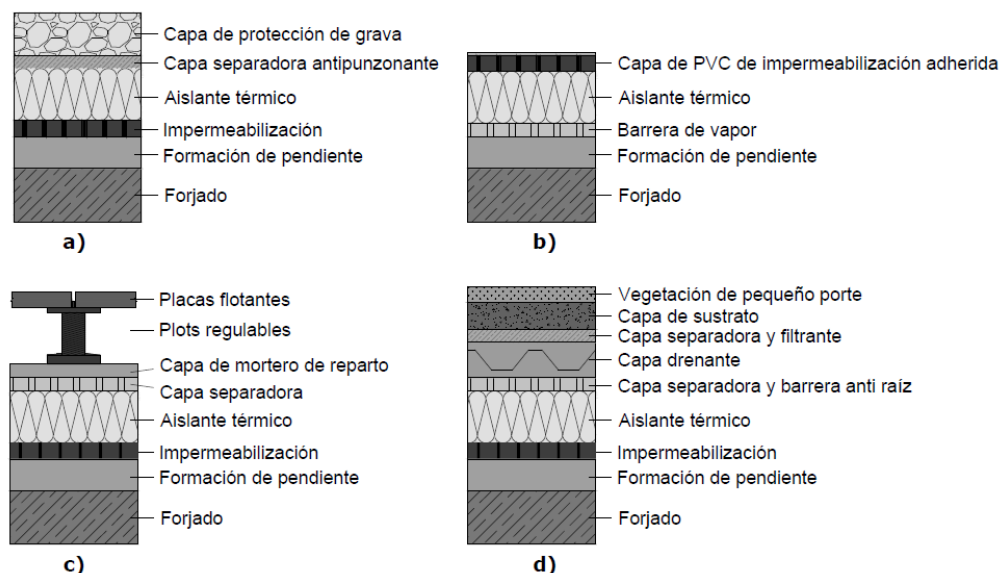


Fig. 2. Secciones de cubiertas analizadas. a) Acabado de grava b) Autoprotegida c) Acabado de placas flotantes d) Ajardinada. Cross-sections of the proposed flat roofs. a) Gravel finishing roof b) Self-protected roof c) Floating flooring roof d) Green roof.

	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA
1	Coefficiente Albedo	Tanto por uno
2	Producción de energía solar	%
3	Sumidero de Carbono	g C/m ²
4	CO ₂ embebido	kg CO ₂ eq./m ²
5	Energía embebida	MJ/m ²
6	Reducción de caudal de escorrentía	%
7	Filtro de contaminantes	Tanto por uno
8	Reducción de temperatura escorrentía	Reducción de temperatura en °C
9	Biodiversidad	Sí/No
10	Productividad agrícola	Sí/No
11	Materiales reciclados	%
12	Aislamiento térmico	cm
13	Aislamiento acústico a ruido aéreo	T/m ³
14	Coste de ciclo de vida	€/m ²
15	Percepción estética	Tanto por uno
16	Carga permanente	KN/m ²
17	Protección de cubierta	±°C

Tabla 1.
Lista inicial de indicadores.
Initial list of indicators.

2.3 Lista inicial de indicadores

En este estudio se ha confeccionado una lista de indicadores relacionados con la sostenibilidad en sus aspectos ambiental, económico y social, para satisfacer los ODS (Naciones Unidas, 2016). En la Tabla 1 se exponen los indicadores inicialmente propuestos, antes del proceso de optimización.

Los indicadores estudiados pueden agruparse según su temática. Así, en el grupo de Agua están aquellos que representan beneficios para la gestión de la escorrentía del agua de lluvia en cantidad y calidad: Reducción de caudal de escorrentía (I6), Filtro de contaminantes (I7) y Reducción de temperatura de escorrentía (I8).

Dentro del grupo de Eficiencia energética, se agrupan los indicadores relacionados con una optimización de la cubierta en los aspectos relacionados con el consumo energético, que incluyen Coeficiente albedo (I1), Producción de energía solar (I2) y Aislamiento térmico (I12).

En el grupo de Calidad de vida, se incluyen aquellos indicadores que representan beneficios sociales que mejoran el bienestar humano: Biodiversidad (I9), Productividad agrícola (I10), Aislamiento acústico a ruido aéreo (I13) y Percepción estética (I15).

Los indicadores del grupo de Medio ambiente son aquellos relacionados directamente con el impacto ambiental que pueda tener la construcción de la cubierta, como Sumidero de carbono (I3), Carbono y Energía embebidos (I4 y I5) y Materiales reciclados (I11).

Finalmente, en el grupo de Aprovechamiento de recursos se encajan los indicadores que tienen un

energy consumption due to the roof type, including Albedo coefficient (I1), Solar power (I2) and Thermal insulation (I12).

The Quality of life group was formed of all those indicators representing benefits for human well-being, such as Biodiversity (I9), Agricultural productivity (I10), Noise control (I13) and Aesthetics (I15).

The Environment group concerned the indicators directly related to environmental impacts of the roof building, such as Carbon sequestration (I3), embodied Carbon and Energy (I4 and I5), and Recycled materials (I11).

Finally, in the group of Use of resources there were indicators with an economic and life-span impact on the roof: Life cycle cost (construction, maintenance and demolition) (I14), Dead load (I16) and Roof protection (I17).

These indicators were evaluated through a series of surveys by an international group of experts. They had to appraise the importance of the indicators, with the aim of weighting them in the subsequent MCDA considering all the roof and climate types. Some indicators were quantified through analytic methods, whilst others were defined according to values found in the existing literature (Getter & Rowe, 2006; Berndtsson, 2010)

2.4 Multicriteria decision analysis (MCDA)

MCDA was the approach used to produce a sustainability index for the different flat roof types under consideration. Its application allowed to evaluate the proposed index according to the indicators listed in Table 1.

impacto económico y en la vida útil de la cubierta: Coste de ciclo de vida (construcción, mantenimiento y demolición) (I14), Carga permanente (I16) y Protección de la cubierta (I17).

Estos indicadores fueron valorados mediante una serie de encuestas por un panel de expertos, donde se evaluó su importancia, con el objetivo de definir su peso dentro del modelo multicriterio. La cuantificación de los indicadores se realizó para cada una de las secciones de cubierta y bajo los distintos escenarios climáticos. Cabe destacar que existen indicadores cuya cuantificación deriva de la aplicación de una metodología analítica, mientras que otros se definieron en base a la literatura existente (Getter & Rowe, 2006; Berndtsson, 2010).

2.4 Descripción del modelo multicriterio

El método utilizado para hallar el índice que refleja la contribución a la sostenibilidad de las cubiertas planas está basado en un análisis multicriterio. Su aplicación permite estimar el índice propuesto de acuerdo a los indicadores estudiados.

El análisis multicriterio empleado se compone de una combinación de dos métodos: el AHP (Analytic Hierarchy Process) y el TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution). El primero sirve para ponderar los pesos de cada indicador, y el segundo para valorar la sostenibilidad en base al valor del indicador y a su peso hallado anteriormente.

El método AHP (Saaty, 1980) consiste en realizar comparaciones por pares entre las valoraciones que los expertos han dado a los diferentes indicadores (Indicador 1 vs Indicador 2, Indicador 1 vs Indicador 3, etc.), en base a una determinada escala de valores.

A continuación, se aplica el método de agregación basado en similitudes (DBW), que sirve para determinar los pesos agregados y consistentes de los indicadores según las valoraciones del panel de expertos completo, y que proporciona los pesos finales de los indicadores.

La aplicación del método TOPSIS es el último paso del modelo multicriterio, permitiendo hallar un índice de la sostenibilidad de cada tipo de cubierta bajo cada escenario climático. De acuerdo con los principios del método TOPSIS (Hwang & Yoon, 1981), la alternativa elegida no solo debe tener la menor distancia a la solución ideal positiva, sino la mayor distancia posible a la solución ideal negativa.

3. Resultados y discusión

3.1 Refinamiento de la lista inicial de indicadores

Con el propósito de dar una mayor justificación al

The MCDA methodology used was composed of a combination of two techniques: AHP (Analytic Hierarchy Process) and TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution). The former was used to weight the indicators, whilst the latter enabled determining the sustainability index of the roofs based on the indicators and their weights.

The AHP method (Saaty, 1980) consists in establishing pairwise comparisons between the different indicators based on a scale of values (Indicator 1 vs Indicator 2, Indicator 1 vs Indicator 3, etc.). This step was carried out with the support of the opinions provided by the experts.

Next was the application of an aggregation process based on similarities of through a Distance-Based Weighting (DBW) method, which allowed finding the final weights of the indicators by considering the consensual point of view of the whole panel of experts.

The last step was the application of the TOPSIS method, which enabled calculating the sustainability index for every roof type under the climate scenarios. According to the method TOPSIS (Hwang & Yoon, 1981), the preferred alternative not only has to be the closest one to the positive ideal solution, but also the farthest from to the negative ideal one.

3. Results and discussion

3.1 Refinement of the initial list of indicators

To enhance the soundness of this study, a series of surveys were sent to an international group of experts in buildings. These experts proceeded from various sectors and had deep knowledge about several fields related to the study, such as green roofs, structures, energy efficiency and urbanism. Some of them came from the academic world, and some others belonged to the construction sector or were manufacturers of materials.

The results of the surveys were used in two main aspects. On the one hand, they enabled refining the list of indicators and developing a refined final list of indicators. On the other hand, the experts provided the inputs required for the weighting of the indicators in the MCDA.

Based on the surveys, one of the first decisions made was to eliminate the indicator of Reduction of runoff temperature, because of the low importance it received. The indicator of Agricultural productivity was merged with that of Biodiversity for similar reasons. In addition, some experts suggested the inclusion of an indicator related to the social use of roofs as spaces for recreation. Therefore, the impacts of the social use of roofs were included in the original indicator of Aesthetics. Finally, the experts added com-

presente estudio, se decidió enviar una encuesta con la primera lista de indicadores a un grupo de expertos compuesto por profesionales de diversos sectores, como especialistas en cubiertas ajardinadas, edificación, estructuras, urbanismo o eficiencia energética. Algunos de los expertos provienen del mundo académico y otros son profesionales del sector de la construcción y de empresas fabricantes de materiales.

Los resultados de las encuestas se utilizaron en dos vertientes principales. Una primera para aprovechar la opinión y comentarios de los expertos para depurar la lista inicial de indicadores y confeccionar una lista final de mayor calidad, y otra para obtener los pesos de los indicadores dentro del modelo multicriterio

En base a las encuestas recibidas, una de las primeras actuaciones fue eliminar el indicador Reducción de temperatura de escorrentía, debido a la poca importancia recibida. El indicador de Productividad agrícola también fue uno de los que menor importancia recibió, y se decidió fusionarlo con el de Biodiversidad. Por otra parte, algunos expertos señalaban que se debería añadir un indicador relacionado con el uso de las cubiertas como área de esparcimiento. Por lo tanto, se procedió a cambiar el indicador de Percepción estética, por otro denominado Uso social de la cubierta, que tendría en cuenta el aprovechamiento de la superficie útil como área de esparcimiento y su carácter estético. Finalmente, los expertos añadieron comentarios sobre la capacidad reguladora de la humedad ambiental de las cubiertas ajardinadas, mediante la evapotranspiración de las especies vegetales. Por lo tanto, se añadió un indicador de Regulador de la humedad ambiental.

ments about the regulatory capacity of green roofs to control the ambient humidity, due to the plants evapotranspiration. Therefore, a new indicator of Relative humidity control was also added to the list.

3.2 Weighting of indicators

Table 2 compiles the refined list of indicators with their corresponding weights, according to the surveys. The indicators obtaining the highest weights were Thermal insulation, Solar power and Life cycle cost. These results demonstrated that the opinions of the experts were aligned with the three pillars of sustainable development, since these indicators were representatives for economic (Life cycle cost), environmental (Solar power) and social (comfort by means of Thermal insulation) aspects. Moreover, both Biodiversity and agricultural productivity and Relative humidity control obtained the lowest weights. These were exclusive characteristics of the green roofs, such that their reduced importance prevented potential bias favouring this type of roof over the others.

3.3 Assessment of the sustainability index

Although the fact that green roofs had the worst scores in terms of Albedo coefficient, Water purification and Dead load, the results showed that they were the most sustainable solution in the three climate scenarios analysed (Figure 3), followed by floating flooring roofs and, finally, the gravel finishing and self-protected roofs, which achieved a similar sustainability index.

This was mainly due to the exclusive benefits of green roof in comparison with other roof types, since

	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA
1	Coefficiente Albedo	0,066
2	Producción de energía solar	0,100
3	Sumidero de Carbono	0,058
4	CO ₂ embebido	0,050
5	Energía embebida	0,060
6	Reducción de caudal de escorrentía	0,053
7	Filtro de contaminantes	0,040
8	Regulador de la humedad ambiental	0,014
9	Biodiversidad y productividad agrícola	0,045
10	Materiales reciclados	0,048
11	Aislamiento térmico	0,137
12	Aislamiento acústico a ruido aéreo	0,062
13	Coste de ciclo de vida	0,097
14	Uso social de la cubierta	0,056
15	Carga permanente	0,052
16	Protección de cubierta	0,062

Tabla 2. Lista de indicadores definitiva con sus pesos en el modelo multicriterio. Refined list of indicators and their corresponding weights.

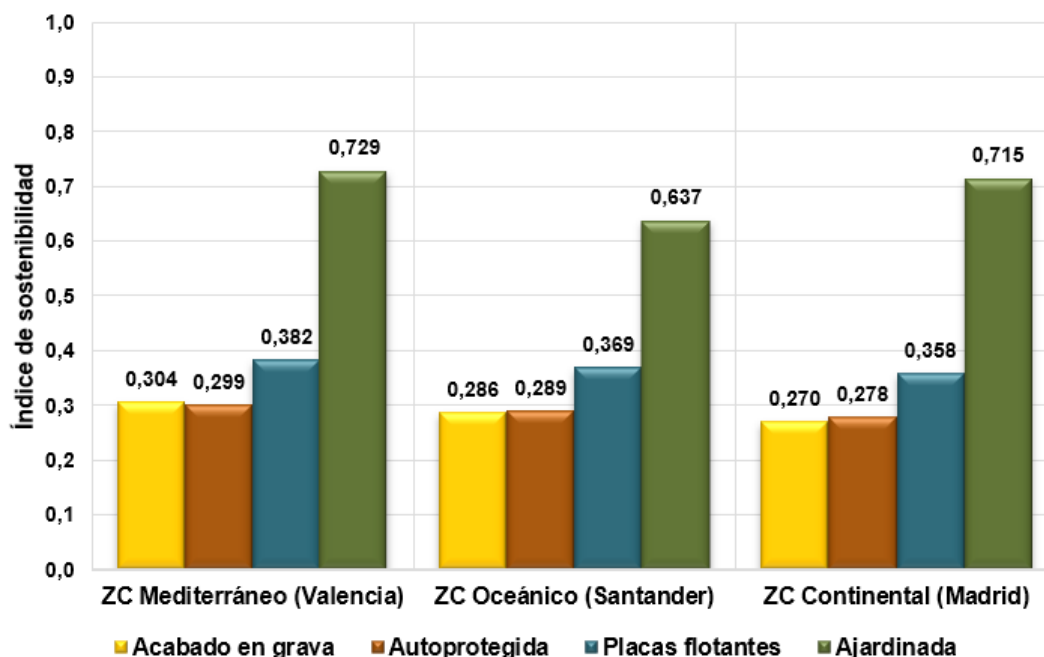


Fig. 3. Índice de sostenibilidad de los cuatro tipos de cubiertas planas en función de la zona climática.
Sustainability Index of the different flat roof types under the climate scenarios.

3.2 Pesos de los indicadores

En la Tabla 2 se muestran los pesos de los indicadores definitivos, obtenidos en base a las encuestas. Los indicadores con mayor peso fueron Aislamiento térmico, Producción de energía solar y Coste de ciclo de vida. Por lo tanto, la opinión de los expertos se alinea con los tres pilares del desarrollo sostenible, ya que éstos podrían considerarse representativos del factor económico (Coste de ciclo de vida), medioambiental (Producción energía solar) y social (confort vía Aislamiento térmico). Los indicadores que menor peso recibieron fueron Regulador de la humedad ambiental y Biodiversidad y productividad agrícola, que son características notables de las cubiertas ajardinadas. No obstante, dado que son características exclusivas de este tipo de cubiertas, habrían penalizado notablemente a los demás tipos de cubierta en caso de haber recibido mayor peso.

3.3 Evaluación del índice propuesto

A pesar de tener peores puntuaciones en cuanto a Coeficiente albedo, Filtro de contaminantes y Carga permanente, los resultados demuestran que las cubiertas ajardinadas, en base a los indicadores estudiados, son las más sostenibles en los tres escenarios climáticos analizados, Figura 3. En segundo lugar, estarían las cubiertas de placas flotantes y, finalmente, con un índice de sostenibilidad similar, las que tienen un acabado de grava y las autoprotegidas.

Esto es debido, principalmente, a los siguientes factores: los beneficios exclusivos de las cubiertas verdes en contraposición a las otras, ya que éstas tienen cinco indicadores que representan beneficios exclusivos, y que en las otras cubiertas tienen valor nulo; la prolongada vida útil de la cubierta ajardinada que

five indicators yielded null values for the other alternatives. Other reasons justifying the predominance of green roofs laid on their longer lifespan, which resulted in a better distribution of the construction and maintenance costs, as well as their higher percentage of recycled materials and their capacity for improving thermal insulation and noise control.

4. Conclusions

The main conclusion drawn from this research was that green roofs were the most sustainable solution in all scenarios, according to the indicators studied and the climate scenarios analysed, followed by the floating flooring and, finally, the cool roof and the non-walkable roof with gravel protection, which reached a very similar score. It should be noted that there is still room to improve the sustainability index of the different roofs, in order to reach the hypothetical value of 1.0 in the sustainability index.

Therefore, the results and conclusions obtained in this research indicated that green roofs provide a solution to consider in the achievement of the Sustainable Development Goals for 2030. Due to all its advantages, information and divulgation strategies to promote green roofs should be carried out by public entities, in order to foster its adoption both in the construction of new buildings and in the retrofit of traditional roofing systems.

From this study emerged some research lines susceptible to be developed in the future, such as improving the existing indicators or adding new ones, including new climate, economic or demographic scenarios or exploring the degree of sustainable roofing implementation with spatial analyses. Other complementary research lines to examine might

contribuye a amortizar sus costes, haciendo que sea la que tenga menor coste de ciclo de vida; y otros beneficios como la mejora del aislamiento acústico y térmico o su mayor porcentaje de materiales reciclados.

concern aspects like structural optimization, composition and resilience analysis of the different layers of the roofs or improvement of food security and production of food in a sustainable way.

4. Conclusiones

La conclusión principal del estudio reside en el hecho de que las cubiertas ajardinadas son las más sostenibles en los tres escenarios climáticos analizados. En segundo lugar, estarían las cubiertas de placas flotantes y, finalmente, con un índice de sostenibilidad similar, las que tienen un acabado de grava y las autoprotegidas. También cabe destacar que todavía existe un notable margen de mejora para la contribución a la sostenibilidad de las cubiertas (hasta el hipotético valor 1.0 del índice de sostenibilidad).

Por lo tanto, con los resultados y las conclusiones del estudio, se justifica que las cubiertas ajardinadas, debido a sus ventajas sobre los demás tipos de cubierta, son una solución a tener en cuenta a la hora de cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible para el año 2030. Precisamente, sus grandes ventajas respecto a los demás tipos deberían ser objeto de información y divulgación por parte de la Administración y las autoridades, para promover la adopción de estas soluciones, tanto en cubiertas de nueva construcción como en el reemplazo de antiguas cubiertas tradicionales.

A raíz del estudio surgen algunas líneas de investigación susceptibles de ser desarrolladas en un futuro, como mejorar los indicadores con el perfeccionamiento de los existentes o añadiendo nuevos, añadir otros escenarios (climáticos, económicos, demográficos), explorar el grado de implementación de cubiertas sostenibles mediante análisis espacial o potenciar otras líneas de investigación complementarias, como optimización estructural, análisis de la composición y resiliencia de las diferentes capas de la cubierta o incluso mejora de la seguridad alimentaria y la producción de alimentos de manera sostenible.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Banco Mundial. (2018). Población urbana (% del total). Recuperado el 20 de Febrero de 2018, de <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS>
- [2] Berndtsson, J. C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*(36), 351-360.
- [3] Broto, C. (2011). Cubiertas. Innovación y diseño. ISBN: 978-84-96969-83-4.
- [4] Canto-Perello, J., Martinez-Garcia, M. P., Curiel-Esparza, J., & Martin-Utrillas, M. (2015). Implementing Sustainability Criteria for Selecting a Roof Assembly Typology in Medium Span Buildings. *Sustainability*, 7, 6854-6871.
- [5] Collier, Z. A., Wang, D., Vogel, J. T., Tatham, E. R., & Linkov, I. (2013). Sustainable roofing technology under multiple constraints: a decision-analytical approach. *Environ Syst Decis*, 33, 261-271.
- [6] Gagliano, A., Detommaso, M., Nocera, F., & Evola, G. (2015). A multi-criteria methodology for comparing the energy and environmental behavior of cool, green and traditional roofs. *Building and Environment*, 90, 71-81.
- [7] Getter, K. L., & Rowe, D. B. (2006). The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience*, 41(5), 1276-1285.
- [8] Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Multiple attribute decision making, methods and applications. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. New York Springer-Verlag., 186.
- [9] Liu, K. (2004). Engineering performance on rooftop gardens through field evaluation. *Journal of Roof Consultants Institute*, 22(2), 4-12.
- [10] Naciones Unidas. (2016). Informe de los ODS 2016. e-ISBN: 978-92-1-058261-2: DESA.
- [11] Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. N.Y.: McGraw-Hill Book Co.
- [12] Sánchez-Ostiz, A. (2007). *Cerramientos de edificios: Cubiertas 2ª Edición (Primera ed.)*. Madrid: Ed. CIE DOSSAT 2000 ISBN: 978-84-96437-55-5. 388 p.

La refrigeración de los centros de datos diseña nuevos paisajes artificiales

The need for cooling of data centers designs new artificial landscapes

Cristina Jorge Camacho¹

ABSTRACT

This paper aims to show how the need for cooling of large data storage equipment demands water resources, which transform the physical, social and economic landscape. A water surface on the land is become the site of what seems a spontaneous generation of life: wave upon wave of organized animal herds and crows of people descend in rhythmic turns to the cool pleasures of bath and drink; flock of seagulls, shellfish gatherers, volleyball or football players, then a few tentative mixtures of groups in decidedly non-random order and pairing. The word flock is here to refer to the capacity of any living process to mark and transform its environment what determines its capacity to organize, to affect, and to move. Something magical happens through these uses of water that points out the transformation of the territory because of the invention of novel cooling systems, as Standford Kwinter mentioned about combustible landscapes. The new environment heat placed unprecedented stress on the animal to keep cool. Most of this heat takes place on land, transforming its appearance into a vague landscape with an intense reddish hue using incandescent and mercury vapour lighting, going further the red visible channel. The invention of a novel air-conditioning system constitutes the defining feature of the emergence of the human species. Each light radiation -ultraviolet or infrared- can be used in a different way to help in emergency situations such as floods or droughts, respectively; they are looking at how a balance can be found between the land and the sea.

The structure of the proposal paper is designed to make the best of results and optimise the synergy effects between the cooling system of human and animals brain, the fans cooled heat sink on the computer and the conditioning of Data Processing Center (CPD). Many data centres consume as much electricity in their cooling systems as in their servers and they need to build large artificial ponds. There will be an analysis of several Data Processing Centers: IBM, Microsoft, Yahoo, Google, Facebook and Amazon.

The cooling of data centers will take as reference the cooling of the high temperatures and high pressures of stars (ten of millions of degrees), where the particles are moving so fast that the repulsive force does not have time to act. First, cooling systems need macro-technology. In the same way that sunlight provides a renewable source of solar energy, the cold universe supplies a nearly unlimited expanse to dump heat. Second, they need medium-technology to store raw materials such as water, wind, soil, seed or sunlight where heat can be transferred in three ways: conduction, convection and radiation. Actually the use of convection way of cooling is the reason of these changes in the landscape such as artificial ponds or dams. Thirdly, they need micro-technology to build nanorobots such as radiation that transfers heat in the form of infrared light that emanates outward from objects, sight unseen.. Future landscape transformation for the cooling of new technologies will be cosmic.

Key Words: Data storage, cooling systems, light spectrum, landscape architecture, ponds.

(1) Cjcpaisaje, architecture landscape office, + 34 615871733, info@cjcpaisaje.com.

Introducción

Los sistemas de refrigeración consumen el 15% de la energía generada globalmente y suponen el 10% de las emisiones del gas de efecto invernadero. Por ello, un mundo urbano que tiende al calentamiento precisa de sistemas de enfriamiento que no requieran el consumo excesivo de energía. El calor puede ser transferido mediante tres sistemas: conducción, convección y radiación. La conducción transfiere calor mediante el tacto y es la causa por la cual no se puede abrir un horno sin un guante. La convección transfiere calor por el movimiento de fluidos, aire o agua y es el sople de aire caliente que sale cuando abrimos un horno. La radiación transfiere calor en forma de luz infrarroja que emana fuera de un horno y no puede ser vista.

La tecnología de refrigeración que hace posible disipar el calor generado o transmitido desde puntos calientes hacia la atmósfera, basándose en la transferencia de calor, está siendo transformada en otra tecnología que transmite calor desde esos puntos calientes hacia el espacio, a través de la radiación de calor. El método de trabajo utiliza la nano escala de los sistemas de enfriamiento de los robots, la ventilación del cerebro en animales y humanos, la micro escala de la disipación del calor en los dispositivos móviles, la refrigeración de los ordenadores y el acondicionamiento de los centros de datos y finaliza con la macro escala del enfriamiento de las estrellas.

1. Nano-escala. La refrigeración de los robots

La superficie disponible en cada robot en miniatura para disipar el calor es insuficiente al ir disminuyendo en tamaño e incrementando en potencia. Existen nuevas estrategias de refrigeración para robots en miniatura, tales como la capacidad de disipar calor de una delgada envoltura multicapa instalada en cada robot o a través de nitrógeno líquido para enfriar una atmósfera de helio en la cual se sitúa el robot (1).

2. Nano-escala. La refrigeración del cerebro humano y animal

Los cerebros están formados por tejidos muy sensibles, tanto que un aumento en cuatro grados de temperatura puede resultar mortal. Los mamíferos de la sabana emplean un enfriamiento selectivo a través de una cara protuberante, un hocico hueco y la arteria carótida en la que se junta la sangre en el área sinusal o el cuello para enfriar (2). La ventilación del cerebro es extremadamente importante ya que dicho cerebro produce calor como un subproducto del trabajo que hace; por ello el cerebro está encerrado en un cráneo con algunas aperturas. La sangre venosa se enfría a través de las venas del rostro y el cuero cabelludo y fluye a través de los senos duros que sirven como intercambiadores de calor a con-

Introduction

Cooling systems consume 15% of electricity generated globally and account for 10% of global greenhouse gas emissions. Therefore, a warming urban world needs cooling technologies that don't require excessive power. Heat can be transferred in three ways: conduction, convection and radiation. Conduction transfers heat by touch and, for example, that's why a person cannot touch an oven pan without wearing a mitt. Convection transfers heat by movement of fluids or air and it's the warm rush of air when the oven is opened. Radiation transfers heat in the form of infrared light that emanates outward from the oven, sight unseen.

The cooling technology, which makes possible to dissipate generated or transmissive heat from hot spots to atmosphere, based on heat transfer, is now being transformed into a technology which transmit heat from hot spots to space, through heat radiation. The analysis is composed of the nano scale of robots's cooling systems, the ventilation of human and animal skull, the micro scale of heat dissipation in mobile phones and laptops, the cooling systems of data centers and the macro scale of the cooling of the high temperatures and high pressures of stars.

1. Nano scale. Robots Cooling

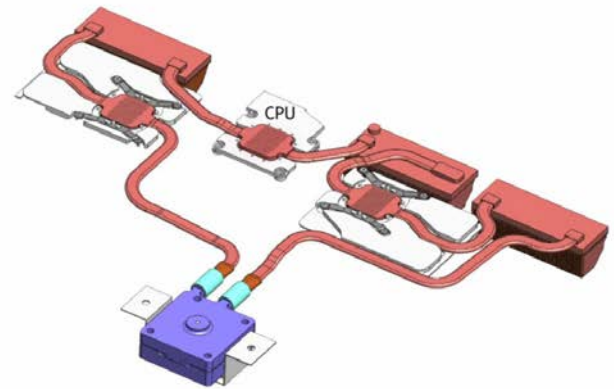
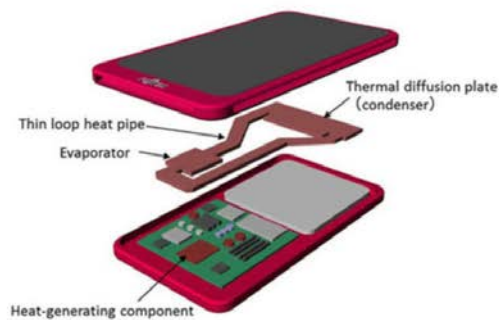
The surface available on each miniature robot to dissipate the heat becomes insufficient as the size of these instrumented robots decreases with a potential increase in performance. There are novel cooling strategies for miniature robots, such as the heat capacity of water in a thin multi-layer jacket installed on each robot or the liquid Nitrogen for cooling a Helium atmosphere where the robot is placed ¹.

2. Nano technology. Human and Animals Brain Cooling

Brains are made up of very sensitive tissue, such that even a four-degree rise in its temperature is likely to result in death. The savannah mammals use selective cooling based on the protruding face, the hollow snout and the carotid artery in which blood is pooled in the sinus area or neck for cooling. It is a response to an increasingly hot and dry environment and the large brain in tandem with the novel cooling system is an expression of climate and ecology². Brain cooling is extremely important and brain produces heat as a byproduct of the work it does; so it is enclosed

1 Martel, S. (2003) "Cooling strategies for high performance miniature wireless robots designed to operate at the nanoscale", Dept. of Comput. Eng., Ecole Polytech. de Montreal, Que., Canada. (<https://ieeexplore.ieee.org/document/1231737/>).

2 "One quickly learns more to search not so much for objects and things as for patterns, actions and disturbances" Kwinter, Stanford (2015) in "Combustible Landscape" Projective Ecologies, Chriss Reed & Nina Marie Lister (Cambridge: Graduated School of Design, Harvard University).



tracorriente que enfrían la sangre arterial entrante antes de que llegue al cerebro.

3. Micro escala. La refrigeración de los móviles

El calor pasa a través del cuerpo del teléfono, entonces dicho calor se expande hacia la atmósfera o hacia la mano. Modelos de móviles como Galaxy 7 o Fujitsu tienen además una tubería de calor que extiende el calor a través de su superficie donde el agua es utilizada como refrigerante, no es almacenada en una pequeña piscina, sino que fluye a través de esas tuberías de calor. Son precisamente esas tuberías las que aseguran que el procesador y la memoria del móvil estén fríos.

4. Micro-escala. La refrigeración de los ordenadores

Tradicionalmente, el ordenador se enfría mediante ventiladores no mayores que una caja de cerillas que impulsan aire fresco sobre el procesador. Es un intercambio de calor pasivo que transfiere el calor generado por un dispositivo electrónico a un fluido refrigerante en movimiento. Los ordenadores portátiles presentan dificultades mecánicas en el diseño del flujo de aire, en su poder de disipación y en su refrigeración. El ordenador tiene que ser lo más ligero posible; el factor de forma tiene que ser construido alrededor de un teclado standard; los usuarios están situados muy cerca y el sonido tiene que ser mínimo; y, finalmente, la temperatura de la carcasa exterior debe mantenerse baja. La refrigeración normalmente emplea aire refrigerante pero las tuberías de calor y el uso de chasis metálicos como distribuidores pasivos del calor son soluciones comunes (3). (Fig. 1.)

5. Macro-escala. La refrigeración de los centros de datos

Como proveedores de contenido digital en los medios y otros servicios de la web, Google, Facebook o Yahoo tienen que estar constantemente expandiendo la capacidad de sus centros de datos para asegurar que tienen la infraestructura necesaria para dar soporte a nuevos productos y servicios y a una

within the walls of the skull with few openings. In this case venous blood that has been cooled by cranial veins of the face and scalp flows through dural sinuses that serve as counter-current heat exchangers that cool incoming arterial blood before it enters the brain.

3. Micro scale. Mobile Phones Cooling

The heat passes through the body of the phone, then the heat will just spread to the environment (surrounding the air or a hand). Some mobile phones also have heat pipes to spread heat across the phone's surface such as in Galaxy S7 or Fujitsu. The special feature is that water is used as a coolant. The water is not housed in a small pool, but instead flows through 'heat pipes' that ensure both the processor and memory of the phone are cooled.

4. Micro scale. Computers Cooling

Traditionally, the computer is cooled by a fan-cooled heat sink on the processor not much bigger than a matchbox. It is a passive heat exchanger that transfers the heat generated by an electronic device into a coolant fluid in motion. Laptops present a difficult mechanical airflow design, power dissipation, and cooling challenge. The device as a whole has to be as light as possible; the form factor has to be built around the standard keyboard layout; users are very close, so noise must be kept to a minimum, and the case exterior temperature must be kept low. Cooling generally uses forced air cooling but heat pipes and the use of the metal chassis as a passive heat sink are also common³. (Fig. 1)

5. Macro scale. Data Centers Cooling

As providers of digital media content and other web services, Google, Facebook or Yahoo have to constantly expand their data centers capacity to make sure they have the infrastructure in place to support new products and services and a growing user base.

³ Asetek is a company specialises in liquid cooling systems for data centers, servers, workstations, gaming and high performance PCs. (<https://www.asetek.com/>).

Fig. 1.

El líquido refrigerante del móvil Fujitsu Fujitsu y el líquido refrigerante de un portátil.

El líquido refrigerante del móvil Fujitsu Fujitsu (<https://gizmodo.com/liquid-cooling-for-seriously-overkill-smartphones-1691670989>) y el líquido refrigerante de un portátil (<http://www.digitalstorm.com/unlocked/the-latest-in-laptop-cooling-technology-idnum35/>).

creciente base de usuarios. Muchos centros de datos consumen tanta electricidad en sus sistemas de refrigeración como en sus servidores (4). La mayor parte de los centros funcionan con sistemas de convección por aire, que tiene un rendimiento inferior a los sistemas de convección por agua, ya que el agua tiene una capacidad de calor específico que es más de cuatro veces la del aire. Esta es la principal causa de la aparición sobre el territorio de un nuevo paisaje de estanques de agua.

Diferentes firmas han intentado solucionar este problema a través de diferentes métodos: Google está usando empresas de inteligencia artificial como DeepMind AI para optimizar el sistema y reducir gastos; Microsoft está invirtiendo en la posibilidad de instalar centros de datos bajo el agua; IBM y Facebook están moviendo sus centros a países de clima frío; y Amazon opta por crear centros en racimos que trabajan conjuntamente con granjas solares. Sol, viento y mar son los puntos fuertes de las iniciativas de energías renovables que establecen los centros de datos de Apple.

5.1. Centro de Datos IBM

Presente. Varias instalaciones de la compañía IBM están siendo demolidas, sin tener un plan alternativo de recuperación de esas grandes extensiones de territorio. La causa viene dada porque la edad de la arquitectura corporativa se está disolviendo, como muestran los últimos productos tecnológicos dentro de la nube de inmaterialidad, este fenómeno puede verse en las instalaciones de IBM en Somers, New York, la compañía que marcó el inicio de todo (5).

Futuro. IBM está buscando nuevas localizaciones en países nórdicos como el centro de datos Lefdal Mine en Noruega. Lefdal Mine Datacenter con 75 halls bajo tierra está ubicado en una antigua excavación minera en la región de Song og Fjordane entre los puertos noruegos de Måløy y Nordfjordeid. El complejo Lefdal tiene a IBM como principal socio y una fuerte asociación con Rittal que proporcionará contenedores e infraestructura en las áreas vacías. (Fig. 2.)

5.2. Centro de datos de Microsoft

Presente. El centro de datos de Microsoft en Quincy tiene gran cantidad de generadores diesel para producir electricidad. El departamento estatal de Ecología de Washington es consciente de los riesgos para la salud asociados a las emisiones de diesel. Microsoft tiene un extenso campus que contiene múltiples centros de datos con diseños pertenecientes a cinco generaciones. Las instalaciones utilizan una planta hidroeléctrica de su propiedad. La instalación extrae energía relativamente barata desde su propio conjunto de líneas eléctricas que parten desde la central hidroeléctrica Grand Coulee.

Many data centres consume as much electricity in their cooling systems as in their servers⁴. Most data centers are air cooled. Air cooling works moderately well, but not as well as water cooling. This is due to simple fact that water has a specific heat capacity that is more than four times that of air. That is the reason why there are a new landscape of ponds around these complexes.

Different firms have tried to solve this problem in different ways: Google is using its DeepMind AI experts to trim costs; Microsoft has even been exploring the possibility of underwater data centers; Facebook is moving to cold countries; and Amazon is creating clustering centers with solar farms. Sun, wind and sea are the spotlights of the renewable energy initiatives of Apple data centers

5.1. IBM Data Centers

Present. Many IBM data centers has been demolished, without having an alternative plan for reuse these large plants. The reason is how information age corporate architecture is also dissolving, like its ultimate product, into the cloud of immateriality. This can be seen at IBM in Somers, New York, the company that started it all⁵.

Future: The Lefdal Mine Datacenter with 75 underground halls is being built in the site of an old mineral excavation in the Sogn og Fjordane region between the west Norwegian ports of Måløy and Nordfjordeid. IBM was the project's first partner and there is also a strong partnership with Rittal's parent, the Germany-based Freidhelm Loh Group, that will supply containers and infrastructure for the white space areas. (Fig. 2.)

5.2. Microsoft Data Centers

Present. The Microsoft data center in Quincy has a lots of diesel generators to produce electricity. The most Washington State Department of Ecology was concerned with health risks associated with diesel emissions. Microsoft has an extremely large campus containing multiple data centers and contains facilities built to five Microsoft's generations. The facility draws relatively inexpensive hydroelectric power over their own set of power lines from Grand Coulee hydroelectric power generation station.

⁴ US data centers consumed about 70 billion kilowatt-hours of electricity in 2014, representing 2 percent of the country's total energy consumption and cost an estimated \$1.4 billion to keep them cool. That's equivalent to the amount consumed by about 6.4 million average American homes that year((note: Datacenter Knowledge website. (<http://www.datacenterknowledge.com/archives/2016/06/27/heres-how-much-energy-all-us-data-centers-consume>)).

⁵ IBM North Kingston, NY in "Bytes and Dust IBM-Scape" Upstate New York in The Center for Land Use Interpretation website.(<http://www.clui.org/newsletter/winter-2018/bytes-and-dust>).

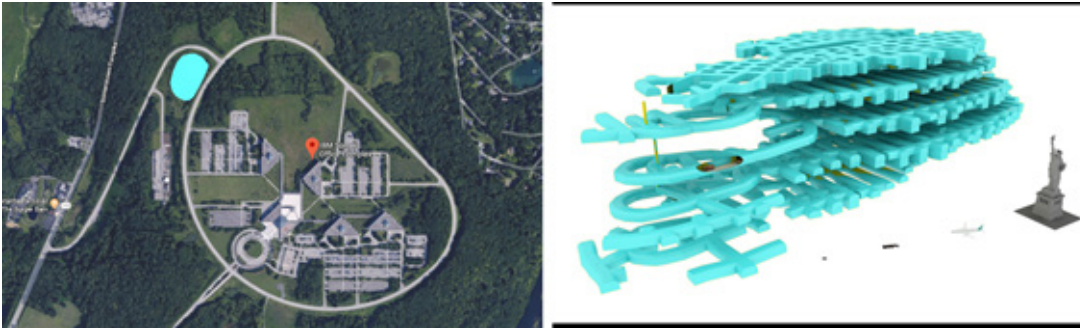


Fig. 2. Presente y Futuro de los centros de datos de IBM. IBM data center in Upstate New York and Lefdal Mine data center in Norway. Present and Future of IBM Data Centers. IBM data center in Somers, NY and Lefdal Mine data center in Norway. (<https://www.google.es/maps>).

Futuro. El proyecto del centro de datos Natick tiene 12 racks que contienen un total de 864 servidores y la infraestructura del sistema de enfriamiento asociado. Microsoft ha colocado un centro de datos en el mar de Escocia para determinar si puede ahorrar energía al enfriarla en el mar. Microsoft señala que la mitad de la población mundial vive a menos de 200 kilómetros del océano, por lo que los sistemas submarinos son potencialmente más fáciles de desplegar cuando se necesita capacidad adicional. Utilizando un proceso de intercambio de calor que se emplea para refrigerar submarinos, Naval Group envió el centro de datos a Escocia en un camión de plataforma. (Fig. 3.)

Future: The Project Natick data center has 12 racks containing a total of 864 servers and associated cooling system infrastructure. Microsoft has placed a data center in the Scottish sea to determine whether it can save energy by cooling it in the sea. Microsoft points out that half of the world's population lives within 200 kilometers of the ocean, making subsea systems potentially easier to deploy when extra capacity is needed. Using a heat-exchange process mainly employed for cooling submarines, Naval Group shipped data center to Scotland on a flatbed truck. (Fig. 3.)

5.3. Centro de datos de Yahoo

Presente. La compañía Yahoo utiliza el mismo patrón formal para diseñar los centros de datos. La expansión de 91.440 metros cuadrados en Quincy duplicará efectivamente la capacidad del centro de datos de Yahoo. La forma maximiza el uso del aire exterior para la refrigeración y minimiza la necesidad de llevar aire al edificio a través de ventiladores eléctricos. El aire ingresa en el edificio a través de lamas macizas de la pared lateral y pasa a través de los servidores, mientras el aire de escape caliente se eleva hacia el pleno estrecho en la parte superior y sale a través de las persianas ubicadas allí.

5.3. Yahoo Data Centers

Present. Yahoo company uses the same buildings' shape to design data centers. The 300,000-square-foot expansion in Quincy will effectively double Yahoo's data center capacity there. The shape maximizes the use of outside air for cooling and minimizes the need for electrical fans to pull air into the building. Air enters the building through massive side-wall louvers and gets pulled through the servers. Warm exhaust air rises into the narrow plenum at the top and exits through louvers located there.

Futuro. Yahoo amplía su visión de las cooperativas de servidores refrigeradas por el viento, y parece estar listo para expandir su visión para un gran campus de "cooperativas de cómputo" refrigeradas por el viento en su Centro de datos de Lockport. Son sistemas pasivos, no hay enfriadores mecánicos en el

Future: Yahoo expands its vision for wind-cooled server coops, and appears to be ready to expand its vision for a large campus of wind-cooled "computing coops" in its Data Center of Lockport. They are passive systems, there are no mechanical chillers in the center. When the weather gets too hot, the data center uses an evaporative cooling system. That is the reason of the construction of two ponds on each side of the complex



Fig. 3. Presente y Futuro de los centros de datos de Microsoft. Centro de atos de Microsoft en Quincy. (<https://www.google.es/maps>) Leo Delauney, Mailonline. Present and Future of Microsoft Data Centers. Microsoft data center in Quincy (<https://www.google.es/maps>) Leo Delauney, Mailonline. (www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-5814469/Microsofts-underwater-cloud-subsea-datacenter-launched-coast-Scotland.html)

Fig. 4.

Presente y Futuro de los centros de datos de Yahoo. Yahoo data center in Quincy and Yahoo data center in Lockport, New York State. Present and Future of Yahoo Data Centers. Yahoo data center in Quincy and Yahoo data center in Lockport, New York State(<https://www.google.es/maps>)



centro. Solo cuando hace demasiado calor, el centro de datos utiliza un sistema de enfriamiento adicional por evaporación. Esa es la razón de la construcción de dos estanques en cada lado del complejo. (Fig. 4.)

5.4. Centro de datos de Google

Presente. El sistema de enfriamiento del centro de datos de Google en Berkeley, South Carolina, está formado por un serpentín de cobre por el que circula agua fría y se encuentra encima de los módulos. Estos serpentines trasladan el agua tibia lejos de los módulos a una planta en ebullición donde se enfrían por torres de enfriamiento y luego vuelven al centro de datos. Un innovador sistema de enfriamiento está recolectando agua de lluvia como fuente de agua para el enfriamiento y asegura que el uso propuesto del suelo sea sostenible.

Future: Google ha optimizado el sistema a través de su unidad de inteligencia artificial DeepMind -adquirida por Google en 2014- para administrar en partes el uso de energía de sus centros de datos. El resultado es una reducción del 40 por ciento en la cantidad de electricidad necesaria para la refrigeración. Google ha declarado que los algoritmos de DeepMind han aumentado en gran medida la eficacia de la refrigeración de sus centros de datos. (Fig. 5)

5.5. Centro de datos de Facebook

Presente. Facebook se encuentra en regiones frías, en Carolina del Norte, Forest City, Ville Oregon. Cada centro de datos alberga miles de servidores, que están conectados en red y conectados al mundo exterior a través de cables de fibra óptica. El sistema de refrigeración utiliza un sistema de aire acondiona-

5.4. Google Data Centers

Present. Cooling system of Google data center of Berkeley County, South Carolina, is based on a water serpentine made of copper in which cool water is circulating and it is located above the modules. These serpentines translate the warm water far from the modules to a boiling plant where they are cooling down by cooling towers and after return back to the data center. An innovative cooling system, they are collecting rainwater as a water source for cooling and the ensure that their proposed ground usage will be sustainable.

Future: Google is putting its DeepMind artificial intelligence unit -acquired by Google in 2014- in charge and is using AI to manage power usage in parts of its data centers. The result is a 40 percent reduction in the amount of electricity needed for cooling. Google has stated that DeepMind algorithms have greatly increased the efficiency of cooling its data centers.

5.5. Facebook Data Centers

Present: Facebook data centers are located in cold regions, in North Carolina, Forest city, Ville Oregon. Each data center houses thousands of computer servers, which are networked together and linked to the outside world through fiber optic cables. The cooling system used natural air conditioning system where cool air form the high plains of Oregon is sucked in, filter and mixed with warm air to regulate temperature and a fine mist control the humidity. Finally, any excess warm air is pushed out by huge fans.

Future: Facebook built one of its facilities in Lulea

Fig. 5.

Presente y Futuro de los centros de datos de Google. Google data center in Berkeley County, South Carolina and DeepMind Technology with Google company. Present and Future of Google Data Centers. Google data center in Berkeley County, South Carolina and Deep Mind Technology with Google company (<https://www.google.es/maps>).





Fig. 6. Presente y Futuro de los centros de datos de Facebook.. Facebook data center in North Carolina and Facebook data center in Lulea in Sweden. Present and Future of Facebook Data Centers. Facebook data center in North Carolina and Facebook data center in Lulea in Sweden(<https://www.google.es/maps>)

do natural donde se aspira el aire frío de las llanuras altas de Oregón, se filtra y se mezcla con aire caliente para regular la temperatura y una fina niebla controla la humedad. Finalmente, cualquier exceso de aire caliente es expulsado por grandes ventiladores.

Futuro. Facebook construyó una de sus instalaciones en Lulea, al borde del Círculo Ártico, donde el río Lule se encuentra con el Golfo de Bothnia, en Suecia. Todo el equipo en su interior funciona con energía generada localmente por la planta hidroeléctrica Porjus hydropowerk. Además de aprovechar el poder del agua, están usando el helado aire nórdico para enfriar los servidores. Cualquier exceso de calor producido se utiliza para climatizar las oficinas. (Fig. 6.)

5.6. Centros de datos de Amazon Web Services (AWS)

Presente. La zona de mayor disponibilidad de AWS está en el este de los Estados Unidos que cuenta con el respaldo de la infraestructura del centro de datos en el norte de Virginia. La mayoría de los centros de datos de AWS están agrupados en mini-campus de dos o tres centros de datos cada uno, lo cual permite implementar un conjunto de generadores de respaldo redundantes (las copias de respaldo en las copias de seguridad) para servir a cada grupo de centros de datos.

Future: Amazon Solar Farm US East 2, 3, 4 y 5 son cuatro instalaciones diferentes con una capacidad de 20 megavatios cada una situadas en los condados de New Kent, Buckingham, Sussex y Powhatan, Virginia. Se espera que estos parques solares produzcan un total de más de 190 000 megavatios hora de

on the edge of the Artic Circle, where the River Lule meets the Gulf of Bothnia, in Sweden. All the equipment inside is powered by locally generated hydroelectric energy such as Porjus hydropowerk plant. In addition to harnessing the power of water, they are using the frosty Nordic air to cool the servers. Any excess heat produced is used to keep the offices warm.

5.6. Amazon Web Services (AWS) Data Centers

Present. The largest of the AWS Availability Zones is US East, which is supported by data center infrastructure in Northern Virginia. Most AWS data centers in US East are clustered together in mini-campuses of two to three data centers each. This clustering of data centers appears to allow AWS to maximize its backup generator deployment, allowing it to deploy one set of redundant backup generators (the backups to the backups) to serve each data center cluster.

Future: Amazon Solar Farm US East 2, 3, 4 and 5 are four different facilities with a capacity of 20 megawatts each located in New Kent, Buckingham, Sussex y Powhatan, Virginia. It is expected that these solar farms produce more of 190 000 megawatts hour of solar energy per year.

Conclusions

Initially, the storage of sensors and data captures in the cities required data centers whose cooling system used air or water as a heat transfer fluid circulating inside pipelines. After that, each company has evolved significantly in response to an improving energy context and there has been a change in the area of operations and the earth has been replaced



Fig. 7. Presente y Futuro de los centros de datos de Amazon AWS. AWS data center in Northern Virginia and Amazon Solar Farm Virginia, 100mw. Present and Future of Amazon AWS Data Centers. AWS data center in Northern Virginia and Amazon Solar Farm Virginia, 100mw (<https://www.google.es/maps>).

energía solar al año. (Fig. 7)

Conclusiones

Inicialmente, la acumulación de sensores y la captación de datos en las ciudades ha llevado a construir numerosos centros de datos cuya refrigeración se realiza a través del aire o del agua como fluidos de transferencia de calor que circulan por las tuberías. Actualmente, cada compañía ha evolucionado significativamente en respuesta a un contexto de energía mejorada y ha sucedido un cambio en el área de operaciones donde la tierra ha sido reemplazada por el océano. Por ejemplo, Microsoft ha ubicado sus centros de datos en el fondo del océano y muchas empresas estadounidenses han trasladado sus infraestructuras a países del norte de Europa conectando con ellos mediante tuberías submarinas revestidas de hormigón. En estos cambios de ubicación, las condiciones climatológicas son determinantes. En un futuro cercano, la ubicación de estos edificios de almacenamiento no estará necesariamente cerca de los consumidores y tenderá a estar separada de la fuente original, en satélites, estaciones espaciales internacionales o transbordadores espaciales.

En resumen, lo que se está produciendo es un complejo sistema de soluciones multilaterales para reducir el empleo de recursos energéticos. ¿Cuáles son las consecuencias de estos cambios en términos de territorio hoy en día? En primer lugar, edificios abandonados y terrenos baldíos como consecuencia de la construcción de nuevas sedes como el complejo Apple Park en Cupertino, donde se espera que el edificio principal circular, con un diámetro mayor que el Pentágono, albergue más de 12,000 empleados de Apple reubicados. En segundo lugar, la arquitectura corporativa de la era de la información también se está disolviendo y los viejos sistemas de acondicionamiento han tenido que ser reemplazados para poder proporcionar una mejor refrigeración. En tercer lugar, el acero, el petróleo y el gas se abandonan convirtiéndose en material de basura debido a los inminentes avances en eficiencia y sinergia, mientras que los recursos libres e irreductibles de hoy (agua, viento, suelo, semillas, luz solar) se convierten en medios capitales, sobre los cuales se librarán nuevas guerras y se formarán nuevos territorios (7).

¿Cuáles podrían ser las oportunidades de este proceso en términos de territorio, paisaje y ecosistemas? Varias industrias antiguas, como las infraestructuras mineras, se reconvertirán en instalaciones tecnológicas de almacenamiento. Muchos estanques artificiales están siendo abandonados y podrían ser utilizados como plataformas de cultivo de algas o de producción de agua potable y sal como granjas salinas. El mantenimiento de los futuros sistemas ubicados en las profundidades marinas o en las estaciones espaciales, ya sean los centros de datos o los sistemas de cables o de ondas supondrá el mantenimien-

by the ocean. For example, Microsoft has located their data centers at the bottom of the ocean and many USA companies has moved their infrastructures to North European countries and they connected by underwater concrete-coated pipelines. Climate conditions are essential in these changes of location. Finally, the location of these storage buildings need not necessarily be closed to the consumers, so they tend to be far away from the original source and they will tend to be located either in satellites, international space stations or space shuttles in the near future.

In sum, what was evolved is a complex system of multilateral solutions in ways to reduce energy resources. What will be the consequences of these changes in terms of territory nowadays? Firstly, Abandoned buildings and vacant lots as a consequence of the construction of new headquarters such as Apple Park in Cupertino where the circular main building, with a diameter larger than the Pentagon, is expected to contain more than 12,000 relocated Apple employees. Secondly, information age corporate architecture is also dissolving and old technological systems had to be replaced in order to be able to provide better refrigeration. Thirdly, steel, oil and gas are abandoned becoming junk because of the imminent leaps in efficiency and synergy, while the free and irreducible resources of today (water, wind, soil, seed, sunlight) become a capital media, over which new wars will be fought and new territories formed⁶.

What might be the opportunities of this process in terms of territory, countryside and ecosystems? Several old industries such as mining infrastructures will be reconverted into technological storage facilities. Many artificial ponds are abandoned and they could be used for alternative used such as algae plantations or salt plans. The maintenance of these installations will imply the cleaning of the ocean or the space, by means of data centers or wires and cable infrastructures that will become into the maintenance of oceans where different types of plastic trash is becoming a threat to the conservation of living aquatic resources or into the cleaning of space garbage of old spaceships, satellites and explosion dust, which operate at high speeds.

As technology advances, the size of electronics is decreasing while their performance is increasing. Beside that, all electronics heat up when they are operating. Therefore, it is necessary an efficient cooling to make next-generation computer chips and energy convention devices possible. Currently, the most effective way to remove heat from a surface is with boiling, but this method do not reach cooling rates ever 1000 watts per square centimeter of area. New

⁶ Belanger, Pierre (2014). *New Geographies 06: Grounding Metabolist*, Harvard University, Graduate School of Design, Cambridge.

to también del océano donde diferentes tipos de basura plástica se están convirtiendo en una amenaza para la conservación de los recursos acuáticos vivos o del espacio donde cada vez hay más basura que orbita la tierra como los grandes restos de cohetes, satélites viejos y polvo de explosiones que circulan a velocidades vertiginosas.

A medida que la tecnología avanza, el tamaño de los componentes electrónicos disminuye mientras que su rendimiento aumenta. Además de eso, todos los componentes electrónicos se calientan cuando están en funcionamiento. Por lo tanto, es necesario un enfriamiento eficiente para hacer que los chips del ordenador y los dispositivos de convención de energía de la próxima generación sean posibles. Actualmente, la forma más efectiva de eliminar el calor de una superficie es la convección, pero este método no alcanza velocidades de enfriamiento superiores a 1000 vatios por centímetro cuadrado de área. Nuevas investigaciones hablan del uso de la evaporación a nano-escala que puede eliminar 10 veces más calor en comparación con la convección, que también se puede aplicar a las células solares fotovoltaicas concentradas (6).

Más allá del análisis de las diferentes opciones de enfriamiento de los centros de datos: IBM, Microsoft, Yahoo, Google, Facebook y Amazon, es importante establecer diferentes escalas de enfoque desde la nano-escala hasta el macroespacio.

Nano-escala (cerca de la investigación sobre la luz ultravioleta)

La simulación a nivel molecular se utilizará para obtener una comprensión fundamental de los procesos de eliminación de calor en los intercambiadores de próxima generación, la informática de alta velocidad y las tecnologías de energía renovable. El modelo de transferencia de sólido a líquido en dinámica molecular se investiga para simular la evaporación del agua de una superficie calentada y la fabricación de formas geométricas novedosas y bien definidas para lograr la evaporación a escala nanométrica (8).

Como el traje de los astronautas formado por múltiples capas técnicas, el traje de enfriamiento del edificio estará compuesto por un material ultrafino (1.8 micras de espesor), de varias capas, que trata con la luz visible e invisible y es un espejo eficiente que refleja prácticamente toda la luz solar entrante que lo golpea. Está compuesto de siete capas de dióxido de silicio y óxido de hafnio y en la parte superior de una fina capa de plata. El nuevo material ultrafino se llama enfriamiento fotónico radiactivo y puede usarse no solo por la noche sino también durante el día. El revestimiento ultra delgado fue cuidadosamente construido para enviar esta luz infrarroja lejos de los edificios a la frecuencia precisa que le permite atravesar la atmósfera sin calentar el aire, una característica clave dados los peligros del calentamiento

researches talks about using nanoscale evaporation which can remove 10 times as much heat compared to boiling, which can be applied to concentrated solar photovoltaic cells as well⁷.

To go beyond analysing different options of the data centre cooling: IBM, Microsoft, Yahoo, Google, Facebook and Amazon, it is import to establish different approach scales from nano-scale to macro-space.

Nano-scale (close to ultraviolet light research)

Molecular level simulation will be used to gain fundamental understanding of heat removal processes in next-generation heat exchangers, high-speed computing, and renewable energy technologies. Solid-to-liquid transfer model in molecular dynamics is researched to simulate evaporation of water from a heated surface and fabrication of well-defined novel geometries to achieve nanoscale-evaporation⁸. As the astronaut suit is made by multilayer fabric, the building cooling suit will be made by a ultra thin (1.8 microns thick), multilayered material that deals with visible and invisible light and is a efficient mirror that reflects virtually all of the incoming sunlight that strikes it. It is made of seven layers of silicon dioxide and hafnium oxide on top of a thin layer of silver. The new ultra thin material is called Photonic radioactive cooling and it can be used not only at night but in the daytime as well. The ultra thin coating was carefully constructed to send this infrared light away from buildings at the precise frequency that allows it to pass through the atmosphere without warming the air, a key feature given the dangers of global warming.

Ultraviolet light is important tool to disinfection and to prevent floods: the safe purifiers of water, air and surfaces using UV-C light requires very little contact time for disinfection, in comparison with other processes⁹.

Space-macroscale (close to infrared light re-

7 Shalabh Maroo (2015) "Experimental and Numerical Study of Nanoscale Evaporation Heat Transfer for Passive-Flow Driven High-Heat Flux Devices" Experimental and Numerical Study of Nanoscale Evaporation, Syracuse University (https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1454450)

8 Molecular-scale interactions become quite pronounced when a fluid molecule is confined in a pore that is of a similar molecular dimension. Transport of a fluid in porous media is relevant to extraction of oil from a surface, contaminant transport in groundwater, sequestration of carbon dioxide in underground reservoir and desalination of seawater through a reverse osmosis membrane to produce drinking water. Maroo, Shalabh (Principal Investigator) Chakraborty, Arindam (Former Co-Principal Investigator) "Experimental validation of molecular simulation of water transport across zeolite membranes of nanoscale-thickness". https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1705752&HistoricalAwards=false.

9 Jorge Camacho, Cristina. (2016, Octubre). "Night for day. From UV Flooding to IR Drought". Scapegoat 10: Night, Toronto, Ontario: Scapegoat Publications. ISBN: 9781544748214.

global.

La luz ultravioleta es una herramienta importante para la desinfección y prevención de inundaciones: los purificadores seguros de agua, aire y superficies que utilizan luz UV-C requieren muy poco tiempo de contacto para la desinfección, en comparación con otros procesos (9).

Espacio-macroescala (cerca de la investigación con luz infrarroja)

El enfriamiento radiativo aprovecha el frío extremo del espacio exterior para enfriar el planeta y se experimenta comúnmente en las noches sin nubes, cuando el calor se irradia hacia el vacío del espacio desde la superficie de la Tierra y es una de las pocas formas en que un objeto en el espacio puede emitir energía. En particular, las estrellas enanas blancas ya no generan energía por fusión o contracción gravitacional y no tienen viento solar. Por ello, la única forma de conseguir que su temperatura cambie es por enfriamiento radiativo. En el sistema Tierra-atmósfera, el enfriamiento radiativo es el proceso mediante el cual se emite radiación de onda larga o infrarroja para equilibrar la absorción de la energía de onda corta o visible del sol. La luz invisible de radiación infrarroja es una de las formas en que todos los objetos y seres vivos eliminan el calor. Por lo tanto, el enfriamiento radiativo ofrece un inmenso potencial de enfriamiento pasivo suplementario en los centros de datos.

La luz infrarroja es útil para identificar futuras áreas de sequías. Se usa en los escáneres infrarrojos térmicos que pueden trazar las temperaturas de la superficie del mar en mapas con precisión, dibujar las corrientes costeras e identificar rápidamente las áreas potencialmente húmedas al mostrar las variaciones de temperatura en varias superficies (10). (Fig. 8)

El enfriamiento de los centros de datos tomará como referencia el enfriamiento de las altas temperaturas y las altas presiones de las estrellas (diez de millones de grados), donde las partículas se mueven tan rápido que la fuerza de repulsión no tiene tiempo para actuar (11). Primero, los sistemas de enfriamiento necesitan macro tecnología. De la misma manera que la luz solar proporciona una fuente renovable de energía solar, el universo frío proporciona una extensión casi ilimitada para descargar el calor. En segundo lugar, necesitan una tecnología media para almacenar materias primas como agua, viento, suelo, semillas o luz solar, donde el calor se puede transferir de tres maneras: conducción, convección y radiación. En realidad, el uso de la refrigeración por convección es la razón de estos cambios en el paisaje, como los estanques artificiales o las represas. Finalmente, necesitan micro tecnología para construir nanorobots con nuevos sistemas de refrigeración como la radiación que transfiere calor en forma de luz infrarroja que emana hacia afuera de los objetos

(search)

Radiative cooling is commonly experienced on cloudless nights, when heat is radiated into space from the surface of the Earth and it is one of the few ways an object in space can give off energy. In particular, white dwarf stars are no longer generating energy by fusion or gravitational contraction, and have no solar wind. So the only way their temperature changes is by radiative cooling. In the case of the Earth-atmosphere system radiative cooling is the process by which long-wave or infrared radiation is emitted to balance the absorption of short-wave or visible energy from the sun. Invisible light in the form of infrared radiation is one of the ways that all objects and living things throw off heat. Radiative cooling thus offers immense potential for supplementary passive cooling to data centers.

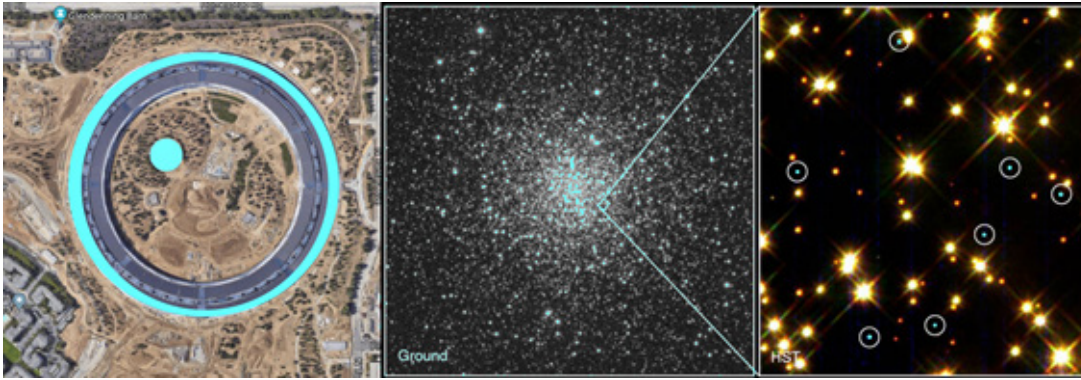
Infrared light is useful to identify future droughts. It is used in thermal infrared scanners that can map sea surface temperatures accurately, chart coastal currents, and quickly identify potentially moist areas by showing temperature variations on various surfaces¹⁰.

The cooling of data centers will take as reference the cooling of the high temperatures and high pressures of stars (ten of millions of degrees), where the particles are moving so fast that the repulsive force does not have time to act¹¹. First, cooling systems need macro-technology. In the same way that sunlight provides a renewable source of solar energy, the cold universe supplies a nearly unlimited expanse to dump heat. Second, they need micro-technology to store raw materials such as water, wind, soil, seed or sunlight where heat can be transferred in three ways: conduction, convection and radiation. Actually the use of convection way of cooling is the reason of these changes in the landscape such as artificial ponds or dams. Thirdly, they need nano-technology to build nanorobots such as radiation that transfers heat in the form of infrared light that emanates outward from objects, sight unseen¹². Future landscape transformation for the cooling system of new technologies will be cosmic as well.

¹⁰ Ibid. 9

¹¹ Sagan, Carl (2004). *Cosmos*, Editorial Planeta, Barcelona.

¹² "Think about it like having a window into space," said Fan. "If you have something that is very cold - like space - and you can dissipate heat into it, then you can do cooling without any electricity or work. The heat just flows," explain Shanhui Fan, Professor of electrical engineering at Stanford and co-founder of the company "SkyCool Systems. Shanhui Fan (2014) "Engineers invent high-tech mirror to beam heat away from buildings into the space" and in the paper "Sub-ambient non-evaporative fluid cooling with the sky". (California: Stanford University).



y no se ve (12). La futura transformación del paisaje urbano por la refrigeración de las nuevas tecnologías será también cósmica.

Fig. 8.

Estrellas frías. Las estrellas enanas blancas se enfrían (con círculo) a medida que envejecen. Los científicos han descubierto que las estrellas pulsantes conocidas como enanas blancas variables se enfrían más rápido de lo esperado. La discrepancia podría explicarse por partículas hipotéticas llamadas axiones que transportan energía desde la estrella.

Apple headquarters in Cupertino. Cool Stars. White dwarf stars cool (circled) as they age. Scientists have found that pulsating stars known as variable white dwarfs cool faster than expected. The discrepancy could be explained by hypothetical particles called axions carrying energy away from the star. H. Richer/UBC et al., WFPC2, HST, NASA.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Belanger, Pierre (2014). *New Geographies 06: Grounding Metabolist* (Cambridge: Harvard University, Graduate School of Design)
- [2] Kwinter, Stanford (2015) in "Combustible Landscape" *Projective Ecologies*, Chriss Reed & Nina Marie Lister (Cambridge: Graduate School of Design, Harvard University)
- [3] Maroo, Shalabh (2017), Principal Investigator; Chakraborty, Arindam, Former Co-Principal Investigator, "Experimental validation of molecular simulation of water transport across zeolite membranes of nanoscale-thickness". (Syracuse: Syracuse University) (https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1705752&HistoricalAwards=false)
- [4] Martel, S. (2003) "Cooling strategies for high performance miniature wireless robots designed to operate at the nanoscale", Dept. of Comput. Eng., Ecole Polytech. de Montreal, Que., Canada. (<https://ieeexplore.ieee.org/document/1231737/>)
- [5] Sagan, Carl (2004). *Cosmos* (Barcelona: Editorial Planeta)
- [6] Shanhui Fan (2014) "Engineers invent high-tech mirror to beam heat away from buildings into the space" and in the paper "Sub-ambient non-evaporative fluid cooling with the sky". (California: Stanford University)

Optimización de recursos de la construcción a través de la gestión de los materiales e incremento de la productividad de la mano de obra en Costa Rica

Optimization of construction resources through the management of materials and increase in the productivity of the workforce in Costa Rica

Ana Grettel Leandro Hernández¹, Lilliana Abarca-Guerrero¹

ABSTRACT

El sector de la construcción y la industria asociada son de los sectores que más contribuyen a la economía de las naciones, pero a su vez impactan negativamente el ambiente debido al mal uso y desperdicio de recursos tanto de materiales como de mano de obra aspectos que, además repercuten directamente en el costo y tiempo de ejecución de los proyectos de construcción. Estas características justifican la necesidad de que en los proyectos de construcción se optimicen al máximo todos los recursos involucrados. La optimización en el uso de los materiales a través de una gestión que garantice su mejor aprovechamiento y la reducción de residuos, lo mismo que el incremento de la productividad de la mano de obra, serán dos grandes aportes para disminuir este impacto negativo de la construcción en el ambiente.

En Costa Rica, se han generado estudios que demuestran que se producen grandes cantidades de residuos en los proyectos de construcción pero no se cuenta con herramientas para reducirlas, también se dice que la productividad de los proyectos de construcción se mantiene baja sin embargo muy pocas empresas constructoras se han dado a la tarea de investigar y documentar información de este tema debido, entre otros aspectos, a que no cuentan con conocimiento de cómo hacerlo y aquellas empresas que lo hacen mantienen la información para uso interno de la empresa solamente.

El proyecto desarrollado tuvo como objetivo general la optimización de los recursos de materiales y mano de obra en edificaciones a través de la reducción de residuos y medida de la productividad de la mano de obra en procesos seleccionados. Para lograr este objetivo se identificaron primero las causas de generación de residuos de la construcción en Costa Rica y posteriormente se generó una guía validada para la reducción y gestión de materiales de construcción que incluye las causas y las buenas prácticas que han funcionado en empresas grandes para evitarlas y disminuir su efecto.

Además, se determinaron los factores que afectan la productividad de la mano de obra tanto a nivel mundial a través de la investigación de la literatura, como a nivel nacional a través de la aplicación de cuestionarios a gerentes de proyecto y trabajadores de la construcción. Se está en el proceso de diseño de un manual que contiene los factores que afectan la productividad y las recomendaciones para disminuir su efecto incrementando la productividad. Toda la información fue recolectada mediante análisis documental de investigaciones ya realizadas, visitas a sitios de construcción, entrevistas y talleres con personal del sector y tesis de grado de estudiantes de Ingeniería en Construcción y de Ingeniería Ambiental.

Key Words: reducción de residuos, factores que afectan la productividad, gestión de materiales, optimización de recursos.

(1) Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago Costa Rica, (506) 88360363, gleandro@itcr.ac.cr.

1. Introducción

La industria de la construcción es considerada una actividad estratégica en la economía mundial pues contribuye significativamente al Producto Interno Bruto de las naciones y genera gran cantidad de empleo. En países en vías de desarrollo, se reporta que el sector construcción aporta al PIB entre un 3-5%, y suministra empleo a una proporción importante de la población mundial (emplea alrededor de 111 millones de trabajadores de todos los sectores industriales (Ngowi, 2002; UNEP, 2003). Pero además su crecimiento impulsa el desarrollo de otros sectores de la economía tales como el comercio, el mercado inmobiliario y la industria asociada entre otros.

En Costa Rica la actividad de la construcción tiene un papel fundamental en los procesos de crecimiento y desarrollo nacional, pues genera infraestructura física tal como puertos, aeropuertos, carreteras, viviendas, hospitales, escuelas hoteles etc., así como empleo directo a miles de habitantes. La Cámara Costarricense de la Construcción reportó 88.465 empleos formales en el sector construcción en el mes de noviembre de 2017, lo cual representa casi un 16% del total de empleos formales registrados en la Caja Costarricense de Seguro Social. Es asimismo un vehículo de inversión, incentivando la actividad y el empleo de muchos sectores productivos proveedores del mismo.

A pesar, de importantes aportes a la economía mundial es una realidad que la actividad de la construcción y la industria asociada, contribuyen en un alto porcentaje con la degradación ambiental. Estadísticas disponibles indican que la construcción y operación de las edificaciones son responsables de impactos negativos tales como; un 12-16 % del consumo de agua, un 25% de la madera cosechada; un 30-40 % del consumo energético; un 40% de los materiales vírgenes extraídos, un 20-30% de las emisiones de gases de efecto invernadero (Macozoma, 2002), de hasta un 57% de residuos sólidos que terminan en sitios de disposición final, ruido, polvo (Lu and Yuan, 2011), 20-30% de emisiones de gases de efecto invernadero, de generación de residuos pues se estima que un 15% de los materiales comprados para la construcción terminan como desecho, además de, cambio en el uso de la tierra, incluyendo destrucción de flora, degradación estética, corrupción, riesgos para la salud y ocupacionales, entre otros (UNEP, 2003).

La construcción ha sido tradicionalmente considerada como una actividad lineal con suministros de materiales y como resultado generación de residuos. Este enfoque supone, erróneamente, que existen recursos naturales ilimitados que están a disposición del proceso, y que hay un receptor de gran tamaño que absorbe los residuos (Macozoma, 2002) sin embargo, la realidad es otra. Mehta (2001), comenta que solamente el 6% del flujo global de materia-

1. Introduction

The construction industry is considered a strategic activity in the world economy because it contributes significantly to the Gross Domestic Product of nations and generates a large amount of employment. In developing countries, it is reported that the construction sector contributes between 3-5% of GDP, and provides employment to a significant proportion of the world's population (employs about 111 million workers from all industrial sectors (Ngowi, 2002, UNEP, 2003), but also its growth drives the development of other sectors of the economy such as commerce, the real estate market and the associated industry, among others.

In Costa Rica, the construction activity plays a fundamental role in the processes of national growth and development, as it generates physical infrastructure such as ports, airports, roads, homes, hospitals, hotels, etc., as well as direct employment for thousands of inhabitants. The Costa Rican Chamber of Construction reported 88 465 formal jobs in the construction sector in November 2017, which represents almost 16% of the total formal jobs registered in the Costa Rican Social Security Fund. Additionally, the activity promotes investment and increases employment of other sectors which are providers of this industrial sector.

Despite its important contributions to the world economy, it is a reality that the construction activity and the associated industry, contribute highly to the environmental degradation. Reports indicate that the construction and operation of the buildings are responsible for the negative impacts such as; 12-16% of water consumption, 25% of harvested wood; 30-40% of the energy consumption; 40% of virgin extracted materials and 20-30% of greenhouse gas emissions (Macozoma, 2002), up to 57% of solid waste that end up in final disposal sites, noise, dust (Lu and Yuan , 2011), 20-30% of greenhouse gas emissions, of waste generation since it is estimated that 15% of materials purchased for construction end up as waste, in addition to, change in land use, including destruction of flora, aesthetic degradation, corruption, health risks and occupational risks, among others (UNEP, 2003).

The construction activity has traditionally been considered as linear with material supply that generate waste. This approach assumes, mistakenly, that there are unlimited availability of natural resources for processes, and that there is a large receiver that absorbs this waste (Macozoma), which is not the reality. Mehta (2001), comments that only 6% of the global flow of materials, approximately 500 billion tons per year, actually end in the desired products while most of the virgin materials are returned to the environment in the form of gaseous and solid and liquid waste causing pollution.

Studies carried out by various authors in Costa Rica

les, aproximadamente 500 billones de toneladas al año, realmente finalizan en los productos deseados mientras que la mayor parte de los materiales vírgenes se devuelve al medio ambiente en la forma de residuos sólidos, líquidos, y gaseosos provocando contaminación.

Estudios realizados por diversos autores en Costa Rica, han indicado la ineficiencia en el uso de los materiales en varios proyectos constructivos. Se reportaron valores de 24,1 kg/m² en una construcción de vivienda de 190 m², así como un promedio de 115 kg/m² en tres proyectos (2 casas de lujo y una nave industrial), hasta 700 kg/m² en una construcción de dos hoteles (Abarca-Guerrero, 2014; Leandro-Hernández, 2006; Ramirez-Cartín, 1995). La mala gestión de los materiales de construcción y su relación con la generación de residuos ha sido reconocida como un problema que tiene implicaciones muy importantes tanto para la eficiencia de la actividad como para el impacto ambiental de los proyectos constructivos (Formoso, et al., 2002).

El impacto negativo que representa este desperdicio de recursos en la construcción, se manifiesta no solamente por la pérdida de materiales convertidos en residuos, sino también por baja productividad de los recursos especialmente de la mano de obra. El incremento de la productividad de un proceso es altamente dependiente del recurso humano que se emplee (Leandro-Hernández, 2008). De acuerdo a la misma autora, proyectos de construcción donde los procesos sean bien planeados, seguros y en donde se haga un esfuerzo por reconocer la capacidad y habilidad individual, tendrán efecto directo en la motivación, habrá menor ausentismo y un incremento en la productividad. Por tanto, es importante eliminar aspectos que puedan causar desmotivación en los trabajadores e implementar aspectos positivos que al final se reflejarán en una mejor ejecución de la obra y en el cumplimiento de objetivos. Pérdidas por desperdicio de materiales y baja productividad de la mano de obra no solamente afectan al ambiente sino al costo y tiempo de ejecución de los proyectos, lo que justifica la necesidad de que en los proyectos de construcción se optimicen estos recursos (Abarca-Guerrero & Leandro-Hernández, 2016).

Además, es importante para los contratistas y encargados de la construcción estar familiarizados con los métodos principales para evaluar la productividad de los materiales utilizados y desechados, de equipos manipulados y de los obreros que desarrollan las distintas actividades (Shehata y El-Gohary, 2011).

La productividad en la industria ha sido estudiada según lo sugerido por Hernández Lao (1993) mediante la relación entre los recursos utilizados y los productos obtenidos. Es así como Serpell (2002) define la productividad en la construcción como la medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un proyecto específico,

have indicated the inefficiency in the use of materials in several construction projects. Values of 24,1 kg / m² were reported in a 190 m² house. Other report shows an average of 115 kg / m² in three projects (2 luxury houses and a warehouse) and up to 700 kg m² in the construction of two hotels (Abarca-Guerrero, 2014, Leandro-Hernández, 2006, Ramirez-Cartin, 1995). The poor management of construction materials and their relationship with the generation of waste have been recognized as a problem that has very important implications both for the efficiency of the activity and for the environmental impact of the construction projects (Formoso, et al., 2002).

The negative impact of waste in construction projects, is related not only by the loss of materials converted to waste, but also by low productivity of resources, especially labor. The increase in the productivity of a process is highly dependent on the human resources used (Leandro-Hernández, 2008). According to the same author, projects that are well planned, considering safety issues and the recognition of individual capacities and skills, would have positive impact on motivation. There will be less absenteeism, and better profits obtained due to increased productivity. Therefore, it is important to eliminate aspects that may cause demotivation in workers and implement positive aspects that will be reflected in better performance and the fulfillment of the objectives. Waste and low labor productivity not only affect the environment but also the cost and time of the projects. This justifies the need for resource optimization in the construction projects (Abarca-Guerrero & Leandro-Hernández, 2016).

It is important for contractors and building contractors to be familiar with the main methods for evaluating the productivity of used and discarded materials, of manipulated equipment and of the workers who carry out the various activities (Shehata and El-Gohary, 2011).

Productivity in the industry has been studied as suggested by Hernández Lao (1993) through the relationship between the resources used and the products obtained. Serpell (2002) defines productivity in construction as the measure of the efficiency with which resources are managed to complete a specific project, within a set timeframe and with a given quality standard. However, productivity in construction projects is affected by a large and varied number of factors whose effect is not always easy to identify and / or quantify (Serpell, 1986). Studies have shown that the productivity of the construction industry remains very low compared to other industries. Productive work is established in a range between 40% and 60%, that is, the difference becomes non-productive work (Oglesby et al., 1989). According to Botero (2004), the construction of direct indicators of productivity demonstrates how, by increasing productive times and reducing non-contributory (losses), the efficiency in the use of labor is increased,

dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dada. Sin embargo, la productividad en los proyectos de construcción es afectada por un gran y variado número de factores cuyo efecto no es siempre fácil de identificar y/o cuantificar (Serpell, 1986). Estudios han demostrado que la productividad de la industria de la construcción se mantiene muy baja comparada con otras industrias. El trabajo productivo se establece en un rango entre el 40% y 60%, es decir, la diferencia se convierte en trabajo no productivo (Oglesby et al., 1989). Según Botero (2004), la construcción de indicadores directos de productividad demuestra cómo, al aumentar los tiempos productivos y disminuir los no contributivos (pérdidas), se aumenta la eficiencia en la utilización de la mano de obra, generando aumentos considerables de la productividad en las obras ejecutadas.

Los crecientes requerimientos ambientales y los recursos ilimitados por un lado y la competitividad por otro, indican que los contratistas deben tener la capacidad de mejorar continuamente su desempeño (Samson and Lema 2005). Enshassi et al. (2007) establece que para que la productividad sea mejorada deben primero estudiarse los factores que la están afectando. Olomolaiye et al. (1998) (Citado por y Enshassi, Mohamed, Mustafa & Mayer, 2007), indica que los factores que afectan la productividad pueden variar de un país a otro y de un proyecto a otro y aún dentro del mismo proyecto dependiendo de la situación.

Esta investigación se desarrolló con el objetivo de dotar al sector construcción costarricense, de herramientas que ayude a minimizar el efecto negativo que causa la generación de residuos y la baja productividad en los proyectos por medio de la optimización de los recursos de materiales y mano de obra en edificaciones.

2. Metodología de la investigación

La Investigación realizada se clasifica como mixta. A continuación, se presenta la metodología utilizada para el cumplimiento de los objetivos.

2.1 Determinación de las causas de generación de residuos y buenas prácticas para su reducción

Se revisó en la literatura, la información existente en Costa Rica y en el exterior sobre las causas de generación de residuos. Se realizaron visitas a sitios de construcción de pequeñas medianas y grandes empresas y mediante la aplicación de cuestionarios con preguntas semi-estructuradas, como instrumento de medición, se entrevistaron arquitectos, ingenieros civiles, maestros de obra, gerentes de proyecto y trabajadores, sobre la percepción de las causas de generación de residuos y buenas prácticas utilizadas.

Se contactaron 10 empresas innovadoras que desa-

generating considerable increases in productivity in the work executed.

Increasing environmental requirements and limited resources on one hand and competitiveness on the other, indicate that contractors must have the capacity to continually improve their performance (Samson and Lema 2005). Enshassi et al. (2007) state that for productivity to be improved, the factors that are affecting it must first be studied. Olomolaiye et al. (1998) (Quoted by and Enshassi, Mohamed, Mustafa & Mayer, 2007), indicate that the factors that affect productivity may vary from one country to another and from one project to another and even within the same project depending on the situation.

This research was developed with the objective of providing the Costa Rican construction sector with tools that can help minimize the negative effect caused by the generation of waste and low productivity in projects through the optimization of material resources and labor.

2. Investigation methodology

Next, the methodology used to fulfill the objectives is presented. The research carried out is classified as mixed.

2.1 Determination of the causes of waste generation and good practices for its reduction

The existing information in Costa Rica and abroad on the causes of waste generation was reviewed. Visits were made to construction sites of small medium and large companies. Questionnaires with semi-structured questions were applied to different members of the sector as well as interviews to architects, civil engineers, foremen, project managers, workers about their perception of the causes of waste generation and good practices to avoid it.

Ten innovative construction companies that apply good practices for waste reduction were contacted to obtain their good experiences in order to share them with other companies. Five of them supported the collection of information by means of the expert consultation technique. In addition, interviews were conducted with personnel from institutions such as the Costa Rican Construction Chamber and the Federation of Engineers and Architects to define the contents of a proposed material management guide.

2.2 Generation of a tool for construction material management for waste reduction

With the information collected a Guide was created for the efficient management of construction materials. It is pretended to be used as a tool for consultation and guidance purposes by foremen and anyone

rollaron buenas prácticas para la reducción de residuos con el fin de obtener sus experiencias y transmitir las a otras empresas y se trabajó con 5 a través de la técnica de consultas con expertos. Además, se realizaron entrevistas a personal de instituciones como la Cámara Costarricense de la Construcción y el Colegio Federado de Ingenieros, para decidir los contenidos de la guía. La información cualitativa recolectada sirvió de insumo para generar un instrumento de aplicación en los proyectos de construcción.

2.2 Generación de una herramienta para la reducción y gestión de residuos de la construcción

Con la información recolectada por medio de los instrumentos y fuentes de información descritas, se generó la Guía para el manejo eficiente de materiales de construcción, con el objetivo de servir como una herramienta de consulta y guía para evitar la generación de residuos, a través del conocimiento y control de las causas que los producen y de una adecuada gestión de los materiales. Esto se hizo en conjunto con la Cámara Costarricense de la Construcción la cual participó en la formulación de los contenidos. La guía además incluye la identificación de los residuos que se generan durante la edificación de una obra. Durante el desarrollo de este objetivo, empresas grandes contribuyeron con la información de las buenas prácticas que esas empresas implementan. Los resultados fueron socializados en un taller en la Cámara de la Construcción con la participación de 30 profesionales de empresas constructoras, miembros del gremio y estudiantes. Las buenas prácticas identificadas fueron presentadas mediante talleres de discusión y retroalimentación, ante diversas instituciones nacionales e internacionales del sector. La guía se validó en dos proyectos de construcción y se encuentra en la dirección https://www.kpesic.com/wp-content/uploads/2018/02/GUIA_MANEJO_MATERIALES_CONSTRUCCION.pdf.

La Fig.1 muestra la portada de la guía desarrollada la cual se titula Manejo Eficiente de Materiales de Construcción.

2.3 Identificación de las causas que afectan la productividad

Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva sobre los factores que afectan la productividad a nivel mundial. Para determinar estos factores a nivel nacional, se efectuaron 135 entrevistas a trabajadores de la construcción, 5 a gerentes de proyecto y 10 a ingenieros de proyecto con el objetivo de identificar su percepción sobre las variables que afectan la productividad. Los resultados se clasificaron de acuerdo a la etapa de la construcción en donde se toma la decisión que puede afectar la productividad. Este material servirá para identificar acciones y recomendaciones que puedan aplicarse para minimizar el

that want to minimize waste generation by knowing and controlling the causes that produce waste.

During the development of this objective, large companies contributed with information related to good practices implemented in their projects. The results were socialized in a workshop in the Costa Rican Construction Chamber with the participation of 30 professionals from construction companies, members of the sector and students. The good practices identified were presented and discussed with members of other institutions before various national and international institutions. Furthermore, the guide was validated in two construction projects. It can be accessed at the following internet address: https://www.kpesic.com/wp-content/uploads/2018/02/GUIA_MANEJO_MATERIALES_CONSTRUCCION.pdf. Fig.1 shows the cover of the guide called "Guide for the Efficient Management of Construction Materials".



Fig. 1. Guía "Manejo Eficiente de Materiales de Construcción". Guide for the Efficient Management of Construction Materials.

2.3 Identification of causes that affect productivity

A comprehensive literature review was made on the factors that affect productivity worldwide. To determine these factors at the national level, 135 interviews were carried out with construction workers, 5 with project managers and 10 interviews with project engineers in order to identify their perception of factors affecting productivity. The results were classified according to the project phase where the decision can affect productivity. This material will serve to identify actions and recommendations that can be applied to minimize the effect on productivity of these causes. This material is part of a Manual of

efecto que sobre la productividad tengan estas causas. Este material forma parte de un Manual de buenas prácticas para el incremento de la productividad en proyectos de construcción.

2.4 Generación de un Manual para el incremento de la productividad en los proyectos de construcción

El resultado de este objetivo es el Manual de buenas prácticas. Este fue presentado y entregado al sector a través de la Comisión de Competitividad de la Cámara Costarricense de la Construcción. Se entregó el primer borrador el cual será objeto de análisis y trabajo de revisión en la continuación del proyecto aprobado para los años 2018-2019. La Fig. 2 representa la portada del primer borrador del manual.

good practices for increasing productivity in construction projects.

2.4 Manual for increasing productivity in construction projects

The expected result of this objective is the Manual of good practices for increasing productivity in construction projects. This was presented and delivered to the sector through the Competitiveness Commission of the Costa Rican Chamber of Construction. It will be the object of analysis and work in the continuation of the project approved for the years 2018-2019. Fig. 2 shows the cover of the first draft of the manual.

CAUSES	PROJECT STEP
<ul style="list-style-type: none"> Lack of knowledge of products in the market and its units (inches, feet, meters) while designing Modular construction systems not considered during designing (systems for walls, doors and windows, concrete blocks, ceilings and laminated ceilings, floors, door frames and windows) Oversight the material dimensions available in the market: steel, rod length, galvanized iron sheets for roof, corrugated roof, light wall sheets (gypsum densglass, others), concrete blocks, products used in the electromechanical system, counts the geometry of different products combined 	Design
<ul style="list-style-type: none"> Selection of low quality products Errors in the purchase order causing that what arrives to the construction site is either more or less material than required Impossibility to order or buy smaller quantities of materials and the remainders stay as waste Errors in the shipment and in the purchase by the supplier Use of wrong material which needs to be replaced The materials purchased do not meet the technical specifications 	Procurement
<ul style="list-style-type: none"> Damages during transportation The materials arrive very poorly packed Inappropriate storage that causes damage and deterioration Oversight during the handling of materials by the working group Lack of environmental culture of workers Lack of technical direction to the crew Expiration of some material during the construction process 	Material management
<ul style="list-style-type: none"> Design changes during construction Inadequate construction site design Use of incorrect material Absence of on-site material control Damages to the infrastructure already installed caused by a supplier of other services (for example, breakage of wooden frames already placed by glass installers) Unclearly in required quantities due to bad work planning Delays in providing to the contractor the technical specifications of the materials to be used Errors of suppliers or labours Incorrect equipment selection Equipment failures Unused materials and products Deficient skills of the workforce Time pressure 	Operation
<ul style="list-style-type: none"> Waste generated in the construction process itself Packing material Pre-existing demolitions 	Residues
<ul style="list-style-type: none"> Losses due to vandalism or theft Natural conditions Absence of waste management plans 	Other activities

Cuadro 1. Causas que generan residuos en los proyectos de construcción, Ana Grettel Leandro H., 2018. Causes of waste generation in construction project, Ana Grettel Leandro H., 2018.

3. Resultados y discusión

3.1 Causas de Generación de residuos

El Cuadro 1 presenta las causas de generación de residuos identificadas en proyectos de construcción en Costa Rica, clasificadas de acuerdo a la etapa del proyecto donde se genera.

Los diseñadores de edificaciones tienen la percepción de que no son responsables de la generación de residuos durante el proceso constructivo, pero durante esta investigación se trabajó con el Colegio de Arquitectos, se determinaron las causas atribuibles al diseño y se recopiló las buenas prácticas reportadas tanto en la literatura como por arquitectos e ingenieros nacionales.

Se determinaron causas que generan residuos debido a: el proceso de gestión de compra y adquisiciones de los materiales, a la mala gestión de los materiales durante el proceso constructivo, a las actividades propias de la ejecución del proyecto y a situaciones varias como por ejemplo el clima y desastres naturales.

Se percibe del estudio que no todas las causas de generación de los residuos tienen la misma significancia. Es decir, unas tienen más recurrencia que otras. Este tema será objeto de estudio durante 2018-2019.

A partir de las causas identificadas se diseñó una guía para el manejo eficiente de los materiales la cual ha creado interés en el sector sobre el tema, tanto a nivel de las empresas grandes asociadas a la Cámara Costarricense de la Construcción como en la Asociación Costarricense de Maestros de Obras y otras entidades públicas y empresas privadas. Internacionalmente también ha sido reconocida como una herramienta útil y de interés en otras latitudes por lo que el Banco Mundial solicitó la realización de un webinar para todos los países de habla hispana y la producción de un curso en línea en el futuro cercano.

La guía contiene las causas de generación de residuos clasificadas en categorías y a su vez buenas prácticas recomendadas por las empresas grandes.

La validación de la guía en dos proyectos constructivos, mostró su utilidad, pero también evidenció la necesidad de adaptar el lenguaje a uno más simple de entender por parte de los maestros de obra y a la necesidad de desarrollarla de una manera más popular. Esta actividad se desarrollará en el transcurso del 2018.

3.2 Factores que afectan la productividad

El Cuadro 2, presenta los resultados de las variables identificadas agrupadas de acuerdo a las etapas de planeamiento, diseño y ejecución de la obra. Esta

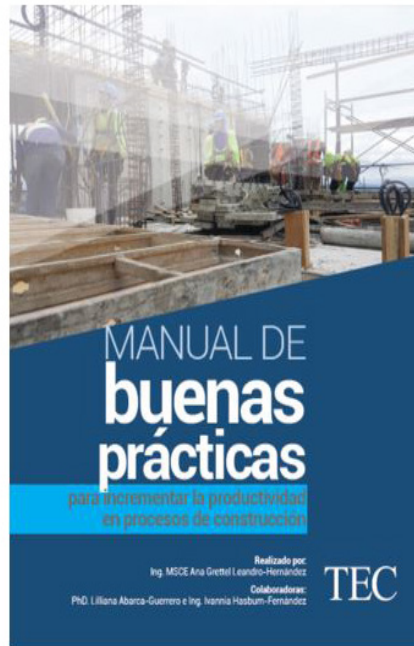


Fig. 2. Portada del Manual de buenas prácticas para incrementar la productividad en procesos de construcción. Cover of the first draft of the Manual of good practices for increasing productivity in construction projects.

3. Results and discussion

3.1 Causes of waste generation

Table 1 presents the causes of generation of waste identified in construction projects in Costa Rica, classified according to the stage of the project where it is generated. They were the following categories: design, procurement, material management, operation, residuals and others.

Building designers have the perception that they are not responsible for the generation of waste during the construction process, but in this investigation the causes attributable to design were determined together with The Costa Rican Architects' Association. Good practices from both literature and national architects and engineers were collected.

It is perceived from the study that not all causes of waste generation have the same significance. There are some that occur more frequently than others. This is a study subject during 2018-2019.

The guide prepared has created a lot of interest in the sector, both at level of the large companies associated with the Costa Rican Construction Chamber and the Costa Rican Association of Construction Masters, other public institutions and private companies. Internationally it has also been recognized as a useful and interesting tool, so that the World Bank requested the creation of a webinar for all Spanish-speaking countries and the production of an online course in the near future.

The validation of the guide in two construction projects, not only showed its usefulness, but also the need to adapt the language to a simpler one to be understandable by foreman and also the need to develop it in a more popular way. This activity will take

STAGE	VARIABLE
<p>Planning</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Unclear instructions or misunderstanding by laborers • Project size • Lack of coordination between design disciplines • Project complexity • Construction method complexity • Bad planning • Environmental conditions considered while programming the project
<p>Design</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Project size • Lack of coordination between design disciplines • Project complexity • Accomplishment of legal regulations • Construction method complexity • Information transfer systems • Lack of modulation in the dimensions of the walls • Lack of quality in the construction process • Site topography • Environmental conditions (high or low temperature, high or low humidity, strong winds) • High water table
<p>Execution</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Lack of basic services (eating tables, toilets) • Lack / delay inspection by engineer • Restricted access to construction site • Soil conditions • Lack of work flow definition • Absence of planning for preliminary tasks • Order changes • Skills of hand laborers • Cleanness of the construction site • Reduced working spaces • Long travel distances • Low quality of elements and materials • Crew size • Lack of quality of final finishing of the elements • Lack of quality of the constructive process • Excess of other tasks • Fatigue • Low work motivation • Stress motivated by boss • Lack of punctuality • High absenteeism of labors • Quantity and time of recesses • Inactivity periods • Problematic inter-worker relationships • Personal problems • Lack of confidence in the task being developed • Health problems • Activities performed slow • Labors age • Absence of a waste management plan including areas for waste classification • Fatigue cause for working 7 days a week, extra hours with no recess • Absence of safety and hygiene plan • Lack of incentives • Coordination with contractors or sub-contractors • Location of equipment and materials storage • Repetitive process for the transport of materials and equipment • Bad work load distribution • Lack of supervision of tasks being performed • Shortage of materials, tools and equipment • Bad quality of materials • Bad inventory management • Bad quality of tools and machinery • Poor equipment maintenance • Purchase of incorrect parts • Availability of crane or forklift • Equipment failures • Tasks at high altitudes • Noise • Climbing stairs • Site topography • Environmental conditions (temperature, humidity, hard winds) • High water table • Complaints from neighbors • Shortages of basic services (electricity and water) • Lack of space (e.g. project area is in an already inhabited residential area) • Lack of planning related to movement of materials and vehicles

Cuadro 2.
 Variables que afectan la productividad en proyectos de construcción, Ana Grettel Leandro, 2018.
 Variables that affect productivity of manpower in construction projects, Ana Grettel Leandro, 2018.

clasificación se realiza a solicitud de los miembros del Comité de Competitividad quienes consideran que es más fácil identificar las causas si estas se ubican en la etapa en donde se produce.

Una vez identificadas las variables, fueron presentadas a los miembros de la Comisión de Competitividad de la Cámara Costarricense de la Construcción quienes consideraron que para una mejor visualización y prevención se clasificaran de acuerdo a las etapas del proyecto.

Las variables que afectan la productividad de la mano de obra se manifiestan durante el proceso de ejecución, sin embargo, algunas de estas dependen de decisiones que se toman durante las etapas de planificación y diseño tal es el caso de métodos y sistemas constructivos, la falta de modulación y estandarización de los diseños, el desconocimiento de las condiciones del sitio y factores climáticos no considerados durante en estas etapas entre otras.

Del cuadro anterior se desprende que la productividad de la mano de obra de un proyecto, puede verse afectada por múltiples variables o factores los cuales pueden clasificarse como técnicos, administrativos, de recurso humano, y externos. El grado de influencia y efecto que estos factores tengan sobre la productividad dependerá de la prontitud con la que se identifiquen y de las medidas correctivas que se apliquen.

Al ser la mano de obra el recurso más abundante en los proyectos de construcción, es de esperarse que algunas de estas variables estén relacionadas con factores personales tales como la motivación, la edad, la experiencia, la actitud y hasta la salud.

Políticas de administración del proyecto y de la empresa orientadas a la protección y bienestar de los trabajadores tales como el establecer un ambiente de trabajo seguro, dotarlos de los equipos de seguridad que estimulen en ellos la confianza y realizar el trabajo en forma segura, el establecimiento de planes de incentivos, la capacitación permanente, el contar en el proyecto con servicios básicos y salarios justos son medidas que ayudarán a disminuir el efecto negativo que sobre la productividad puedan tener estos factores humanos

Otras variables tienen relación con el suministro de materiales y equipo por lo que se requiere que estos sean presupuestados y entregados en cantidades y condiciones de uso adecuadas para el trabajo a realizar y que cumplan con estándares y requerimientos de calidad.

La planificación y establecimiento de planes de proyecto que incluyan medida permanente de la productividad, análisis, mejoramiento y control de los procesos constructivos es una herramienta valiosa para mitigar y eliminar efectos negativos de facto-

place during 2018.

3.2 Variables that affect productivity

Table 2 presents the results of the identified variables grouped according to the stages of planning, design and execution of the Work.

The variables that affect productivity of hand labor are shown mainly during the execution process, however, some of these depend on decisions that are taken during the planning and designing stages such as selection of the construction methods and systems, use of modulation and standardization in designs, lack of knowledge on site conditions, climatic factors, among others.

From the previous table it is clear that the labor productivity of a project can be affected by multiple variables or factors which can be classified as technical, administrative, human resource, and external. The degree of influence and effect that these factors have on productivity will depend on the promptness with which they are identified and the corrective measures that are applied.

As labor is the most abundant resource in construction projects, it is to be expected that some of these variables are related to personal factors such as motivation, age, experience, attitude and even health.

Some project and company management policies aimed at the protection and welfare of workers. They have established a safe work environment, equipped them with safety gear that stimulates confidence in them, the establishment of incentive plans, permanent training, having basic services and fair wages will help to diminish the negative effect that these human factors have on productivity

Other variables are related to the supply of materials and equipment, so it is required that these should be budgeted and delivered in quantities and conditions of appropriate use for the work to be done and that they comply with standards and quality requirements.

Planning and the establishment of project plans that include permanent productivity measurements together with improvement and control of construction processes, is a valuable strategy to mitigate and eliminate the negative effects of factors such as losses due to transport and unnecessary movements of personnel, equipment and materials.

During this research, variables that affect productivity of construction projects according to international literature were compared to those identified in Costa Rican construction projects. It is observed that there are general factors that affect all projects, but it is also possible to identify specific local factors such as regulations and legal provisions.

res como pérdidas por transportes y movimientos innecesarios tanto de personal como de equipos y materiales.

Al analizar las variables o factores que afectan la productividad de los proyectos de construcción según la literatura internacional y los identificados en proyectos en Costa Rica, se observa que existen factores generales que se dan en todos los proyectos, pero también es posible identificar variables específicas locales tales como la normativa y las disposiciones legales.

4. Conclusiones

1. El estudio demostró que la mayoría de los proyectos de construcción producen residuos pues estos son inherentes a los procesos constructivos. Sin embargo, la cantidad de residuos que se generan puede minimizarse a través del control de las causas que los producen y de buenas prácticas en la gestión de materiales.
2. Los residuos en los proyectos pueden ser el resultado de decisiones que se toman desde las etapas previas del proyecto, razón por la cual es importante considerar desde las primeras etapas del proyecto acciones que ayuden a minimizar su generación.
3. Las causas de generación de residuos se pueden presentar en cualquier momento durante la ejecución del proyecto por lo que es necesario establecer planes de manejo y control de los residuos para evitar pérdidas innecesarias.
4. El conocimiento y análisis previo de las causas que pueden generar residuos es un elemento clave para su minimización esa es una de las razones para la elaboración de la Guía.
5. Algunas de las variables que afectan la productividad de la mano de obra dependen de decisiones que se generan durante tres de las etapas del ciclo de vida de un proyecto, es decir; en la planificación, diseño y construcción por lo que es importante en todo momento tener conocimiento de los procesos y métodos de construcción.
6. El manual de buenas prácticas para incrementar la productividad, es una herramienta de consulta de recomendaciones a seguir para corregir o disminuir el efecto que sobre la productividad pueden tener las variables identificadas.
7. La mayor cantidad de variables que afectan la productividad de la mano de obra se presenta durante la ejecución del proyecto, por lo que en esta etapa deben establecerse políticas para controlar y medir en forma constante los procesos, en aras de controlar a tiempo su efecto y poder oportunamente mejorarlos.

4. Conclusions

1. The study showed that the majority of construction projects produce waste since they are inherent in the construction processes. However, the amount of waste generated can be minimized through the control of causes that produce it and good practices applied.
2. Construction waste can be the result of decisions taken from the previous stages of the project. This is the reason why it is important to consider actions that help to minimize generation from the beginning of the project.
3. Causes of waste generation can occur at any time during the execution of the project so it is necessary to establish waste management and control plans to avoid unnecessary losses.
4. The knowledge and previous analysis of the causes that can generate waste is a key element for its minimization. This is an important reason for the preparation of the Guide.
5. Causes that affect the productivity of the workforce depend, most of time, on decisions that are taken during three of the stages of the project life cycle. That is during planning, design, and construction so, it is important at all times to be clear about construction processes and methods.
6. The manual of good practices to increase productivity is a tool for consulting recommendation to follow in order to correct or diminish the effect identified variables might have on productivity.
7. The greatest number of variables that affect the productivity of the workforce is during the execution of the project, so in this stage policies must be established for the constant measurement of the processes in order to control the effect of the variables and improve them.
8. There are multiple variables that affect the productivity of the construction processes, however, not all of the ones identified in this research are presented in all the projects. Each project is developed under different conditions and characteristics so that what can be influenced by variables inherent to the project.
9. The acknowledgement of the causes that affect the productivity of the hand labor in the processes allows to take anticipated measures to avoid them.

Acknowledgments

We thank Costa Rica Institute of Technology, the Costa Rican Construction Chamber and construction companies for the technical support.

8. Son múltiples las variables que afectan la productividad de los procesos constructivos sin embargo, no todas las identificadas en esta investigación, se presentan en todos los proyectos. Cada proyecto se desarrolla bajo condiciones y características diferentes por lo que lo que puede ser influenciado por variables inherentes al proyecto.
9. El conocimiento de las variables que afectan la productividad de la mano de obra, en los procesos, permite tomar medidas anticipadas para evitar que estas afecten negativamente, convirtiéndose en una herramienta para la planificación.

Agradecimientos

Agradecemos al Instituto Tecnológico de Costa Rica y a la Cámara Costarricense de la Construcción y a las empresas participantes en el proyecto por el apoyo en el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Abarca-Guerrero, L., (2014). A construction waste generation model for developing countries. PhD Dissertation. Eindhoven University of Technology.
- [2] Abarca-Guerrero, L., & Leandro-Hernández, A. G. (2016). Actual situation of construction materials management in Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(4), 111-122.
- [3] Baron, L. (2005). Propuesta de mejoramiento para la situación del trabajador de la construcción en Colombia. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia).
- [4] CCC. (Agosto 2018). Informe económico Agosto 2017, Dirección de Investigación y Desarrollo Técnico.
- [5] Eduardo, A.J. (Mayo 2018). Contribución económica del sector construcción e impacto del exceso de trámites, Academia de Centroamérica.
- [6] Enshassi, A., Mohamed, S., Mustafa, Z. A., & Mayer, P. E. (2007). Factors affecting labour productivity in building projects in the Gaza Strip. *Journal of civil engineering and management*, 13(4), 245-254.
- [7] Formoso, C. T., Soibelman, L., De Cesare, C., & Isatto, E. L. (2002). Material waste in building industry: main causes and prevention. *Journal of construction engineering and management*, 128(4), 316-325.
- [8] Koskela, L. (1992). Application of the new production philosophy to construction (Vol. 72). Stanford, CA: Stanford university.
- [9] Leandro-Hernández, A. G. (2008). Mejoramiento de los procesos constructivos. *Tecnología en Marcha*, 21(4), 64-68
- [10] Leandro-Hernández A. G. (2006). Discussion on quantities and sources of construction waste generation. Researcher Costa Rica Institute of Technology, Personal communication.
- [11] Macozoma, D. S. (2002). Construction site waste management and minimization: international report. International Council for Research and Innovation in Buildings, Rotterdam, available at: www.cibworld.nl/pages/begin/Pub278/06Construction.pdf.
- [12] Mehta, K. P. (2001). Reducing the environmental impact of concrete. *Concrete international*, 23(10), 61-66.
- [13] Ngowi, A. Challenges facing construction industries in developing countries (2002). *Build. Res. Inf.*, 30, pp. 149-151.
- [14] Ofori, G., Contemporary issues in construction in developing countries. SPON Press: New York.
- [15] Oglesby, C. H., Parker, H. W., & Howell, G. A. (1988). Productivity improvement in construction. USA, McGraw-Hill.
- [16] Olomolaiye, P., Jayawardane, A., & Harris, F. (1998). Construction productivity management. Longman.
- [17] Ramírez, M. (1995). Impacto físico y financiero de la generación de desechos sólidos en la construcción de dos proyectos hoteleros (Doctoral disertación, Tesis Lic., Universidad de Costa Rica. [Links]).
- [18] Samson, M.; Lema, N. M. 2005. Development of construction contractor's performance measurement framework. Department of Construction Technology and Management, University of Dar es Salaam, Tanzania.
- [19] Serpell, A. (2002). Administración de operaciones de construcción (2a edición ed.). Santiago, Chile: Alfaomega.
- [20] Shehata, M.E. & El-Gohary, K.M. (2011). Towards improving construction labour productivity and projects' performance. *Alexandria Engineering Journal*, 50, 321-330.
- [21] UNEP Industry and Environment (2003), Sustainable building and construction: facts and figures, September, pp 5-8.
- [22] United Nations Environment. Assembly of the United Nations Environment Programme Third session Nairobi, 4-6 December 2017 Item 9 of the provisional agenda* towards a pollution-free planet.

Cuantificación de la inercia térmica de los edificios basada en una nueva metodología de calibración para lograr edificios energéticamente flexibles

Accurate building thermal mass quantification based on a new calibration methodology for energy flexible buildings

Eva Lucas Segarra¹, Vicente Gutiérrez González¹, Germán Ramos Ruiz¹, Carlos Fernández Bandera¹

ABSTRACT

El aumento de la agregación a la red eléctrica de una mayor producción intermitente de energía renovable está provocando importantes desafíos en su gestión. De hecho, con la actual producción renovable del 10%, pueden surgir problemas en el sistema como la sobrecarga de las líneas o los transformadores. Esta proporción se prevé que aumente hasta el 30% en 2030 y hasta el 50% en 2050 para alcanzar los objetivos de la UE en la mitigación del cambio climático. En este contexto, se requiere una flexibilidad adicional en la red y nuevos sistemas de gestión energética. SABINA (SmArt BI-directional multi eNergy gAteway) es un proyecto de investigación e innovación financiado por la UE en el marco H2020 que tiene como objetivo utilizar la fuente de almacenamiento más económica posible: la inercia térmica existente en los edificios. Este sistema se basa en tres esquemas de gestión sinérgicos con diferentes horizontes temporales, dos a largo plazo y uno a corto. Gestión a largo plazo (horizonte diario), (1) convirtiendo el exceso de energía eléctrica en calor o frío y almacenándolo en la masa térmica de los edificios y (2) aprovechando las sinergias entre la red eléctrica y térmica a nivel de distrito, es decir, compartiendo la producción y el consumo de energías renovables para aumentar su penetración. Gestión a corto plazo (horizonte de segundos a minutos) (3), controlando eficazmente los inversores de producción de energía renovable para gestionar el impacto local de la generación distribuida. Estas estrategias permitirán a los agregadores proporcionar flexibilidad y equilibrar los servicios de la red, a la vez que beneficiarán a todos los agentes intervinientes en la producción, distribución, gestión y consumo energético. El primer paso para aprovechar la capacidad de almacenamiento térmico gratuito de los edificios es desarrollar un modelo energético detallado de alta calidad que capture la dinámica térmica del edificio real y pueda predecir de manera precisa su comportamiento térmico. Para ello, se desarrolla una innovadora metodología de calibración de la envolvente térmica basada en: un algoritmo que permita preservar la historia térmica del edificio y resuelva la inicialización térmica del modelo; el uso de las temperaturas reales del edificio (fáciles y económicas de monitorizar) como consigna dinámica durante el proceso de calibración y una herramienta de optimización basada en el uso de un algoritmo genético multi-objetivo (NSGA-II) para encontrar los parámetros que generan el modelo calibrado. Esta metodología produce una nueva generación de modelos que concilian el modelo tradicional basado en datos "data-driven model" y el modelo impulsado por leyes "law-driven model" en uno solo que hemos denominado "law-data driven model". Este documento describe los objetivos del proyecto SABINA y explica la metodología para obtener modelos calibrados de alta calidad, necesarios para cuantificar la inercia térmica de los edificios de manera precisa. Se ha utilizado un modelo sintético para probar la metodología y los resultados cumplen con los protocolos internacionales (FEMP, ASHRAE Guideline 14 e IPMVP) para la medida y verificación de modelos energéticos.

Key Words: Flexibilidad, calibración de modelos energéticos, inercia térmica, simulación energética, gestión energética.

(1) Escuela de Arquitectura, Universidad de Navarra, España, +34 649292542, elucas@unav.es

1. Introducción

La creciente demanda mundial de energía, la reducción prevista de los combustibles fósiles disponibles y la evidencia del crecimiento del calentamiento global durante las últimas décadas han generado un gran interés en las fuentes de energía renovables. La penetración de las energías renovables está aumentando rápidamente en todo el mundo y se espera que esta tendencia continúe ya que varios países cuentan con objetivos muy ambiciosos. Sin embargo, estas fuentes de energía, como la eólica y solar, tienen una intermitencia intrínseca que puede afectar seriamente la estabilidad del sistema energético cuando representen un alto porcentaje de la generación total. Para acomodar una alta penetración de estas fuentes de energía renovables, se requiere una flexibilidad adicional en la red, así como nuevos sistemas de gestión.

2. Proyecto Sabina (SmArt Bi-directional multi eNergy gAteway) (AA.VV., SABINA, 2018)

SABINA aspira a facilitar la integración masiva de fuentes de energía renovables en la red aprovechando que:

- Compartir la producción y el consumo de energías renovables permite una mayor penetración de las mismas.
- Las sinergias entre la red eléctrica y térmica a través de la inercia del edificio. Esta propiedad está disponible en todas las construcciones de forma gratuita y permite un gran almacenamiento de energía
- Un mejor control de los inversores de la red puede complementar la gestión de la demanda en el control del impacto local de la generación distribuida.

Esta configuración única permitirá a los agregadores proporcionar servicios de flexibilidad y balance a la red beneficiándose los usuarios finales, los administradores de energía, los centros de distribución y producción, así como las instalaciones de generación.

El núcleo del concepto se basa en un recurso gratuito, la inercia térmica del edificio. Desafortunadamente, el valor de la inercia es difícilmente cuantificable. En ese contexto, se propone una nueva metodología para la identificación automática de la inercia térmica del edificio basada en un modelo energético detallado que, tras su calibración, capta la dinámica térmica real prediciendo con fiabilidad su comportamiento.

3. Calibración de modelos

3.1. Introducción

1. Introduction

The increasing global energy demand, the foreseen reduction of available fossil fuels and the increasing evidence of global warming during the last decades have generated a high interest in renewable energy sources. The penetration of renewable energy sources is increasing rapidly worldwide and this trend is expected to continue as several countries already have highly ambitious targets. However, energy sources, such as wind and solar power, have an intrinsic variability that can seriously affect the stability of the energy system, if they account for a high percentage of the total generation. In order to accommodate a high penetration of variable renewable energy sources, additional flexibility in the grid and new management systems are thus required.

2. Project Sabina (SmArt Bi-directional multi eNergy gAteway) (AA.VV., SABINA, 2018)

SABINA aims allowing a massive integration of renewable energy sources on the grid by taking advantage of:

- Sharing the renewables production and consumption allows a higher penetration of renewables.
- Synergies between the electric and thermal grid through building thermal inertia. This property is available in all constructions for free and allows a high storage of energy.
- Better control of grid-feeding inverters that can complement demand-side management to control the local impact of distributed generation.

This unique configuration will allow aggregators to provide flexibility & balancing services to the grid and will result in a win-win solution for end users, energy managers, distribution and production as well as energy generation facilities.

The core of the concept relies on a freely available resource, the building inertia. Unfortunately, the thermal inertia value is difficultly quantifiable. In that context, it is proposed a novel automatic building thermal inertia identification based in a detailed high-quality energy model that captures the thermal dynamics of the real building and accurately predicts its behaviour.

3. Model calibration

3.1. Introduction

The process to create calibrated models is usually developed in two stages. First, the geometry and the component description using reasonable parameter values is established; the next step involves the

El proceso para crear modelos calibrados generalmente se desarrolla en dos etapas. Primero, se establece la geometría y la descripción de los componentes utilizando parámetros razonables; el siguiente paso implica la comparación entre los resultados del modelo con los datos reales para luego realizar el ajuste de ciertos parámetros hasta que el error entre los resultados obtenidos y los datos reales esté dentro de los límites establecidos por los protocolos internacionales (Tabla 1). Este ajuste de los parámetros del modelo puede ser manual, el más usual, o automático (Coakley, Raftery, & Molloy, 2012). De las metodologías de calibración automáticas basadas en procesos de optimización, existen numerosos tipos. La mayoría tienen el consumo de energía como objetivo de la calibración en vez de las curvas de temperatura. De hecho, aunque un buen ajuste de estas curvas de temperatura (simulada vs. medida) garantiza que el modelo ha capturado la dinámica térmica, pocos estudios utilizan la temperatura simulada como objetivo de calibración. La metodología propuesta recurre a la temperatura medida en el interior del edificio para encontrar los parámetros de la envolvente y de los elementos constructivos interiores. Una vez calibrados estos parámetros, se garantiza que el comportamiento del modelo se corresponde con el del edificio real.

Esta metodología tiene como objetivo producir modelos que toman datos de las mediciones reales de un edificio (modelo basado en datos), y los utilizan en modelos teóricos (modelos basado en leyes). Este proceso reproduce la historia térmica del edificio como si de un termostato dinámico se tratara. El objetivo es, por un lado, pre-calentar-enfriar el edificio antes de comenzar el proceso de calibración; y, por otro lado, mantener la consigna dinámica durante todo el proceso de calibración permitiendo que no se pierda la historia térmica durante los periodos de libre oscilación. Esta es la contribución principal de la metodología: una función objetivo sencilla que proporcione un poderoso estímulo al algoritmo y que permite mantener una consigna dinámica para cada zona térmica. Esta metodología ha sido publicada en un artículo (Fernández Bandera & Ramos Ruiz, 2017) donde se ha comprobado en un escenario real.

3.2. Metodología de calibración

En los edificios, hay muchas incertidumbres con respecto a los elementos constructivos ya que el proceso de construcción no es perfecto y las características de los materiales no siempre se conocen con precisión. En el proyecto SABINA, el objetivo del modelo energético es el análisis del almacenamiento de energía en su masa, por lo que la calibración de estos parámetros es especialmente relevante.

La Fig. 1 representa la metodología de calibración propuesta y sus pasos (Ramos Ruiz, Fernández Bandera, Gómez-Acebo Temes, & Sánchez-Ostiz Gutierrez, 2016): (1) creación del modelo de simulación

comparison between the model outputs with actual data, and then the adjustment of certain parameters until the error between the simulated outputs and the actual data is within the limits established by the international protocols for the calibrated simulation models (Table 1). This adjustment of the model parameters can be manual, the most usual, or automated (Coakley, Raftery, & Molloy, 2012). Within the automated calibration approaches based on optimization processes, there are numerous methods but most of them use energy consumption as the objective of calibration instead of temperature curves. Indeed, although a good fit between temperature curves (simulated vs. measured) guarantees that the model has captured the heat dynamics, few studies use the simulated temperature as the calibration target. The proposed methodology uses the indoor measured temperature to find a calibrated envelope and indoor constructive elements. Once the envelope is calibrated, it is guaranteed that the model behaviour corresponds with the real situation.

The proposed methodology aims to produce models that take data from the measurements of an operational rating (data-driven model) and put them into a model like that used by the asset rating (law-driven model). This procedure reproduces the thermal history of the building as a dynamic set-point. The goal is, on one side, pre-heat or pre-cool the building before the calibration process starts, and on the other hand, maintain the dynamic set-point during the whole calibration process and thus the thermal history of the building during the free indoor temperature oscillation period is not lost. This is the main novel contribution of this methodology: an easier objective function that gives a powerful stimulus to the algorithm and allows the maintenance of the dynamic set-point during the calibration process. This new objective function is the energy consumed to maintain the dynamic set-point temperature of the thermal zone. This methodology has been published in an article (Fernández Bandera & Ramos Ruiz, 2017) where it has been tested in a real test case scenario.

3.2. Calibration methodology

In buildings, there are many uncertainties regarding the constructive elements as the construction process is not perfect and the characteristic of the materials involved are not always accurately known. In the SABINA project, the building energy model goal is the analysis of the energy storage in the building thermal mass, so the calibration of these parameters is especially relevant.

Fig. 1 represents the calibration methodology proposed and its steps (Ramos Ruiz, Fernández Bandera, Gómez-Acebo Temes, & Sánchez-Ostiz Gutierrez, 2016): (1) creation of the Building Energy Simulation model (BES), (2) calibration of the BES and (3) selection of the best BES model and its evaluation against the international quality standards.

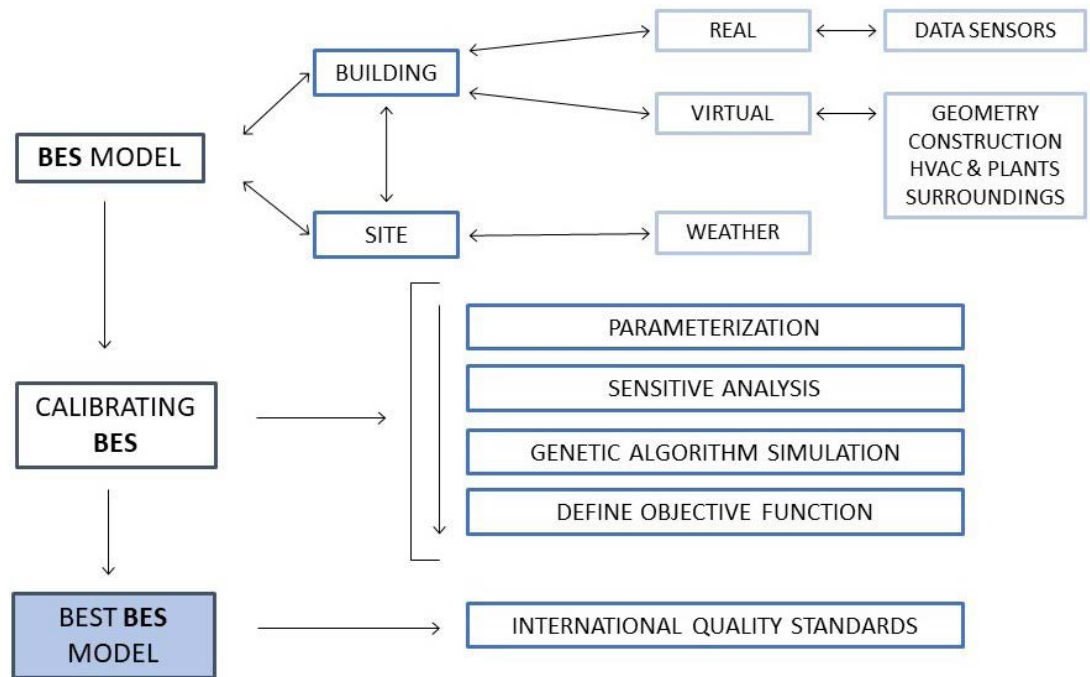


Fig. 1. Metodología de calibración. Calibration methodology.

energética, (2) calibración del modelo y (3) selección del mejor modelo y evaluación con estándares internacionales

3.2.1. Modelo energético

El primer paso es la construcción de un modelo energético, que es una representación digital del edificio real con los parámetros que le permiten al programa realizar las simulaciones correctamente. Aspectos como la forma del edificio, el entorno, la configuración de sus fachadas, los materiales y las cargas deben definirse en esta etapa. La mayoría de las metodologías de calibración utilizan modelos simples con 4 zonas térmicas, sin embargo, esta metodología utiliza un modelo detallado con tantas zonas como sea necesario teniendo en cuenta su comportamiento térmico. A continuación, el modelo se geolocaliza y se define uno de los parámetros más influyentes (Ramos Ruiz & Fernández Bandera, 2013), el clima. El proceso de calibración necesita un archivo meteorológico específico con los datos climáticos reales recopilados durante el período de medición. Esta metodología requiere que la temperatura interior sea introducida en el modelo. En general, el edificio contará con un sensor de temperatura por zona térmica, aunque un plan de monitorización previo debe llevarse a cabo para verificar la toma de datos.

El siguiente paso es definir los períodos de calibración. Este proceso propone utilizar diferentes períodos que combinen momentos de libre oscilación con momentos completos sin distinguir cuando el edificio está libre oscilando, así como períodos de diferente duración como, por ejemplo, todo un mes o únicamente un par de días.

3.2.2. Calibración del modelo energético

3.2.1. BES model

The first step is the construction of a BES model, which is a digital representation of the real building with parameters that allows the program to perform the simulations correctly. Aspects such as the shape of the building, the surroundings, the configuration of its façades, the materials and the loads need to be defined on this stage. Most calibration methodologies use simple 4 thermal zone models but this methodology uses a detailed model with as many thermal zones as necessary taking into account their thermal behaviour. Hereafter, the model is geolocated and, what is the most influential parameter (Ramos Ruiz & Fernández Bandera, 2013), the weather is defined. The calibration process needs a specific weather file of the real climate data collected during the measurement period. This methodology requires the indoor temperature to be introduced in the model. In general, the building should have one temperature sensor per thermal zone, although a previous monitoring plan should be done to verify the data points.

The next step is to define the calibration periods. This calibration process proposes to use different calibration periods including only free oscillation periods and complete periods without distinguishing the free oscillations times and also periods with different time lengths, for instance, taking a whole month or only two days.

3.2.2. Calibrating BES model

In order to reach the calibrated model, the first step is to make a parameterization that establishes the search space of the optimization problem; then a sensitivity analysis of the different parameters of

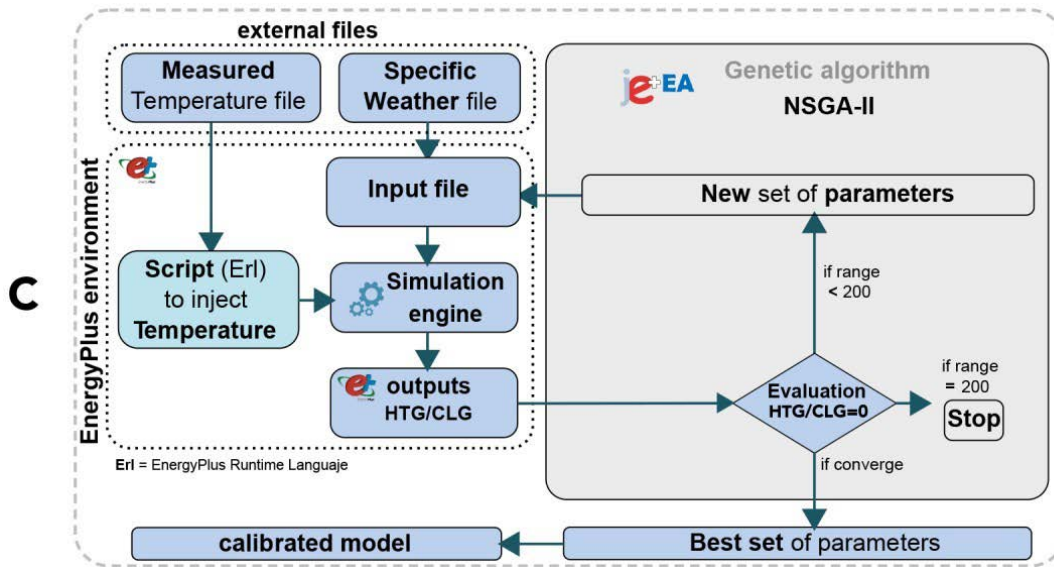


Fig. 2. Metodología de optimización. Optimization methodology.

Para llegar al modelo calibrado, el primer paso es realizar una parametrización que establezca el espacio de búsqueda del problema de optimización. Posteriormente, se realiza un análisis de sensibilidad de los diferentes parámetros de los elementos constructivos para reducir dicho espacio de búsqueda y seleccionar únicamente los parámetros más sensibles. El espacio de búsqueda resultante es tan grande que calcular todas las posibilidades es inviable, es por ello que se utiliza un algoritmo genético (NSGA II) para resolver el problema de optimización. El siguiente paso es definir la función objetivo que guiará al algoritmo en el proceso de búsqueda de buenas soluciones. En esta metodología, se definen dos funciones objetivo, el consumo de calefacción y de refrigeración mínimos para mantener la temperatura de consigna en cada zona térmica. Esta energía debería ser cero en la calibración durante los períodos de libre oscilación y mínima en los períodos completos cuando el modelo tiene los parámetros correctos. La Fig. 2 muestra el procedimiento de optimización.

El proceso de optimización comienza con la introducción en el modelo de la historia térmica del edificio previa al período de calibración (para comenzar con la inercia térmica correcta) y durante este período. Después de cada simulación, se obtienen los resultados de EnergyPlus del consumo de calefacción y refrigeración. El proceso continúa con la evaluación de estos resultados por el algoritmo genético que, mientras que esté dentro del rango del número de generaciones, crea una nueva generación a simular teniendo en cuenta los resultados obtenidos durante la evaluación previa. Cuando se han completado todas las generaciones el proceso se detiene y los modelos se almacenan.

3.2.3. Metodología de selección del mejor modelo

Para seleccionar el mejor modelo de la lista de modelos proporcionados por el algoritmo necesitamos

the building constructive elements is carried out to reduce the search space and only the most sensitive parameters are selected. Since the search space does not permit the simulation of all the possibilities, as it would be overly time-consuming, a genetic algorithm (NSGA II) is used to solve the optimization problem. The next step is to define the objective function that will guide the algorithm in the search process for good model solutions. In this methodology, two objective functions are defined, the minimum heating and cooling consumption to maintain the dynamic set-point temperature of the thermal zone. This energy should ideally be zero in the calibration with free oscillation periods and minimum in the calibration with complete periods if the model has the right parameters. Fig. 2 shows the calibration procedure.

The optimization process starts with the script which reproduces the "internal climate" before the calibration period (to start with the correct thermal inertia) and during this period. After each simulation, the EnergyPlus results of heating and cooling consumption are obtained. The process continues with the evaluation of these results by the genetic algorithm which, if the range is under the number of generations, creates a new set of parameters to simulate taking into account the results analysed during the evaluation. When all generations are performed, the process stops and the models are stored.

3.2.3. The BEST model selection methodology

To select the best model from the list of models generated by the algorithm, we need to find the right index that will lead us to it. As thermal inertia is the key element of the SABINA project, the best way of ensuring that the model captures the thermal dynamics of the real building is that the model should represent the temperature responses of the real building with high accuracy. This has to be combined with the calibration methodology where the

encontrar los índices de incertidumbre apropiados. Como la inercia térmica es un elemento clave del proyecto SABINA, la mejor manera de garantizar que el modelo captura la dinámica térmica del edificio es comprobar que el modelo reproduce las temperaturas del edificio real con precisión. Esto debe combinarse con la metodología de calibración donde la energía consumida en el periodo de libre oscilación es la función objetivo. Para lograrlo, se propone una nueva metodología estadística. Está basada en las correlaciones existentes entre varios índices de incertidumbre (ej. MAPE, Mnse, md y EMAX) con el cálculo de la proximidad entre la temperatura real y simulada y su relación con el nivel de energía consumida en el proceso de calibración. La selección del índice de incertidumbre más apropiado para evaluar el rendimiento del modelo calibrado se basa en ajustar los valores simulados y medidos en una banda lo más estrecha posible en la gráfica de dispersión. El ancho de esta banda se conoce como λ y el valor más típico es $\lambda=0.5$ °C. Por otro lado, el índice que mide la cantidad de valores dentro de dicha banda es el P-factor (λ). Estos parámetros pueden ser observados en la Fig.4.

energy of the free oscillation period is the objective function. To achieve this, a new statistical procedure is proposed. It compares the performance of various uncertainty indexes (e.g. MAPE, Mnse, md and EMAX) in the calculation of proximity between real and simulated temperatures and their relationship with the level of consumed energy in the calibration process. The selection of the most appropriate uncertainty index to evaluate the performance of the calibrated model is based on the adjustment of the simulated and measured temperature values in the narrower possible band in the dispersion graph. The wide of the band is λ and the typical value for this band is $\lambda=0.5$ °C. On the other hand, the index that measures the amount of values in that band is P-factor (λ). In Fig.4 all this can be observed.

Once the best model is selected, it must be checked its fulfilment of the requirements set by the regulations of calibrated models from ASHRAE (ASHRAE, 2002), International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP, 2012) and FEMP (Federal Energy Management Program) (AA.VV., 2015) (Table 1).

Tabla 1. Criterios para modelos calibrados. Criteria for calibrated models.

Index	Monthly calibration			Hourly calibration		
	ASHRAE	IPMVP	FEMP	ASHRAE	IPMVP	FEMP
NMBE [%]	± 5	± 20	± 5	± 10	± 5	± 10
CV (RMSE) [%]	15	---	15	30	20	30
R2		> 75%			> 75%	

Una vez que se selecciona el mejor modelo, debe verificarse que cumpla con los requisitos establecidos por los protocolos internacionales de medida y verificación para modelos calibrados: ASHRAE (ASHRAE, 2002), International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP, 2012) and FEMP (Federal Energy Management Program) (AA.VV., 2015) (Tabla 1).

3.3. Synthetic case study

For the validation of the methodology, it has been tested in a synthetic model. The selected building is part of the Architecture School located at the University of Navarra (Spain). It is mainly used as an administration building with a floor area of 755.04 m2. The model has been divided into 25 thermal zones, one for each room (Fig. 3).

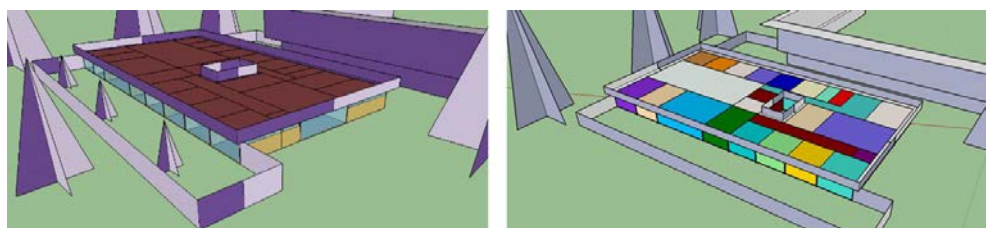
3.3. Caso estudio sintético

La validación de la metodología se ha realizado con un modelo sintético. El edificio seleccionado forma parte de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Navarra (España). Se utiliza principalmente como un edificio administrativo con una superficie de 755.04 m2. El modelo se ha dividido en 25 zonas térmicas, una para cada espacio (Fig. 3).

The calibration methodology was implemented with 16 different calibration periods from April to July 2017, and then the evaluation methodology was implemented. In this case, the indexes that best correlate the proximity between real and simulated temperatures (maintaining a good P-factors with a small λ value) and minimum energy consumption are MAPE (Mean absolute Percent Error), Emax (Maximum Absolute Error), MAE (Mean Absolute Error), mNSE (Modified Nash-Sutcliffe efficiency) and md

La metodología de calibración se implementó en 16

Fig. 3. A la izquierda el modelo de simulación energética y a la derecha las diferentes zonas térmicas. On the left the model, on the right the model with the different thermal zones.



MODELO	ENERGY	MAPE	E _{max}	MAE	mNSE	md	P-factor (0.15)	P-factor (0.2)	P-factor (0.25)
04_MAY1	10	1	2	1	1	1	99.80%	100.00%	100.00%
03_MAY1	5	2	1	2	2	2	99.84%	100.00%	100.00%
08_MAY1	8	3	5	3	3	3	99.57%	100.00%	100.00%
06_MAY1	12	4	6	4	4	4	98.74%	100.00%	100.00%
09_MAY1	4	5	12	5	5	5	99.40%	100.00%	100.00%
05_MAY1	7	6	4	6	6	6	99.40%	100.00%	100.00%
17_MAY1	16	7	7	7	7	7	97.96%	100.00%	100.00%
10_MAY1	9	8	11	8	8	8	95.07%	100.00%	100.00%
02_MAY1	3	9	3	9	9	9	98.42%	100.00%	100.00%
14_MAY1	13	10	19	10	10	10	98.45%	99.87%	100.00%

Tabla 2.
10 mejores modelos.
10 best models.

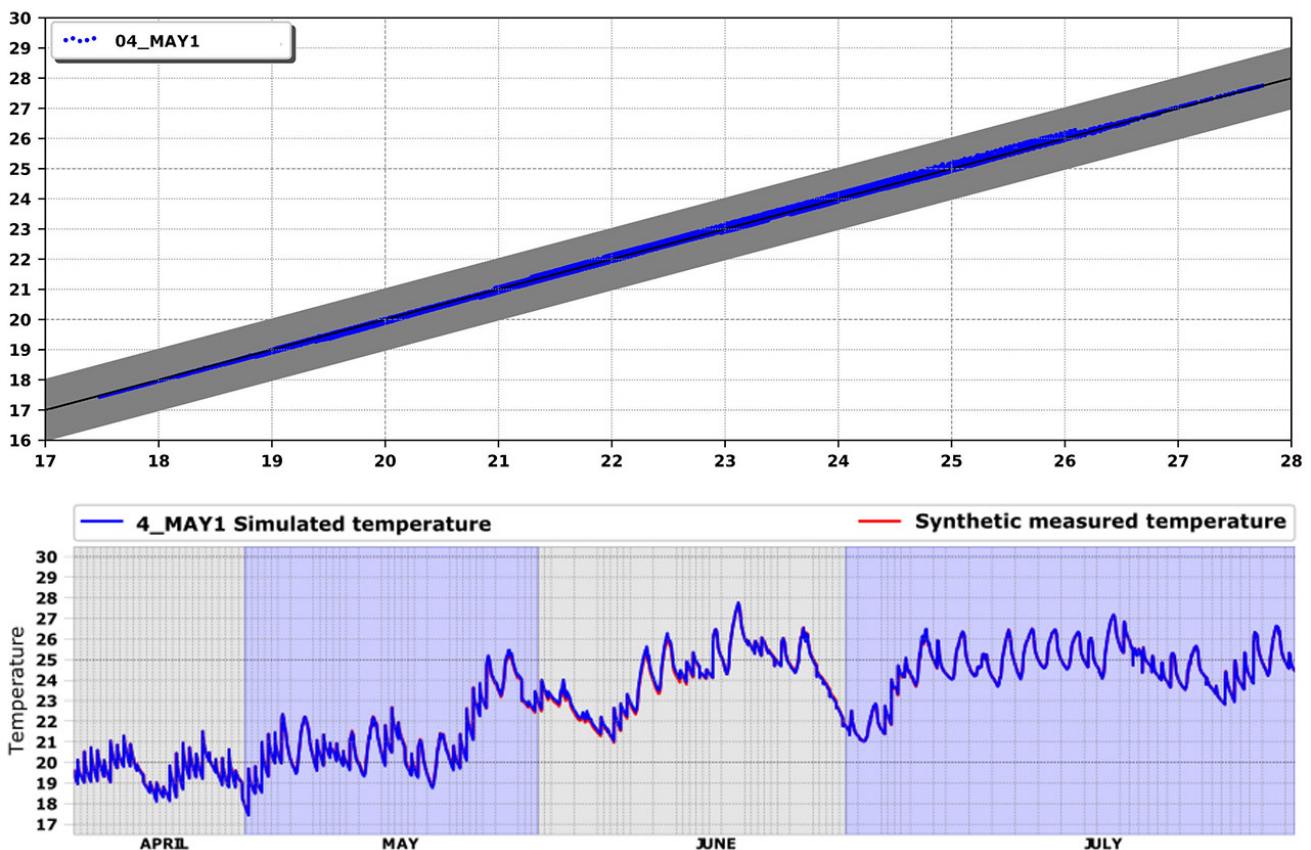
períodos de calibración diferentes entre abril y julio de 2017 y, a continuación, se implementó la metodología de evaluación. En este caso, los índices que mejor correlacionaron la proximidad entre las temperaturas reales y simuladas (manteniendo un P Factor alto con un λ bajo) y un mínimo consumo de energía son MAPE (Mean absolute Percent Error), E_{max} (Maximun Absolute Error), MAE (Mean Absolute Error), mNSE (Modified Nash-Sutcliffe efficiency) y md (modified index of agreement). La tabla 2 ofrece los resultados ordenados por el índice MAPE y el mejor modelo es 04_MAY1, calibrado en un período de libre oscilación de mayo.

El mejor modelo tiene un R² (Coeficiente de Determinación) del 99,94%, un NMBE (Normalized Mean Bias Error) del -0,02% y un CV(RMSE) (Ramos Ruiz & Fernández Bandera, 2017) (Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error) del 0,28% que cumplen con los requisitos de los protocolos internacionales para los modelos calibrados (Tabla 1). La Fig. 4 repre-

(modified index of agreement). Table 2 offers the results ordered by MAPE index and the best model is 04_MAY1, which was calibrated in a free oscillation period of May.

The best model has an R² (Coefficient of Determination) of 99,94%, a NMBE (Normalized Mean Bias Error) of -0,02% and a CV(RMSE) (Ramos Ruiz & Fernández Bandera, 2017) (Coefficient of Variation of RMSE) of 0,28% that comply with the requirements of the international protocols for model calibration (Table 1). Fig. 4 represents the comparison between the indoor temperature produced by the best model and the measured temperature. The upper-part of the figure represents a scatter plot where the central line marks the point where all the values should be and the grey band shows a range of $\pm 1^\circ\text{C}$. The lower part of the figure shows the same results but ordered by time. It can be seen as it reproduces accurately the measured temperature.

Fig. 4.
Arriba: dispersión de temperatura del mejor modelo. Abajo: temperatura simulada vs medida mejor modelo.
Above: Temperature dispersion best model. Below: Simulated vs measured temperature best model.



senta la comparación entre la temperatura interior producida por este modelo y la temperatura medida. La parte superior es un diagrama de dispersión, donde la línea central marca el punto en el que deben estar todos los valores y la banda gris muestra el rango de $\pm 1^\circ\text{C}$. La parte inferior muestra los mismos resultados, pero ordenados por tiempo. Se puede ver como reproduce con precisión la temperatura medida.

4. Identificación de la inercia térmica

La masa térmica de un edificio puede considerarse como una batería que se carga y descarga con la energía que suministran los sistemas de climatización, las cargas internas y la radiación solar. El objetivo del proyecto SABINA es aprovechar este almacenamiento de calor gratuito para aumentar la penetración de las energías renovables. El siguiente ejemplo tiene como objetivo identificar el almacenamiento de calor en el edificio y muestra el comportamiento térmico del edificio bajo diferentes estrategias. Para este estudio, se requiere un modelo de alta calidad y para ello se ha utilizado el mejor modelo de la sección anterior. El análisis se ha realizado para Dinamarca, ya que es uno de los emplazamientos de prueba del proyecto SABINA, y se ha analizado una semana de invierno.

En este caso, se considera la energía renovable disponible durante la noche, por ejemplo, energía producida por aerogeneradores. Las distintas estrategias consumen esta energía durante la noche y la almacenan en la masa del edificio para, posteriormente, aprovecharla durante el día con el objetivo de consumir la energía renovable disponible en períodos de baja demanda y reducir el consumo de calefacción en el período ocupado, cuando la red podría estar sobrecargada.

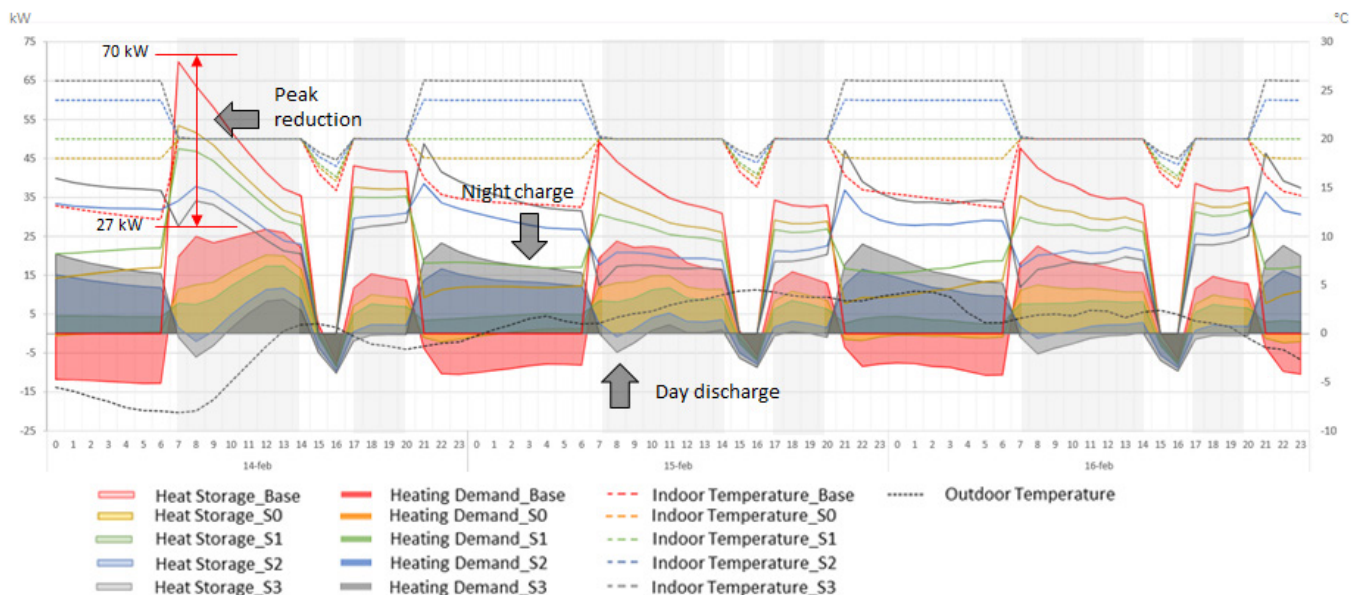
4. Thermal mass identification

The thermal mass of a building can be thought of as a battery that is charged and discharged with the heat from the HVAC systems, the internal loads and the solar radiation. SABINA project's purpose is to take advantage of this free heat storage to increase the penetration of renewable energy sources. The following study aims to identify the dynamic heat storage of the building and shows the building thermal performance under different strategies. For this study a high quality model is required and the best calibrated model from the previous section is used. The study is located in Denmark, one of the SABINA project's test sites location and a winter week is analysed.

This case study considers available renewable energy during the night time, e.g. energy from wind turbines. The strategies will use that "access" energy during the night and store it in the building mass, then use it during the day with the aim of consuming the available renewable energy in low demand periods and reducing heating consumption in the occupied period, when the grid could be overloaded.

Fig. 5 shows that, in the baseline case, the building mass is charged during the day, what means that part of the energy consumption is used to charge it, and it is discharged by night. 4 strategies were implemented introducing 4 different night set-points to charge the building mass using the available renewable energy. The objective of the strategies is to use this energy to decrease the charge of the thermal mass during the day and so reduce the heating demand in that period when the grid could be overloaded. All the implemented strategies generate a reduction in the peak demand in the first occupied hours and a demand reduction during the rest of the occupied hours. In the strategies 2 and 3, the thermal

Fig. 5. Estrategias de almacenamiento térmico en el edificio. Building heat storage strategies.



La Fig. 5 muestra que, para el caso base, la masa del edificio se carga durante el día, lo que significa que parte de la energía se ha usado para cargarla, y se descarga por la noche. Para este estudio, se han desarrollado 4 estrategias que implantan 4 consignas de temperatura nocturnas diferentes para introducir energía en la masa del edificio utilizando las energías renovables disponibles. El objetivo de las estrategias es utilizar la energía renovable disponible para reducir la carga de la masa térmica durante el día y así disminuir la demanda de calefacción en ese período, cuando la red podría estar sobrecargada. Todos los casos analizados generan una reducción de la demanda pico en las primeras horas de ocupación y un descenso en la demanda durante el resto de horas de ocupación. En las estrategias 2 y 3, la masa térmica del edificio se descarga durante la mañana y proporciona al aire interior el calor almacenado durante la noche.

5. Conclusión y futuros trabajos

Esta nueva metodología genera modelos calibrados que nos permiten predecir el comportamiento térmico de un edificio e identificar su almacenamiento térmico de forma dinámica y precisa. El almacenamiento de calor se puede utilizar en los procesos de optimización para aumentar el uso de energía renovables y proporcionar flexibilidad a la red, que es el objetivo del proyecto SABINA.

La metodología de calibración ha sido probada en un modelo sintético. Cabe señalar que esta metodología se encuentra en proceso de estudio y por ello podría verse mejorada a medida que el proyecto avanza. El siguiente paso en el proyecto SABINA es aplicar la identificación de la inercia térmica en un test de laboratorio y posteriormente, tanto la metodología de calibración como la identificación de la inercia térmica en los emplazamientos reales del proyecto: Dinamarca y Grecia. Esta fase supone un importante reto ya que los resultados obtenidos con el modelo sintético deben trasladarse al modelo real, una vez se disponga de los datos por parte del proyecto.

mass of the building is discharged during the morning providing the stored heat during the night to the indoor air.

5. Conclusion and future works

This novel methodology generates calibrated model that predicts the thermal behaviour of a building and identify its dynamic heat storage in an accurate way. This building heat storage can be used in the optimization processes to increase the use of renewable energy sources and provide flexibility to the grid, which is the purpose of the SABINA project.

The methodology has been tested in a synthetic model. It is important to note that this calibration methodology is an open procedure that could be improved as the project moves forward. The next step in the SABINA project is to apply the thermal mass identification in the test lab and the calibration methodology and the thermal mass identification in the real test sites in Denmark and Greece. This phase is a challenging stage because the results from the synthetic model have to be transferred to the real model once real data is available from the project.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] AA.VV. (2015). M&V Guidelines: Measurement and Verification for Performance-Based Contracts. Version 4.0. U.S. Department of Energy Federal Energy Management Program.
- [2] AA.VV. (2016). SABINA. Obtenido de (SmArt BI-directional multi eNergy gAteway): <http://sabina-project.eu/>
- [3] ASHRAE. (2002). Guideline-14-2002, Measurement of Energy and Demand Savings. American Society of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia.
- [4] Coakley, D., Raftery, P., & Molloy, P. (2012). Calibration of whole building energy simulation models: detailed case study of a naturally ventilated building using hourly measured data. First Building Simulation and Optimization Conference, 57-64.
- [5] Fernández Bandera, C., & Ramos Ruiz, G. (2017). Towards a New Generation of Building Envelope Calibration. Energies, vol.10, nº12, 2102.
- [6] IPMVP, C. a. (2012). International Performance Measurement and Verification Protocol: Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings, Volume I. Efficiency Valuation Organization (www.evo-world.org).
- [7] Ramos Ruiz, G., & Fernández Bandera, C. (2013). Importancia del clima en la simulación energética de edificios. Jornadas internacionales de investigación en construcción: vivienda: pasado, presente y futuro: resúmenes y actas, Instituto Eduardo Torroja.
- [8] Ramos Ruiz, G., & Fernández Bandera, C. (2017). Analysis of uncertainty indices used for building envelope calibration. Applied energy, 185, 82-94.
- [9] Ramos Ruiz, G., Fernández Bandera, C., Gómez-Acebo Temes, T., & Sánchez-Ostiz Gutierrez, A. (2016). Genetic algorithm for building envelope calibration. Applied Energy, 168, 691-705.

Resultados de un proyecto colaborativo en materia de construcción eficiente: Manual E3CN

Outcomes from the Energy Efficiency Buildings Collaborative Platform: E3CN handbook

Iniciativa E3CN de AEICE¹, Gonzalo Alarcia², José Santos³, Jesús Menéndez⁴

ABSTRACT

La Directiva 2010/31/EU es la reglamentación europea relativa a la eficiencia energética de los edificios en el marco de la Unión. A escala nacional, el Real Decreto 564/2017 recoge de una manera controvertida la definición de Edificio de Consumo Casi Nulo (ECCN) en el Código Técnico de la Edificación (CTE).

Un grupo de empresas y profesionales especializados en materia de eficiencia energética y construcción sostenible, pertenecientes a la Agrupación Empresarial Innovadora de Construcción Eficiente (AEICE), se ofrecieron a desarrollar un documento que, según su criterio, debiera desgranar dicha Directiva Europea, que estudiara cómo otros países había afrontado este reto, y por último, que estableciera una pautas fáciles de seguir, para lograr diseñar un EECN con éxito por técnicos sin una especialización propia en dicho tema. Este documento ha evolucionado hasta la publicación reciente del manual E3CN.

También entendieron que, de este modo, el manual podría reunir unas pautas consensuadas y revisadas entre los expertos, que pudieran ser tomadas como un conjunto de buenas prácticas para el resto del sector, incluidas las administraciones públicas.

El éxito de este grupo de trabajo colaborativo queda reflejado en la creación y publicación del manual: "Estrategias para el Diseño de Edificios de Energía Casi Nula", con información actualizada, contrastada y verificada para diseñar con éxito esta tipología de edificios. Este trabajo colaborativo fue realizado por un grupo de profesionales multidisciplinar que incluye los siguientes perfiles: arquitectos e ingenieros expertos en eficiencia energética y Passivhaus, empresas que trabajan la madera estructural y que industrializan elementos constructivos como muros pasivos, empresas fabricantes de materiales constructivos, profesores de universidad y personal de centros de investigación. En resumen, un grupo de profesionales y empresas relevantes en este sector, que, durante diez meses, trabajaron de un modo abierto y colaborativo, para redactar este manual.

Cada miembro del grupo aportó sus conocimientos, herramientas, esfuerzo, horas de trabajo e ilusión para publicar este Manual y ayudar de una manera directa, abierta y desinteresada a otros compañeros del sector de la construcción: proyectistas, promotores, y consultores.

El trabajo se inició con el debate sobre los temas a desarrollar. Surgieron múltiples líneas de trabajo de contenidos que como mínimo, a criterio de cada coautor, debería contener un buen manual para el diseño de Edificios de Energía Casi Nula, poco a poco, y con el consenso del grupo, se fue dando forma a los temas a tratar, cada uno colaboró aportado sus conocimientos sobre el tema que más dominaba y gracias a los diferentes enfoques, visión y conocimientos sobre esta línea de trabajo. Todas estas aportaciones, han dado como resultado este manual titulado: "Estrategias para el Diseño de Edificios de Energía Casi Nula", que aquí se presenta.

Key Words: Colaboración, innovación, capacitación, manual, EECN

(1) Cluste AEICE, Valladolid (Spain). (2) G33 Arquitectura y Urbanismo, Valladolid (Spain). (3) JST Arquitectura, Valladolid (Spain). (4) Zero Energy Lab, Burgos (Spain), comunicación@aeice.org.

1. El trabajo colaborativo como elemento diferencial

De la unión de distintos profesionales y empresas del sector de la construcción concienciadas en la necesidad de una construcción más eficiente y sostenible, y bajo el “paraguas” del clúster AEICE [Agrupación Empresarial Innovadora para la Construcción Eficiente], surgió el grupo de trabajo E3CN [Estrategias para Edificios de Energía Casi Nula].

Este grupo de trabajo multidisciplinar está integrado por empresas constructoras, centros de investigación, ingenierías, estudios de arquitectura, expertos en Passivhaus y eficiencia energética, fabricantes y suministradores y profesores de universidad.

Juntos, mediante reuniones presenciales periódicas, o mediante video-conferencias o video-llamadas, tratamos de abordar las diferentes inquietudes individuales o colectivas que se nos plantean para ponerlas en común y tratar de darlas respuesta.

Los objetivos, inquietudes y estrategias del grupo estuvieron desde un principio bastante claros.

- La primera inquietud fue definir, o tratar de consensuar, lo que a todas luces es un desamparo normativo en lo referente a los “edificios de energía casi nula”, en lo referente a la cantidad de energía que tiene que consumir un edificio para ser considerado como tal y qué normativa nacional se le ha de aplicar.

Por ello se decidió formar un subgrupo de trabajo que se encargase de hacer un estudio de las diferentes normativas y directivas que habían salido, y ver cómo estaban el resto de países que nos rodean.

- Otra línea de trabajo que surgió en la primera reunión fue la difusión. Se consideró muy necesario difundir y concienciar a los ciudadanos, que al final van a ser los usuarios de estos edificios, de las ventajas que conlleva vivir en un edificio de estas características.
- Por otro lado, se consideró también muy importante la formación a los técnicos que diseñan este tipo de edificios, por lo que se optó por la redacción y edición de un manual orientado a técnicos, en el que se muestren estrategias y experiencias de diseño aprendidas y replicables.
- Una vez establecidos las distintas líneas de trabajo e inquietudes de las empresas que conforman el grupo de trabajo, se decide abordarlas y tratar de darles respuesta.

1. Collaborative work as a differential element

The E3CN working group [Strategies for Near Zero Energy Buildings] emerged from the cooperation of different professionals and organisations related to the construction sector. These group of professionals who belongs to the AEICE cluster [Innovative Association for Efficient Construction] are aware of the need for more energy efficient and sustainable buildings.

This multidisciplinary working group embraces construction companies, R&D centers, engineering firms, architectural studios, experts in Passivhaus and low-energy efficiency, manufacturers and suppliers and universities.

Together, by regular office meetings and by video-conferences we try to address and answer both individual and organisational concerns and questions from the day-to-day practise work.

The objectives, concerns and strategies of the group were quite clear from early stages.

- The first concern was to define, or try to agree, what is clearly a normative definition in relation to “near zero energy buildings (NZEB)” and in comparison to the amount of energy that a building has to consume to be considered as NZEB and what national regulations should be applied to it.

Therefore, it was decided to form a subtasks group responsible for making a study of the different regulations and directives that had come out recently and see how they were considered in other EU stated members

- Subtasks group that emerged in the first meeting was research dissemination. It was considered very necessary to disseminate and raise awareness among the citizens who, in the end, will be the users of these buildings to be able to understand the advantages of living in a building with these low-energy characteristics.
- On the other hand, it was also considered very important to train the professionals who design this type of buildings, so they opted for the writing and editing of a handbook oriented to architects and engineers, showing strategies and design from the experiences learned and potentially replicable.
- Once established the different lines of work and concerns of the companies that make up the working group, it is decided to address them and try to answer all of the questions asked.



Fig. 1. Reunión del grupo de trabajo de la iniciativa E3CN. Working meeting of the E3CN initiative.

La organización del grupo

Una de las principales propuestas del valor del trabajo colaborativo es la diferente orientación profesional de las empresas que forman el grupo, con las ventajas que la especialización y los diversos puntos de vista confieren para alcanzar un resultado final lo más amplio y accesible posible.

Así, en un primer estadio, se realizaron varias reuniones presenciales que, a partir de las aportaciones de todos los miembros del grupo, dio como resultado un primer índice de contenidos del manual.

Sobre este índice, y con el fin de hacer operativo el proceso de redacción, se dividieron las tareas en base a la especialización de cada uno de los miembros participantes. Los documentos redactados fueron accesibles en todo momento a los participantes, de forma que los redactores podían conocer y aportar sobre los contenidos generados por otros, en una redacción retroalimentada.

Una vez generado todo el contenido, con el fin de unificar criterios y estilo, un único miembro fue el encargado del trabajo de dar formato editable al manual.

2. Algunos resultados logrados

Desde la creación del presente grupo de trabajo se han materializado algunos resultados y/o actuaciones que permiten al grupo seguir avanzando, ampliar sus conocimientos y contactar con otros profe-

The organization of the group

One of the main proposals for the value of collaborative work is the different professional orientation of the companies that formed the group, with the clear advantages that specialisation and diverse points of view confer to achieve a final result as wide and accessible as possible.

Thus, in a first stage, several face-to-face meetings were held which, based on the contributions of all the members of the group, resulted in a first index of the handbook.

On this index, and to make the writing process more fluent, the tasks were divided according to the background and specialisation of each of the group members. The written documents were accessible at any time to the participants, so that the editors could know and contribute about the content generated by others, in a feedback-like format.

Once all the content was written and in order to unify the criteria and style, a unique member was in charge of editing the handbook.

2. Some results to date

Since the formation of the current working group, some ongoing actions to date are helping to expand the knowledge of its members and to network with other professionals from the same sector. A summary of these milestones are as follows:

sionales del sector.

- La primera actuación que se llevó a cabo fue la organización de una "Jornada de Edificios de Consumo Casi Nulo (ECCN)" el 4 de julio de 2017. Se planteó como una jornada de un día, con café-networking incluido, en el que se trató de acercar a los diferentes agentes de la cadena de valor del Hábitat y la Construcción en Castilla y León el concepto de ECCN; así como conocer la posición de la administración Europea, nacional y regional sobre el tema de ECCN y sus políticas de acción para impulsarlo. Se plantearon diversas líneas de debate entorno a cómo las nuevas tecnologías contribuyen a los ECCN o entorno a los "certificados y estándares de eficiencia energética".

La jornada tuvo muy buena acogida y el networking permitió poner en contacto a los diferentes ponentes invitados con los miembros del cluster y demás asistentes.

- The first action carried out was the organization of a "Near Zero Energy Buildings (NZEB) Conference" on July 4, 2017. It was a one-day event with networking coffee breaks, where the concept of NZEB was introduced to the different agents of the value chain of the Habitat and Construction sector in the region of Castile and Leon. The position of the European, national and regional administration on this field and their action policies aimed for promoting it was also exposed. Several areas for discussion and debate were raised around how new technologies contribute to NZEB and "energy efficiency certificates and standards".

The event was very well received and the networking allowed to bring not only the invited speakers but many members of the cluster and public in general together



Fig. 2.
Jornada ECCN AEICE
04/07/2017.
NZEB event. AEICE.
2017/07/04.

- En el mes de septiembre de 2017 se nos planteó al grupo E3CN acudir a la feria de Expobiomasa que se celebra en Valladolid, feria de referencia a nivel internacional con más de 18.000 asistentes, y disponer de un stand en el que se pudo compartir con los visitantes de la feria la visión del grupo y de las distintas empresas que trabajan en él, ya que no se pretendió que fuera un stand meramente institucional, sino el lugar de reunión y también exposición de las empresas presentes en el grupo E3CN con los asistentes. Para los miembros del grupo E3CN fue una fantástica toma de contacto con el sector, sus intereses y tendencias.
- In September 2017, the E3CN group was invited to attend the ExpoBiomasa fair (an international exhibition event with more than 18,000 attendees held in Valladolid) and to have a stand in which to share the mission and vision of both the group and its members as individual companies. This was not intended to be a merely institutional stand but a place to meet other attendees and to exhibit the activity of the enterprises that belong to E3CN. It was a great initial contact with the sector, its interests and trends for the members of the group.
- A la vista de todos los proyectos que se pretendían desarrollar desde E3CN, se propuso preparar una comunicación al "IV Congreso Edificios Energía Casi Nula 2017" organizado por el grupo Tecmared. La comunicación pretendía mostrar al resto de asistentes la creación de un grupo de trabajo formado por empresas especializadas
- Considering the current projects on development in E3CN, the group proposed to prepare a conference paper for the "IV NZEB Congress 2017" held in Madrid. Its aim was to explain the creation of a group of work formed by specialised enterprises and companies whose main objective is to develop several lines of action aimed at boosting the sector in a collaborative manner; as well as to



Fig. 3.
Stand de AEICE en
Expobiomasa 26-29/09/2017.
Stand of AEICE at
Expobiomasa 2017/09/26-29.

que pretende desarrollar de forma colaborativa diversas líneas de actuación enfocadas a dinamizar el sector; aprovechando para explicar la forma de organización y la importancia del trabajo colaborativo.

3. Manual EECN como resultado principal

La edición y publicación del manual "Estrategias para el Diseño de Edificios de Energía Casi Nula" ha sido el primer logro significativo y tangible del grupo de trabajo E3CN.

En él, se ha pretendido abordar el desafío que supone el diseño, construcción, mantenimiento, simulación y reciclaje o demolición de edificios de energía casi nula desde la experiencia y conocimiento de los diferentes profesionales que integran el grupo, lo que ha permitido que sea un manual de diseño basado en la experiencia y casos de éxito contrastados, más que en un manual teórico al uso.

El manual se ha estructurado en tres bloques diferenciados que siguen la lógica del proceso constructivo; además, se han incluido una serie de "demostradores" o "casos de éxito" que muestran una ficha de los edificios que, por comunidades autónomas, bien por su alta eficiencia energética, por el grado de innovación conseguido, por las certificaciones obtenidas, o por todo ello, se han considerado relevantes para estudiarse e incluirse en este "manual de diseño".

deepen in the way the group is organised and on the importance of collaborative work

3. Outcome: NZEB handbook publication

The edition and publication of the handbook "Strategies for the Design of Near Zero Energy Buildings" was the first significant and tangible milestone of the E3CN working group.

The document addresses the challenge of the design, construction, maintenance, simulation and recycling or demolition of near zero energy buildings from the experience and knowledge of the different professionals that form the group, which has allowed it to be a design guide based on experience and successful case studies, rather than the theoretical aspects described in other publications.

The handbook has been structured in three differentiated sections that follow the logic of the construction process; In addition, a series of "Beacon projects" or "success case-studies" have been included that show a record of the buildings that, by regional councils either by their high energy efficiency, by the degree of innovation achieved, by the energy performance certifications obtained or by all of these criteria, they have been considered relevant to be studied and included in this "handbook".



Fig. 4.
Logotipo de la iniciativa
E3CN.
E3CN initiative brand image.

A diferencia de otros manuales, es primero, que éste ha sido redactado por diversos profesionales especializados en la materia, haciendo un manual práctico, basado en su experiencia profesional. El grupo de redactores está formado por empresas de construcción, promotoras, fábricas de materiales de construcción o elementos industrializados, ingenierías, estudios de arquitectura, empresas aseguradoras, empresas mantenedoras, gestoras de activos inmobiliarios...y cada una de ellas ha aportado su experiencia profesional en el ámbito de los EECN.

Otra gran diferencia con otros manuales, muy ligado con la primera, es la estructura que se ha dado al manual. Se ha querido abordar el diseño de los EECN desde el ciclo de vida completo de un edificio de estas características, organizado en bloques. Así tenemos un bloque normativo, o estado del arte, una primera fase de diseño, después la fase de construcción y por último la fase de mantenimiento, operación y reciclaje. Ésta última fase está aun en redacción y se espera poder incorporarla en una segunda revisión digital de este manual. Destacar además, que se han anexado una serie de demostradores o casos de éxito de edificios que, a juicio de los redactores, pueden servir de inspiración y base para futuros edificios EECN.

El primer bloque en el que se estructura es el bloque "Definición, normativa y certificaciones". Este bloque, en su primer y segundo capítulos, hace un recorrido sobre las bases que sustentan la necesidad de generalizar la construcción de edificios de energía casi nula, como introducción necesaria para el resto del manual. Se trata del sustrato teórico sobre el que se desarrollarán las normativas y certificaciones y los desarrollos prácticos.

El primer paso para desarrollar el manual fue la definición del objeto que nos ocupa, es decir, los edificios de energía casi nula. Para ello se adoptó en un primer momento la definición establecida por la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo Europeo, relativa a la eficiencia energética de los edificios, según la cual un edificio de consumo de energía casi nula es "un edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, que se determinará de conformidad con el Anexo I. La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno."

Esta definición genérica, implica el establecimiento de valores límite de la demanda y del consumo energético, pero también incide en el origen de la energía necesaria, tanto en lo referente a las fuentes de energía como a la localización.

En la redacción de esta definición subyace la necesidad de reducir el impacto de nuestra sociedad

Unlike other handbooks, this one has been written by several professionals specialized in NZEB, creating a practical guide based on their experience. The group of editors is formed mainly by construction companies, promoters, manufacturers, engineering companies, architecture studios, insurance companies, maintenance companies and real estate asset managers.

Another significant difference with other handbooks, closely linked to the former, is the structure of the document. The design of NZEB is addressed in different sections, considering the complete life cycle of these buildings. Therefore, the book includes a first section of "state of the art", a second section that details the "first phase of design", a third section of "the construction phase" and a final one where the maintenance, operation and recycling phase is considered. This last chapter is still being drafted and will be included in a second digital review of this handbook. It should also be noted that a series of demonstrators or success case-studies of buildings, which can serve as an inspiration and as a basis for future NZEB, have been annexed.

The first block in which it is structured is the "Definition, regulations and certifications". This part, in its first and second chapters, covers the bases that support the need to standardise the construction of nearly zero energy buildings (nZEB) and also as an introduction to the book. It is the theoretical knowledge on which the regulations and certifications and practical case-studies developments will be developed.

The first step to integrate the handbook was the definition of the title, that is to say, the near zero energy buildings. To this end, the definition established by Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the European Council, concerning the energy efficiency of buildings, according to which a near zero energy building is "a building with a very high level of energy efficiency", which will be determined in accordance with Annex I. The near zero or very low amount of energy required should be covered, to a very large extent, by energy from renewable sources, including energy from renewable sources produced on site or in the environment. "

This generic definition implies the regulation of limit values for the building primary energy demand and energy consumption, but also affects the origin of the necessary energy, both in terms of energy sources and location.

In the drafting of this definition lies the need to reduce the impact of our society on the planet. In this case with regards to buildings and the construction industry, but extendible to the rest of the activities of our society. Although the handbook intends to have a technical nature, it is essential to highlight the final target of the development of these methods of

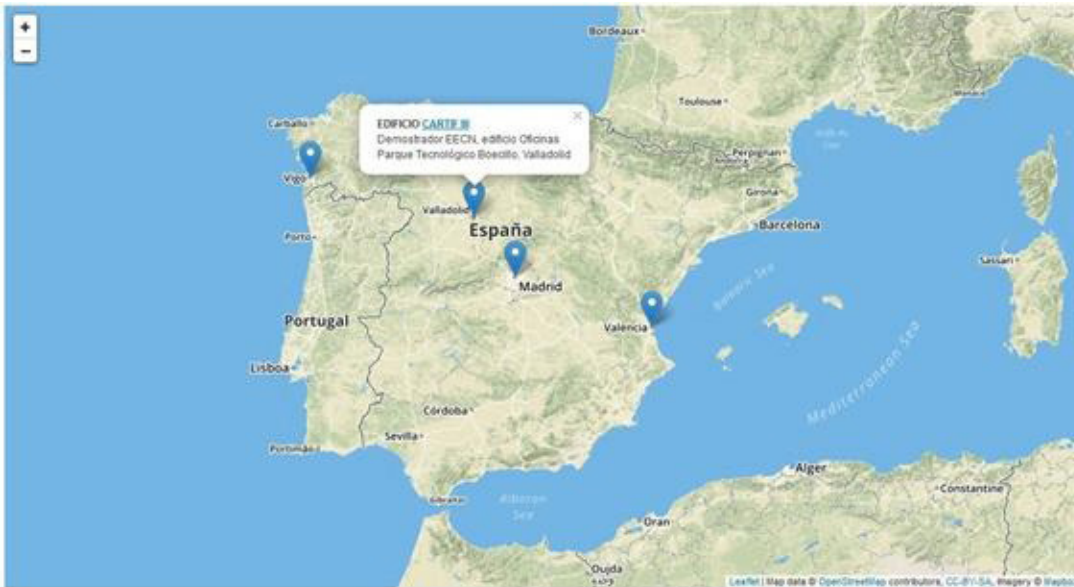


Fig. 5. Captura de pantalla del programa de "demostradores". Screenshot of the 'demonstrators' online tool.

en el planeta, en este caso en lo que se refiere a los edificios y a la industria de la construcción, pero extensible al resto de las facetas de nuestra sociedad. A pesar de que el manual pretender tener un carácter técnico, es imprescindible hacer hincapié en el objetivo final del desarrollo de este modelo de construcción, que es la conservación del medio ambiente.

Además de lo referente al ahorro y a la reducción de emisiones, es importante incidir en otra de las características de los edificios de energía casi nula: el confort.

Este tipo de edificios, en base principalmente a su diseño pasivo, alcanzan elevados estándares de confort, principalmente porque mantienen una temperatura y una humedad relativa muy uniforme entre las diferentes épocas del año y, dentro del edificio, entre diferentes estancias.

Paralelamente, los sistemas de climatización y acondicionamiento no necesitan de grandes picos de funcionamiento, por lo que se reduce la emisión de ruidos y vibraciones.

En control de la ventilación y la aplicación de filtros, se permite además, reducir la presencia de elementos en suspensión y, por tanto, reducir los efectos de contaminación, polvo y alergias en el interior.

A pesar de la dificultad para cuantificar estos beneficios, es innegable que además de la repercusión en el confort interior, suponen ahorros en gastos sanitarios.

En este mismo bloque se muestra la situación actual de los edificios de energía casi nula desde su definición y situación actual en España, la transposición de la Directiva Europea 2010/31/UE, los diversos estándares, sellos y certificaciones, hasta la certificación energética de estos edificios, que no son más que las

construcción, which is the conservation of the environment.

In addition to saving and reducing carbon emissions, it is important to have an impact on another of the characteristics of near zero energy buildings: comfort and indoor air quality (IAQ).

This type of buildings, based mainly on their solar passive design, reach high standards of comfort, mainly because they maintain a very uniform temperature and relative humidity between different seasons of the year and, within the building, between different rooms hence, reducing thermal stress.

At the same time, air conditioning and HVAC systems do not require large operating peak demands, which reduces the emission of noise and vibrations.

By introducing mechanical ventilation systems and the application of adequate air filters, it is also allowed to reduce the presence of harmful particles in suspension and, therefore, reduce the effects of pollution, dust and allergies indoors.

Despite the difficulty in quantifying these benefits, it is undeniable that in addition to the impact on interior comfort, they represent long-term savings in healthcare expenses.

This same chapter shows the current situation of near zero energy buildings since its definition and current situation in Spain, the national transposition of the European Directive 2010/31/EU, the various standards, environmental accreditations and certifications, up to the energy certification of these buildings, which are only the different strategies to face the main aim and to monitor and evaluate the results obtained.

The second section has been called "Design Phase",

diferentes maneras de afrontar el objetivo principal y de dimensionar y monitorizar los resultados.

El segundo bloque se ha denominado "Fase de Diseño", donde se pretende introducir unos conceptos básicos de diseño de edificios eficientes. En el primer capítulo del bloque, se incide en dos ideas principales: la necesidad de "pensar el edificio" como base del diseño y la importancia de entender los edificios de energía casi nula como un proceso global e interdisciplinar, en el cual la aportación de todos los agentes, en las diferentes fases de desarrollo, es imprescindible para un óptimo resultado final.

Se analiza y explica la importancia del entorno de los edificios, es decir, que desde el urbanismo, desde la concepción de las ciudades o desarrollos urbanos de nueva creación se puede fomentar o por lo menos favorecer la construcción de este tipo de edificios; por ello se hace especial hincapié en la importancia de los factores climáticos, la morfología urbana o la vegetación.

También se explican los fundamentos del diseño pasivo de edificios, haciendo un recorrido por las ya sabidas soluciones bioclimáticas, fundamentales para lograr un edificio de estas características; y del diseño activo desde los sistemas de generación y consumo de energía hasta la gestión energética integral.

Se aprovecha en este segundo bloque a explicar las certificaciones energéticas de edificios de este tipo en fase de proyecto, los documentos reconocidos, los procedimientos simplificados y el acceso al registro de certificados de eficiencia energética de Castilla y León.

El tercer bloque es la "Fase de Construcción", donde se muestran los puntos críticos para el desempeño energético de los EECN, la puesta en funcionamiento de los mismos, una estimación de costes de construcción y costes de diseño.

Uno de los principales problemas que surgen en el proceso comienza con la fase de construcción: la construcción de edificios de energía casi nula significa un cambio de paradigma en la concepción y desarrollo de la construcción, para el cual muchas empresas y profesionales no están todavía preparados. La forma de construir y mantener los edificios para alcanzar los límites establecidos debe estar enfocada a la calidad, en cuanto a los materiales utilizados y en cuanto a una ejecución muy cuidada. Es por ello que el control de la obra, principalmente en los puntos críticos, es imprescindible y debe ser una de las tareas principales del proceso.

En relación con el proceso constructivo, también es de importancia vital la cuantificación de los costes de construcción de un edificio de energía casi nula, como ocurre con cualquier edificio, pero añadiendo el estudio de la valorización posterior, no sólo en

where it is intended to introduce some basic concepts of efficient building design. In the first chapter of the section, it focuses on two main ideas: the need to "think about the building" as a basis for design and the importance of understanding near zero energy buildings as a global and interdisciplinary process, in which the contribution of all the agents, in the different phases of development, it is essential for an optimal final result.

The importance of the environment of the buildings is analysed and explained, that is to say, that from the urban planning, from the conception of the cities or newly created urban developments, it is possible to promote or at least favour the construction of this type of buildings. Therefore, special emphasis is placed on the importance of climatic factors, urban morphology or vegetation.

The foundations of the solar passive design of buildings are also explained, making a tour of the already known bioclimatic solutions, fundamental to achieve a building of these characteristics; and of the active design from the systems of generation and consumption of energy to the integral energy management.

This second section also deepens in the energy certifications of buildings of this type in the project phase, the recognised documents, the simplified procedures and the access to the registry of energy efficiency certificates of Castile and Leon.

The third section is the "Construction Phase", which shows the critical points for the energy performance of the NZEB, the start-up of the same, an estimate of construction costs and design costs.

One of the main problems that arise in the process begins with the construction phase: the construction of near zero energy buildings means a paradigm shift in the conception and development of construction, for which many companies and professionals are not yet prepared. The way to build and maintain the buildings to reach the established limits must be focused on the quality, in terms of the materials used and in terms of a very careful execution. That is why the control of the work, mainly in the critical points, is essential and should be one of the main tasks of the process.

In relation to the construction process, it is also vitally important to quantify the construction costs of a near zero energy building, as is the case with any building, but adding the study of the subsequent valuation, not only in terms of the value of the property in the market, but to the return of the investment for savings in operating expenses.

The handbook provides a real cost study analysis of some passive design solutions, mainly Passivhaus buildings, which compare costs of conventional so-

E3CN: CASOS DE ÉXITO DE EDIFICIOS DE ENERGÍA CASI NULA

Nombre del Edificio:	CARTIF III		Año de Construcción:	2011
Ubicación:	Ciudad: BOECILLO País: ESPAÑA	Provincia: VALLADOLID C.Autónoma: CASTILLA Y LEÓN	Zona Climática (Esp): (Internacional)	D2
Tipología:	EDIFICIO TERCIARIO		Método de Cálculo:	



Imágenes: Sonia Álvarez

DATOS BÁSICOS: Descripción: Superficie construida: 4.075,00 [m²] Coste total: 4.645.758,37 € 1.140,06 €/m ²		ENERGÍA: Demanda Energía Primaria: Demanda de Calefacción: 17,62 [kWh/m² año] Demanda de Refrigeración: 6,18 [kWh/m² año]	
Acreditaciones: Promotor: FUNDACIÓN CARTIF Proyectista: D. EDUARDO INSUELA GONZÁLEZ Empresa Constructora: DRA GADOS Otros Técnicos: JEFATURA DE OBRA: 1A INGENIEROS		Capas de Refrigeración: Potencia Calefacción Instalada: 66,00 [W/m²] Potencia Refrigeración Instalada: 18,11 [W/m²] Energía aportada: [kWh/m ² año]	
DATOS CONSTRUCTIVOS: Descripción de la envolvente:		INSTALACIONES:	
Muro: <u>Sótano:</u> Hormigón armado H25 200mm con poliestireno (EPS) 20mm. U=0,207 [W/m ² .K] <u>Fachada SO y SE:</u> Terasoarcilla (300x140x190mm); Lana mineral 50mm; paneles de aluminio. U=0,452 [W/m ² .K] <u>Fachada SE:</u> Hormigón HTC12; aislamiento EPS 50mm; terasoarcilla (300x140x190); paneles piedra natural. U=0,453 [W/m ² .K] <u>Fachada NE (nave superior):</u> Hormigón HTC12 con cámara de aire; paneles compuestos acero galvanizado 50m. U=0,336 [W/m ² .K]		Sistema de Calefacción: <u>Geotermia</u> (bomba geotérmica agua-agua reversible con una potencia nominal de 57,36 kW de calor, 73,8 kW de frío, un COP de 3,18 y EER de 4,99; 15 sondas geotérmicas de doble U de polietileno de 100m con solución de agua/glicol), y <u>Biomasa</u> (caldera de biomasa, pellets/asfálticas, con potencia nominal 220kW, modulable del 25% al 100%).	
Cubierta: <u>Cubierta plana invertida transitable:</u> U=0,209 [W/m ² .K] -Forjado/placa alveolar con capa de compresión (25+10); -Hormigón aligerado formación pendiente; -Lámina impermeabilizante de PVC P 1,2mm; -Plancha rígida mediantemente poliestireno extruido 3cm (0,034W/m ² .K); -Los de hormigón poroso: hormigón e=4cm + aislamiento de poliestireno extruido e=6cm (0,034 W/m ² .K).		Sistema de Producción ACS: Caldera de biomasa indicada para calefacción. Sistema por acumulación, con sistema de regulación automática, con válvula termostática para su distribución. Interacumulador de 200 L.	
Suelo: Sótano: Encachado grava 40/80 mm; Lámina polietileno 1mm; Solera hormigón armado HA-25, 200mm. Interior: Baldosa gres compacto; mortero de cola; capa nivelación. u-value = 0,64 / 0,81 [W/m ² .K]		Sistema de Refrigeración: Geotermia. Climatizadores con unidades de aire. Suelo radiante/refrescante. Free-cooling en naves.	
Carpintería: <u>Muro cortina:</u> doble cristal con cámara de aire (9/12/6). u=1,517 [W/m ² .K] Oficinas: aluminio con rotura puente térmico. u-value = 1,996 [W/m ² .K]		Sistema de Ventilación: Climatizador con batería de frío/calor, free-cooling, caja de mezcla, recuperador de energía, enfriamiento adiabático, filtros y preinstalación para sistemas desecantes.	
Vidrio: u-value = 1,6 [W/m ² .K] g-value = 50% / 50%		Sistemas de Renovables: Geotermia, Biomasa, Fotovoltaica.	
Valor U envolvente: [W/m ² .K]		Sistemas de Autoconsumo: Instalación solar fotovoltaica 49KW	
Otra información: Hermeticidad n50 = 1 / 2,23 rev./hora. Test de blower door.		Otra información: Ventilación: Conductos de climaver por las zonas internas y chapa de aluminio por el exterior. Difusión por difusores rotacionales y rejillas. Caudal de cada estancia se regulable con compuertas de caudal variable en cada estancia.	
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA:		SELLOS / CERTIFICADOS VERDES: Tipo Puntuación	
DATOS MEDIOAMBIENTALES: Emisiones de GEI: [kgCO ₂ e/m ² año] Consumo de energía: [kWh/m ² año]		OTROS DATOS: CARTIF III formó parte del proyecto europeo DIRECTION, cuyo límite de consumo (energía primaria) tenía que estar por debajo de 60 kWh/m ² año.	

Fig. 6. Modelo de ficha de "demostradores". Sample of the "demonstrators" card.

cuanto al valor del inmueble en el mercado, sino al retorno de la inversión por ahorros en gastos de funcionamiento.

El manual aporta un estudio de costes de algunas soluciones de diseño pasivo, que compara costes de soluciones convencionales y soluciones de diseño sostenible, que establece una guía para la comprensión de las ventajas de estos sistemas, principalmente pensadas para técnicos y su aplicación en su desarrollo profesional.

Los estudios realizados indican que los sobrecostes de construcción se sitúan entre el 25% y 4%. Se trata de una horquilla muy amplia, en la que influyen factores como la tipología edificatoria, el volumen del edificio, la orientación o la situación geográfica, por lo que es necesario realizar un estudio por cada caso. Estos mismos estudios, estiman el retorno de la inversión entre 5 y 8 años, que es un periodo muy reducido respecto a la vida útil de un edificio.

Finalmente, el último bloque recoge una serie de casos de éxito, tanto a nivel nacional como internacional, que incluyen todo tipo de edificios y usos.

Los diferentes casos de éxito se han plasmado en fichas en las cuales se describen los datos más relevantes a la hora de definir un edificio de energía casi nula, en cuanto a soluciones constructivas y a los resultados medioambientales y de consumo energético.

4. Conclusiones

Como no puede ser de otra manera, esta guía se ha planteado como un paso inicial en la generación de un fichero de modelos, soluciones y casos de éxito que deberá ir creciendo con el tiempo, sobre los conocimientos y la experiencia de todos los agentes del sector. Es un proceso colaborativo, retroalimentado y evolutivo, en paralelo con la evolución de este tipo de edificios y de su entorno.

Gracias a la unión de los distintos profesionales que conforman AEICE y el grupo de trabajo E3CN se ha conseguido plasmar en forma de Manual Técnico, los conocimientos y experiencias adquiridos por cada uno de ellos para compartirlos y ponerlos a disposición, de forma gratuita, de cualquier técnico, constructor, Administración, Colegio Profesional o cualquier interesado en la construcción eficiente y sostenible, para entre todos, llegar a los objetivos "2020" marcados, y en la parte que nos toca, hacer un mundo mejor en el que vivir.

Este logro, sin duda nos anima a continuar con nuevas líneas de trabajo e investigación, siempre enfocados hacia el mismo objetivo, que de forma general es el aseguramiento de un futuro energético limpio próspero y seguro para todos.

lutions and sustainable design solutions, which establishes a guide for understanding the advantages of these systems, mainly designed for technicians and their application in their professional development.

Studies indicate that the construction cost overruns are between 4% and 25%. It is a very wide range, influenced by factors such as building type, building volume, orientation or geographical situation, so it is necessary to carry out a study for each case. These same studies estimate the return on investment between 5 and 8 years, which is a very short period compared to the life span of a building.

Finally, the last section includes a series of success cases, both nationally and internationally, that include different types of buildings and uses.

The different success cases have been shown on informs in which the most relevant data are described when defining a near zero energy building, in terms of constructive solutions and environmental and energy consumption results.

4. Conclusions

This handbook has been proposed as an initial step in the generation of a large library of details, construction solutions and success cases that should grow over time, on the knowledge and experience of all the agents of the AEC sector. This is a collaborative process, feedback and evolution, in parallel with the evolution of this type of buildings and their environment.

Thanks to the synergy of the different professionals that are part of AEICE and the E3CN working group, the knowledge and experience acquired by each one of them has been translated into a technical handbook to share them and make them available, free of charge, of any technical, builder, Administration, Professional Associations or anyone interested in efficient and sustainable construction, for all, reach the "2020" objectives, and in the part that is directly related to all of us, to make a better world in which to live.

This achievement undoubtedly encourages us to continue with new lines of work and research, always focused on the same objective, which is generally the assurance of a clean and prosperous clean energy future for all.

Software para la supervisión de instalaciones de calefacción y ACS mediante la aplicación de la Exergoeconomía

Software for the supervision of heating and DHW facilities through Exergoeconomics application

Ana Picallo Perez¹, Ruben Renilla², Manu Heredia de la Vega³, J.M. Sala Lizarraga¹

ABSTRACT

El sector de la construcción es responsable de aproximadamente un tercio del consumo mundial de energía y de una proporción similar de emisiones de gases de efecto invernadero. Debido a la creciente preocupación social por la necesidad de ahorro de energía y mejora ecológica en el rendimiento de los edificios, en las últimas décadas se han desarrollado nuevas técnicas de estudio y optimización.

La Exergoeconomía es la ciencia que conecta la física y la economía de los procesos de conversión de energía a través de la segunda ley de la termodinámica. La exergía se usa como la variable principal para cuantificar las pérdidas reales y para el cálculo de coste, ya que mide la degradación de la calidad de la energía de acuerdo con las irreversibilidades que suceden en cualquier proceso. Aunque es poco conocida en el sector de la edificación, esta herramienta metodológica proporciona una información adicional que solo se obtiene a través de ella, contribuyendo así tanto a la eficiencia energética como a la potenciación en la utilización de las energías renovables.

En este trabajo se analizan los costes reales, tanto de los productos de la instalación como de los flujos intermedios, de una instalación de calefacción y ACS. La instalación se basa en dos calderas de gas natural de 1300 kW cada una, que suministran el ACS y la calefacción para tres bloques de viviendas situadas en Las Arenas (Bizkaia). Cuenta con un completo sistema de monitorización que permite la lectura a tiempo real de las variables termodinámicas. Estos datos son utilizados por un software que en tiempo real y de forma dinámica realiza el cálculo de la eficiencia de cada componente, así como el coste de los diferentes flujos; tanto en unidades energéticas, monetarias, así como medioambientales.

En base a los resultados obtenidos, se localizan y así mismo se cuantifican las enormes posibilidades de mejora de la eficiencia energética todavía existentes. Siendo un software que actúa a tiempo real, permite la localización de anomalías como mal funcionamiento antes de generar paradas o fallos evitables que requieren costes adicionales.

Key Words: Sensórica, estudio de tiempo real, proceso de formación de costes, mejoras energéticas y ambientales

(1) Research group ENEDI, Department of Thermal Engineering, UPV/EHU, +34 696497444, ana.picallo@ehu.eus. (2) Instituto Tecnológico de Castilla y León (ITCL), Burgos. (3) SAINCAL, Edificio el Abra 3, Las Arenas (Bizkaia).

1. Introducción

Las necesidades energéticas para satisfacer el bienestar y confort del usuario en el sector residencial y terciario son cada vez más exigentes. Por ese motivo, aun habiendo logrado grandes avances en las soluciones constructivas e instalaciones de los edificios (fachadas termoactivas, acumuladores de cambios de fase, etc.) el sector residencial es uno de los grandes consumidores de energía. En el año 2011, los sectores residencial y comercial contribuyeron al 22% y 19% del consumo final de energía en el mundo [1]. Por lo tanto, no son de extrañar los esfuerzos efectuados para la reducir el consumo de recursos externos y por ende aumentar la eficiencia y disminuir los costes.

1.1. Edificios y Exergoeconomía

Hasta ahora, el estudio de la construcción se ha basado en un análisis de energía convencional, o lo que es lo mismo, basándose en la Primera Ley de la Termodinámica. De esta manera, la conversión de energía útil solo se atenúa por las pérdidas hacia el medio ambiente. Sin embargo, en cada transformación de energía, aunque se conserve la cantidad, la calidad se degrada y solo se puede apreciar mediante la Segunda Ley de la Termodinámica. Por lo tanto, la degradación de la capacidad se mide en términos de irreversibilidad utilizando el parámetro de destrucción de exergía (E_D) [2]. Por ello, el análisis del sistema basado únicamente en la energía puede resultar inapropiado y dificultoso para la comprensión de los resultados reales.

La Termoeconomía (también conocida como Exergoeconomía) es la ciencia que combina la termodinámica con la economía y uno de sus objetivos es la contabilidad de costes del flujo térmico del sistema [3]. Se basa en la idea de que el coste debe asignarse a la calidad de la transformación de la energía (exergía), así, la falta de adecuación de la conversión se penaliza con un coste mayor. Aun siendo todavía escasos los trabajos, los esfuerzos en la implementación de Exergoeconomía en el sector de la edificación aumentan periódicamente, [4-7].

1.2. Costes exergeticos

En cualquier instalación, la exergía de los recursos utilizados es mayor que la de los productos, ya que se cumple que $F-P > 0$, y esta desigualdad es válida tanto para el total de la instalación como para cada equipo [8]. Por otra parte, está claro que la cantidad de exergía que se ha utilizado para obtener los productos es la exergía de los recursos consumidos. Esta idea ha dado lugar a la introducción de un nuevo concepto termodinámico que se conoce como coste exergetico. Se puede definir el coste exergetico de la manera siguiente: dado un sistema cuyos límites, nivel de agregación y análisis funcional de sus componentes se ha definido, el coste exergetico de un flujo i (B_i^{*})

1. Introduction

The required energy demands to satisfy the well-being and comfort in the residential and tertiary sector are increasingly growing. For that reason, even the great progress in constructive solutions and buildings facilities (thermoactive facades, phase changes storages, etc.) the residential sector is one of the largest energy consumer. In 2011, the residential and commercial sector contributed in the 22% and 19% of the final energy consumption in the world [1]. Thus, the efforts made to reduce the consumption of external resources and to increase efficiency and reduce costs are not surprising.

1.1. Buildings and Exergoeconomics

Hitherto, the building study has been based on a conventional energy analysis, or what is the same, relying on the First Law of Thermodynamics. However, in every energy transformation, although the quantity is conserved, the quality of energy is degraded and can only be appreciated by means of the Second Law of Thermodynamics. Hence, the downgrading of the capacity is measured in terms of irreversibility using exergy destruction (E_D) parameter [2]. Therefore, the system analysis solely based on energy can turn out to be inappropriate due to the lack of proper groundings for understand the results.

In virtue of the advantages of Second Law analyses, some research techniques were developed during the last decades. Thermoeconomics (also known as Exergoeconomic) is the science which matches the Thermodynamics with Economics and is devoted to the system thermal flow cost accounting [3]. It is based on the idea that cost should be assigned to the quality of energy transformation (exergy) so that the lack in conversion adequacy is penalized with higher cost.

Although seldom was Exergoeconomics applied in building sector, the popularity is moderately raising and the efforts on Exergoeconomics implementation in building are periodically increasing, e.g. [4-7].

1.2. Exergetic cost

In any system, the exergy of the used resources is greater than that of the products, since $F-P > 0$, and this inequality is valid for the total facility and for each equipment [8]. On the other hand, the amount of exergy used to obtain the products is the consumed exergy of the resources. This idea led to the introduction of a new thermodynamic concept known as exergetic cost. The exergetic cost can be defined as follows: given a system whose limits, level of aggregation and components functional analysis has been defined, the exergetic cost of a flow i (B_i^{*}) is the amount of exergy needed to produce such a flow. Likewise, the unit exergetic cost of a flow of

es la cantidad de exergía que ha sido necesaria para producir dicho flujo. Así mismo, se define el coste exergético unitario de un flujo de masa o energía como la cantidad de exergía requerida para obtener una unidad de exergía de ese flujo. Si B_j es la exergía del flujo j y B_j^* es su coste exergético, el coste exergético unitario es igual a $k_j^* = (B_j^*)/B_j$.

El coste exergético no es pues una variable termodinámica, ya que depende del proceso productivo [9]. Un flujo dado tendrá siempre la misma exergía, dependiendo del estado termodinámico, pero su coste exergético es diferente, según la perfección termodinámica del proceso que lo ha generado. Cuanto mayores son las irreversibilidades en los equipos que han intervenido en la generación de ese flujo mayor será su coste exergético. Este concepto de coste exergético es en realidad el mismo concepto que el de contenido de energía, que ya se utilizaba en los años setenta, sólo que ahora empleando la exergía en lugar de la energía.

Ahora bien, además de en unidades de exergía (por tanto, de energía), podemos también expresar los costes en unidades monetarias. En realidad, el coste exergético es el precursor del coste económico. El coste monetario o exergoeconómico de un flujo j (C_j) representa la cantidad de recursos monetarios que ha sido necesario utilizar para obtenerlo. Se define igualmente el coste exergoeconómico unitario como $c_j = C_j / B_j$. Téngase en cuenta que la Termoeconomía analiza el proceso de formación del coste, pero no tiene nada que decir en relación con la formación de los precios de los bienes.

No solamente es interesante conocer los costes de los productos finales, sino también los de los productos intermedios y en general los de todos los flujos internos de la instalación [10]. Si se conocen estos costes, sus valores se pueden comparar con los que resultarían si la planta estuviera funcionando en condiciones nominales o de referencia, lo que permite controlar y evitar un excesivo consumo de recursos. Este es precisamente el objetivo del diagnóstico de instalaciones [11, 12]. Estos costes nos sirven efectivamente para comparar dos estados distintos de la instalación, pero no para conocer la evolución del coste si aumenta el producto de la instalación ni nos dan ninguna pista de por qué el proceso es como es.

Entonces, la determinación de los costes de los flujos permite evaluar el comportamiento de los equipos y este análisis puede ser utilizado para la toma de decisiones en relación a su mantenimiento y su mejora, así como para implementar estrategias de operación. Así mismo, esta información puede ser utilizada para la optimización del diseño de un determinado equipo o de la instalación en su conjunto.

mass or energy is defined as the amount of exergy required to obtain an exergy unit of that flow. If B_j is the exergy of the flow j and B_j^* is its exergetic cost, the unit exergetic cost is equal to $k_j^* = (B_j^*)/B_j$.

The exergetic cost is not therefore a thermodynamic variable, since it depends on the productive process [9]. A given flow will always have the same exergy, depending on the thermodynamic state, but its exergetic cost is different according to the thermodynamic perfection of the process to generate it. The greater the irreversibilities of components that have intervened in the generation of that flow, the higher will be their exergetic cost. This concept of exergetic cost is actually the same concept as the energy content, which was already used in the seventies; now, however, exergy is used instead of energy.

Besides, in addition to exergy units (therefore, energy), the costs can be expressed in monetary units. Actually, the exergetic cost is the precursor of the economic cost. The monetary or exergoeconomic cost of a flow j (C_j) represents the amount of monetary resources which are necessary to obtain it. The unit exergoeconomic cost is also defined as $c_j = C_j / B_j$. Nevertheless, Thermoeconomics analyzes the process of cost formation but has nothing to do in relation with the prices of good formation.

Then, the determination of the costs of the flows allows evaluating the behavior of the equipment. Such analysis can be used to make decisions for maintenance and improvement, as well as to implement operation strategies. Likewise, this information can be used to optimize the design of a specific equipment or the installation as a whole.

2. Objectives and method

The aim is to develop a software for the supervision of the thermal installation of the Ibaiondo group (Las Arenas, Bizkaia) that supplies the thermal demands of 3 blocks of houses, see Fig. 1.



Fig. 1. Un bloque del grupo Ibaiondo, Las Arenas (Bizkaia). A block of the Ibaiondo group, Las Arenas (Bizkaia).

2. Objetivos y método

Se trata de elaborar un software para la supervisión de la instalación térmica del grupo Ibaiondo (Las Arenas, Bizkaia) que suministra las demandas térmicas de 3 bloques de viviendas, ver Fig. 1.

Para ello, mediante la aplicación de la Exergoeconomía, se van a contabilizar los costes de la calefacción y del ACS, así como los de los flujos interiores en cada intervalo de tiempo y en función de la estrategia de control establecida. Así mismo, se evaluará en cada intervalo de tiempo las verdaderas pérdidas y los rendimientos de cada equipo que integran la instalación; el cálculo se hará cada TimeStep.

El flujo de trabajo para esta instalación consiste en tres fases, tal y como se esquematiza en la Fig. 2:

1. Definición simbólica de los parámetros generales de la instalación (se realiza una sola vez, al principio).
2. Valores numéricos (cada TimeStep).
3. Cálculos y obtención de resultados (cada TimeStep).

To do this, by applying Exergoeconomics, the costs of heating and DHW will be accounted, as well as the costs of internal flows of each time interval according to the established control strategy. Likewise, the true losses and the performances of each component of the facility will be evaluated; the calculation will be made every TimeStep.

The workflow consists of three phases, as outlined in Fig. 2:

1. Symbolic definition of the general parameters of the system (only once, at the beginning).
2. Numeric values (each TimeStep).
3. Calculations and results obtainment (each TimeStep).

As indicated in Fig. 2, the first two phases (symbolic and numerical determination) refer to the definition of Ibaiondo's installation; the third phase consists of solving matrices.

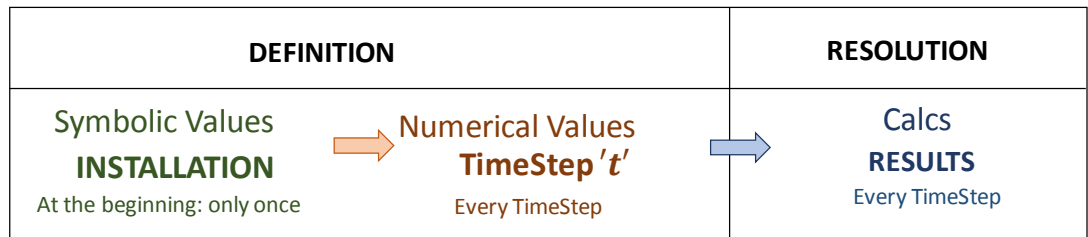


Fig. 2. Las tres fases principales del programa.
The three main phases of the program.

Como se señala en la Fig. 2, las primeras dos fases (la determinación simbólica y la numérica) se refieren a la definición de la instalación de Ibaiondo; la tercera fase consiste en resolver matrices.

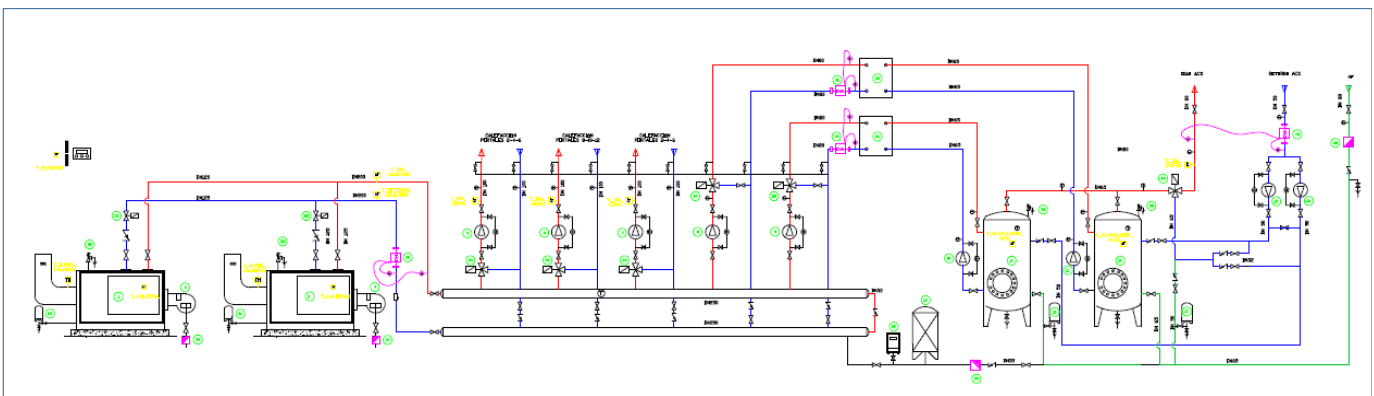
3. Symbolic values

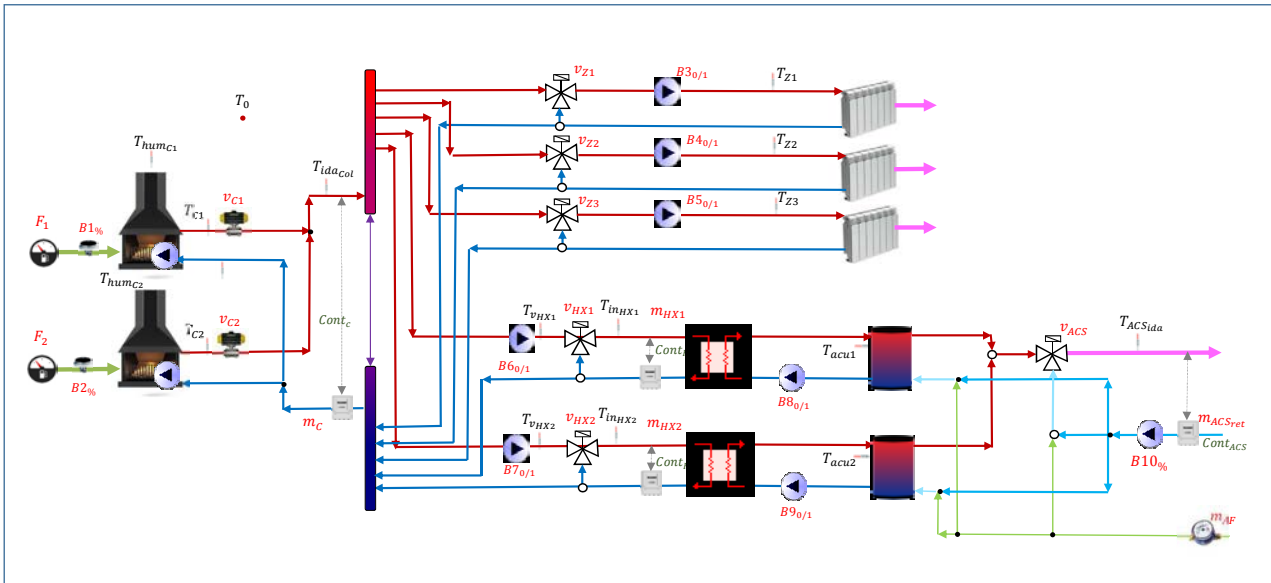
This section describes the facility under study and refers to the symbolic determination of each flow and component.

3. Valores simbólicos

Este apartado describe la instalación en estudio y se refiere a la determinación simbólica de cada flujo, componente y todo su conjunto.

Fig. 3. Sinóptico de la instalación de Ibaiondo.
Synoptic of the Ibaiondo facility.





3.1. Determinación de la instalación según la sensórica

La instalación se basa en dos calderas de gas natural de 1300 kW que suministran el ACS y la calefacción a tres bloques de viviendas. Junto con estos componentes principales, existen otros diversos equipos que son tenidos en cuenta y que serán en seguida numerados y descritos; en la Fig. 4 se muestra el sinóptico de la instalación. Además, cuenta con un completo sistema de monitorización que permite la lectura a tiempo real de las variables termodinámicas. Dichos sensores se representan en la Fig. 3 donde se reorganiza el esquema del sinóptico en base a la cadena energética; esto es, a la izquierda se sitúan los equipos de generación, le sigue el grupo de distribución, el de almacenamiento y, finalmente, a la derecha se colocan los equipos que satisfacen la demanda (radiadores para calefacción y grifos para ACS).

Como se observa, los datos a leer por los sensores son los siguientes:

- Temperaturas (T_i)
- Calores ($m_i \cdot \Delta T_i$)
- Porcentajes de apertura de las válvulas (v_i)
- Consumo fueles (gas natural) (F_i)
- Activación, modulación y desactivación de las bombas ($Bi_{0/1}, Bi_{\%}$)

A partir de esas variables, y en función del tipo de flujo, se programa la fórmula para el cálculo simbólico de la exergía B_i , como:

- flujo de calor: $E_{calor} = Q_{calor} \cdot (1 - T_0/T_i)$

3.1. Determination of the installation according to the sensor

The facility is based on two 1300 kW gasoil boilers that supply the DHW and the heating to three blocks of houses. Along with these main components, there are other diverse equipment that are taken into account and that will be numbered and described later on; Fig. 3 shows the synoptic of the installation. In addition, it has a complete monitoring system that allows the real-time reading of thermodynamic variables. Those sensors are represented in Fig. 4 where the previous scheme is reorganized based on the energy transformation chain. That is, the generation equipment is placed in the left part and is followed by the distribution group, the storage group and, finally, on the right the equipment that meets the demand are positioned (radiators for heating and taps for DHW).

As it is observed, the data to be read by the sensors are the following:

- Temperatures (T_i)
- Heats ($m_i \cdot \Delta T_i$)
- Valve opening percentages (v_i)
- Fuel consumption (gasoil) (F_i)
- Activation, modulation and deactivation of pumps ($Bi_{0/1}, Bi_{\%}$)

From these variables, and depending on the type of flow, the formula for the symbolic calculation of exergy B_i is programmed, such as:

- heat flow: $E_{calor} = Q_{calor} \cdot (1 - T_0/T_i)$

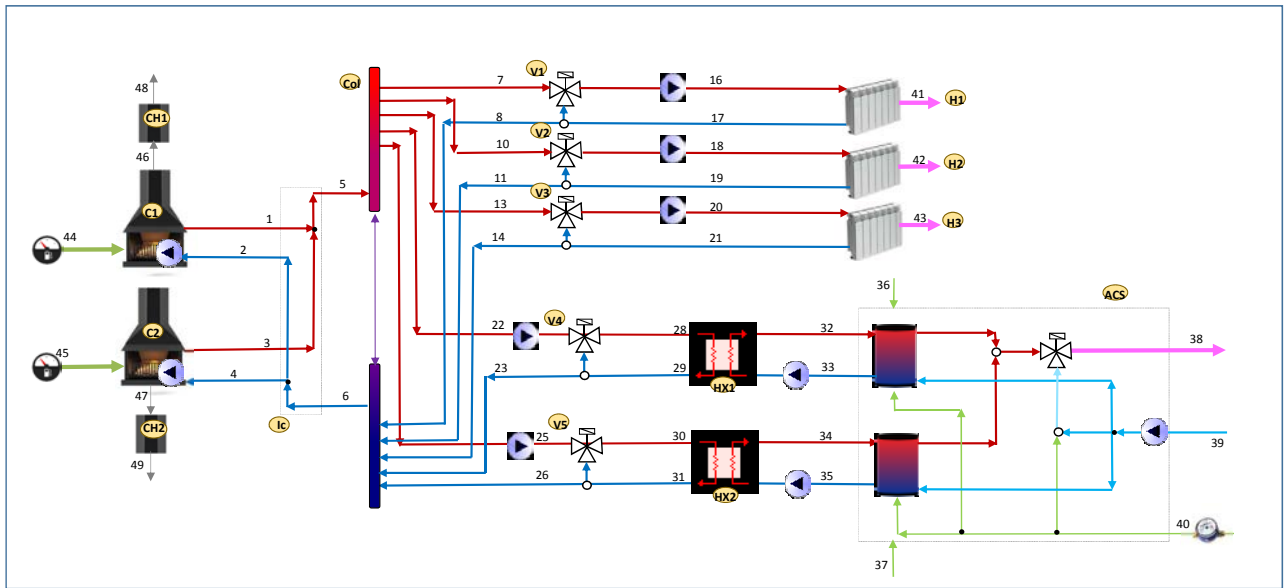
Fig. 4. Representación de los sensores actuales en Ibaiondo. Representation of the current sensors in Ibaiondo.

- flujo eléctrico: $E_{elec} = W_{elec}$
- electric flow: $E_{elec} = W_{elec}$
- Flujo másico: $E_{masa} = m_{masa} \cdot C_{p_{masa}} [(T_i - T_0) - T_0 \cdot \ln(T_i / T_0)]$
- mass flow: $E_{masa} = m_{masa} \cdot C_{p_{masa}} [(T_i - T_0) - T_0 \cdot \ln(T_i / T_0)]$
- flujo combustible: $E_{comb} = m_{comb} \cdot f_i \cdot PCI$
- fuel flow: $E_{comb} = m_{comb} \cdot f_i \cdot PCI$

Fig. 5. Identificación de los subgrupos y flujos según su abreviatura y numeración. Identification of subgroups and flows according to their abbreviation and numbering.

donde $(1 - T_0/T_i)$ es el factor de Carnot; T_0 y T_i las temperaturas ambientales y del flujo i en K; c_p es el calor específico del flujo másico; PCI es el poder calorífico inferior y f_i los coeficientes tabulados en función del combustible, en este caso gasóleo, 1,04.

where $(1 - T_0/T_i)$ is the Carnot factor; T_0 and T_i are the ambient and i flow temperatures in K; c_p is the specific heat of the mass flow; LHV is the low heating value and f_i are the fuel function tabulated coefficients, in this case gas oil, 1.04.



La cantidad de flujos que compone el sistema, que son precisamente los enlaces entre los componentes y el ambiente, se define en función de la sensoria disponible. Estos sensores permiten, a su vez, la determinación de los componentes (considerados como 'cajas negras'). Por ello, el detalle de estudio será directamente proporcional al número de sensores existentes.

The quantity of flows of the system, which are precisely the links between the components and the environment, are defined according to the available sensors. These sensors allow, in turn, the determination of the components (which are considered as 'black boxes'). Therefore, the study detail is directly proportional to the number of existing sensors.

En la Tabla 1 se agrupan los 16 componentes a contemplar por el estudio exergoeconómico y, asimismo, estos son representados en la Fig. 5 junto con los flujos que intervienen (un total de 49, calculados a partir de los sensores).

Table 1 shows the 16 components to be considered by the exergoeconomic study and, likewise, these are represented in Fig. 5 together with the flows that intervene (49, calculated from the sensors).

Tabla 1 Estructura productiva y definición de los componentes. Productive structure and definition of the components.

Nº	NAMING	SHORT DESCRIPTION
1	C1	Boiler 1
2	C2	Boiler 2
3	Col	Collector
4	V1	Mixing valve Zone 1
5	V2	Mixing valve Zone 2
6	V3	Mixing valve Zone 3
7	V4	Mixing valve DHW 1
8	V5	Mixing valve DHW 2
9	HX1	Heat exchanger 1
10	HX2	Heat exchanger 2
11	H1	Heating Zone 1
12	H2	Heating Zone 2
13	H3	Heating Zone 3
14	ACS	DHW production
15	CH1	Boiler chimney 1
16	CH2	Boiler chimney 2

3.2. Determinación productiva de la instalación

El siguiente paso se basa en identificar cada subsistema mediante su estructura productiva [13]. Para empezar, se deberán distinguir los componentes productivos de los disipativos; los últimos están asociados con flujos residuales como son los gases de escape de las chimeneas (flujos 46 y 47) CH1 y CH2 [14]. Así, cada componente será representado a través de cajas negras con una entrada correspondiente al F y una salida P (o R) compuestos mediante las combinaciones de los flujos físicos entrantes y salientes. En la Fig. 6 se señala la estructura de cada componente a partir de los flujos participantes en la creación de Fuegos y Productos; los números se refieren a los flujos de la Fig. 5.

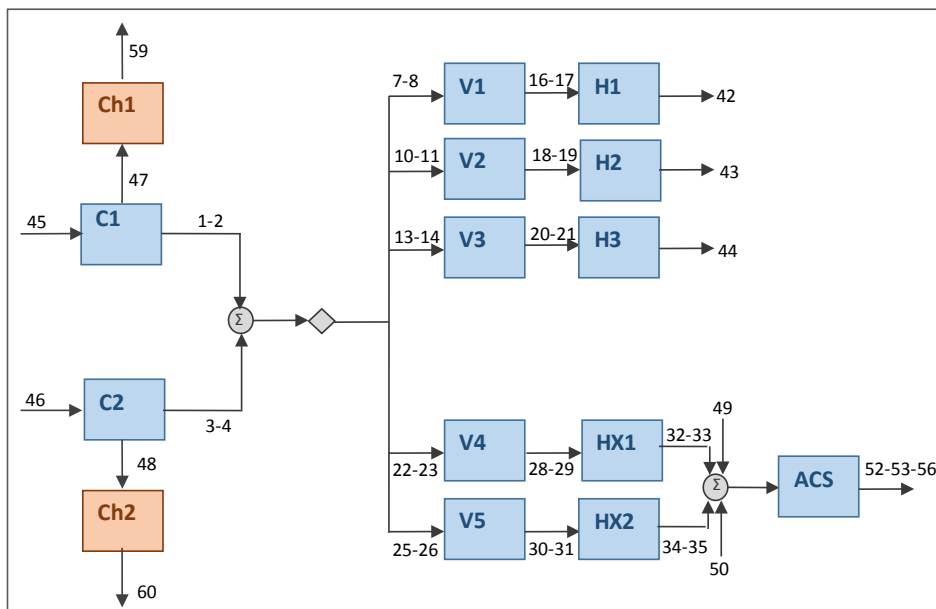


Fig. 6. Definición de fuegos y productos de cada componente.
Definition of fuels and products of each component.

3.3. Determinación de datos externos

Tanto para el cálculo de costes exergoeconómicos como ambientales [15,16], se necesita información externa. El primero, que será el aquí calculado, necesita el vector de los costes de adquisición, operación y mantenimiento de los equipos, así como los costes económicos unitarios [€/kWh] de los flujos de entrada (combustibles, electricidad, agua de red), este se ha obtenido siguiendo los detalles de la Tesis de Eneko Iturriaga [17].

Se necesitan también datos económicos como el interés efectivo del dinero y la vida útil de cada subgrupo, toda esta información se recoge en la Tabla 2. Se debe marcar que, si los costes de los recursos varían cada TimeStep, estas tablas se deberán ir actualizando.

4. Valores numéricos y cálculos

Hasta el momento, se ha definido la instalación en su conjunto y se ha desarrollado la determinación

3.2. Productive determination of the installation

The next step is based on each subsystem identification through its productive structure [13]. To begin with, the productive components must be distinguished from the dissipative ones; the latter are associated with residual flows such as the exhaust gases from chimneys (flows 46 and 47) CH1 and CH2 [14]. Thus, each component will be represented by black boxes with an entry corresponding to F and an output P (or R) composed by the combinations of incoming and outgoing physical flows. Fig. 6 shows the structure of each component based on the participating flows for the creation of Fuels and Products; the numbers refer to the flows of Fig. 5.

3.3. Determination of the system according to the sensor

External information is needed for the calculation of exergoeconomic and exergoenvironmental [15,16] costs; even though, only the former will be here calculated. Therefore, the vector of the costs of acquisition, operation and maintenance of the equipment is needed, as well as the unit economic costs [€/kWh] of the inflows (fuel, electricity, cold water). That was obtained following the details of the Eneko Iturriaga Thesis [17].

Economic data is also needed, such as the effective interest and the useful life of each component, all this information is included in Table 2. It should be noted that if the costs of the resources vary each TimeStep, these tables should be updated.

4. Numerical values and calculations

So far, the installation as a whole has been defined and the generic symbolic determination of the

COSTS	[c€/kWh eNergy]	Quality Factor
Electricity	21.81	1
Cold water[€/m3]	0.52	-
Gasoil	9.43	1.04

Economic Data	
Yearly effective interest	0.05
Useful life of the facility	20

Tabla 2
 Datos económicos y ambientales de los equipos y recursos externos.
 Economic and environmental data of equipment and external resources.

Component	Equipment Acquisition Cost [€]
C1	8,245 €
C2	8,245 €
Col	2,500 €
V1	1,500 €
V2	1,500 €
V3	1,500 €
V4	900 €
V5	900 €
HX1	4,808 €
HX2	4,808 €
H1	2,427 €
H2	2,427 €
H3	2,427 €
ACS	1,145 €
CH1	1,000 €
CH2	1,000 €

simbólica genérica de la instalación Ibaiondo. Como se ha mencionado, esa primera fase se hace solo una vez.

Ibaiondo facility has been developed. As mentioned, that first phase is done only once.

La siguiente fase define el corazón del programa: aquí se realizan los cálculos, cada TimeStep, a partir de los datos leídos y se devuelven los respectivos resultados. Se desarrolla en cuatro pasos principales, como se indican en la Fig. 7:

The next phase defines the heart of the program: here the calculations are each timeStep made from the collected data and the respective results are extracted. It is developed in four main steps, as indicated in Fig. 7:

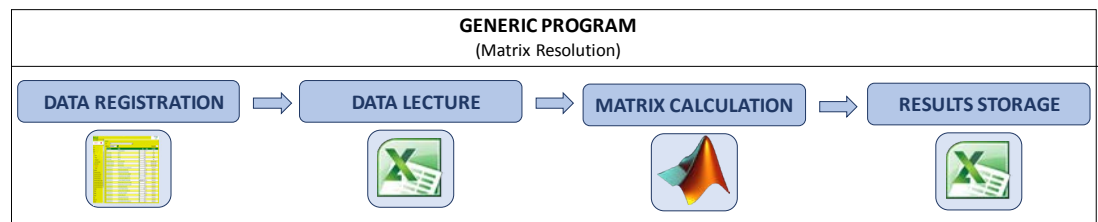


Fig. 7.
 Desglose del programa genérico.
 Dissagregation of the generic program.

1. Traspaso y validación de los datos de los sensores.
2. Cálculos previos y lectura de Datos (a partir de Excel).
3. Selección de la estructura activa, cálculos matriciales y obtención de resultados (mediante MATLAB).
4. Registro y análisis de los resultados.

1. Transfer and validation of sensor data.
2. Previous calculations and data reading (from Excel).
3. Selection of the active structure, matrix calculations and results obtainment (through MATLAB).
4. Record and results analysis.

El paso inicial se refiere al registro de los datos desde los sensores de la instalación real al ordenador. Además, se hace un filtrado de ruidos y una validación de los datos obtenidos.

The initial step refers to the recording of the data from the sensors. In addition, noise filtering and validation of the obtained data is done.

Una vez que están volcados los datos de todos los sensores en la platilla Excel, se calculan los 49 flujos exergéticos correspondientes según su fórmula simbólica (puede haber flujos con valor nulo).

Once the data of all the sensors are written in the Excel, the 49 corresponding exergy flows are calculated according to their symbolic formula (there can be flows with zero value).

Después, se realiza la identificación del modo de funcionamiento activo en el preciso TimeStep, es decir, qué equipos están activos en ese momento. De esta manera se define la estructura física y productiva de

Afterwards, the identification of the active mode of operation in the precise TimeStep is made, that is, the components which are active at that moment are detected. In this way, the physical and productive structure of the installation corresponding to that TimeStep is defined. The activation/deactivation of

la instalación correspondiente a ese TimeStep. La activación/desactivación de los equipos se hace en función de la posición de las bombas y válvulas de tres vías.

En el programa interno de Matlab se identifican de entre los 16 subgrupos aquellos que están activos n_i^{ON} (ya que los inactivos tendrán fueles y/o productos nulos $F_{OFF}=0$ y/o $P_{OFF}=0$) y a continuación se extraen las matrices y vectores correspondientes para el estudio termoeconómico.

El último paso se refiere a la obtención y análisis de los resultados.

4.1. Resultados del mes de enero 2018

El software presentado hasta el momento todavía no está incorporado a tiempo real en la instalación de Ibaiondo. Sin embargo, gracias a las bases de datos, se pueden realizar los cálculos con los datos ya registrados. Siendo así, a continuación, se muestran los resultados referidos al mes de enero.

Las demandas durante ese periodo se refieren a las de calefacción y ACS de los usuarios y se muestran en la Fig. 8.

the equipment is made depending on the position of the pumps and three-way valves.

Matlab's internal program identifies among the 16 subgroups the active n_i^{ON} ones (since the inactive will have null fuels and/or null products $F_{OFF}=0$ and/or $P_{OFF}=0$) and then the matrices and vectors are extracted corresponding to the thermo-economic study.

The last step refers to the results obtainment and analysis.

4.1. Results of January 2018

The presented software is not yet incorporated for making the real time analysis in the facility of Ibaiondo. However, thanks to the databases, calculations can be made with the already registered data. Therefore, the results referring to the month of January are shown below.

The demands during that period refer to the heating and DHW of the users and are shown in Fig. 8

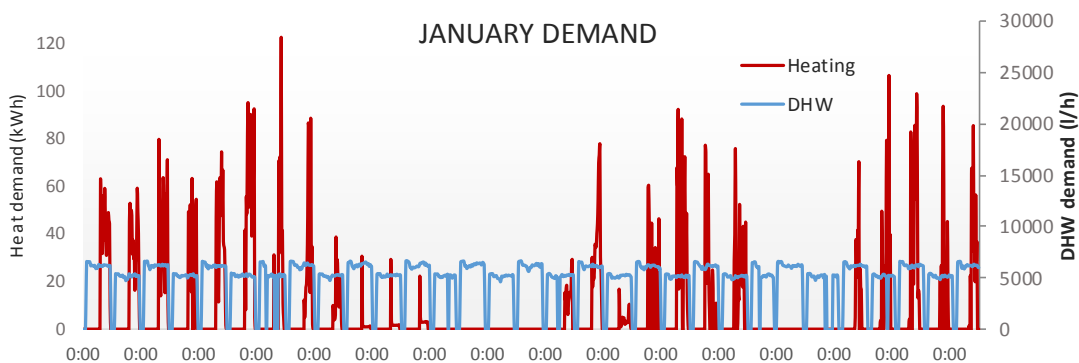


Fig. 8. Demandas de calefacción y ACS del edificio Ibaiondo en el mes de enero. Heating and DHW demands of the Ibaiondo building in the month of January.

En la Tabla 3 se agrupan los costes exergéticos unitarios [kWh_{ex}/kWh_{ex}] de los 16 subcomponentes. Además, los costes referidos a los productos se han distinguido entre los debidos a la generación del producto útil –que es per se el objetivo del componente– ($k_p^{*,e}$) y los debidos a la existencia de residuos –que son salidas no deseadas– ($k_p^{*,r}$).

Estos valores permiten detectar, entre otras cosas, dos hechos clave para futuras modificaciones y optimizaciones del sistema, componente o intervención del control:

- La diferencia entre el coste exergético unitario de producto y fuel de cada equipo ($k_{p,i}^{*,*} - k_{f,i}^{*,*}$) representa las irreversibilidades del componente i . Esto es, señala la degradación de la energía entre los recursos requeridos y el producto obtenido. Así, el componente con mayores irreversibilidades deberá ser un foco de mejora.

Table 3 groups the unit exergy costs [kWh_{ex}/kWh_{ex}] of the 16 subcomponents. In addition, the costs referred to the products have been distinguished between those due to the generation of the useful product –the objective itself– ($k_p^{*,e}$) and those due to the existence of residues –not desired exits– ($k_p^{*,r}$).

These values allow to detect, among other things, two key facts for future modifications and optimizations of the control system, component or repair intervention:

- The difference between the unit exergetic cost of the product and fuel of each component ($k_{(p,i)}^{*,*} - k_{(f,i)}^{*,*}$) represents the irreversibilities of component i . That is, it indicates the degradation of energy between the required resources and the obtained product. Thus, the component with greater irreversibilities should be a focus of improvement.

- El coste exergético unitario del fuel de cada equipo ($k_{F,i}^*$), contiene las irreversibilidades acumuladas hasta la llegar al componente i. Es decir, el coste unitario de los recursos de un componente está relacionado con la estructura global del sistema y recopila las degradaciones de energía anteriormente generadas hasta llegar a dicho punto. Por lo tanto, esta variable indica dónde y cómo se interrelacionan los componentes en términos de costes y permite hacer mejoras y optimización del control.
- The unit exergetic cost of each components fuel ($k_{(F,i)}^*$), contains the accumulated irreversibilities until arriving at component i. That is, the unit cost of the resources of a component is related to the system overall configuration and collects the energy degradations previously generated up to that point. Therefore, this variable indicates where and how the components are interrelated in terms of costs and allows for improvements and control optimization.

	Unitary Exergetic Costs [-]		
	k_F^*	k_P^*	$k_P^{r,*}$
C1	1.00	5.82	1.40
C2	1.00	4.76	0.99
CoI	6.50	46.05	10.40
V1	56.45	67.50	15.24
V2	56.45	97.75	22.07
V3	56.45	67.24	15.18
V4	56.45	46.40	10.48
V5	56.45	46.36	10.47
HX1	56.88	43.51	9.82
HX2	56.82	47.51	10.73
H1	82.74	215.99	48.76
H2	119.82	254.02	57.35
H3	82.42	218.52	49.34
ACS	54.70	80.01	18.06
CH1	7	6	1.40
CH2	6	5	0.99

Tabla 3
Costes exergéticos unitarios.
Unitary exergy costs.

Así, se comprueba cómo las calderas tienen grandes irreversibilidades ($k_{p,C1}^* - k_{F,C1}^* = 6.22$); esto es, para producir 1 kWh_{ex} de calor necesita 6.22 kWh_{ex} de combustible. Esto es debido a las inevitables destrucciones de exergía generadas en la combustión y transmisión de calor entre los gases y el agua y la alta calidad del combustible de gasóleo. Este hecho induce a pensar que equipos como la cogeneración o la geotermia son más apropiados.

Igualmente, siendo un esquema secuencial, los costes exergéticos unitarios de los equipos terminales (salidas a calefacción y grifos) son los más elevados ya que acumulan las irreversibilidades anteriores. Para el ACS, por ejemplo, se requieren 98.07 kWh_{ex}/ kWh_{ex} y para calefacción, una media de 281.3 kWh_{ex}/ kWh_{ex}. La diferencia notable entre estos dos valores se debe a las grandes destrucciones que ocurren directamente en los radiadores ($k_{p,Hmed}^* - k_{F,Hmed}^* = 281.3 - 94.9 = 186.4$) ya que se usa un caudal de agua a alta temperatura (≈60 °C) para calentar una estancia a una temperatura cercana al ambiente (≈25 °C). Estos valores hacen referencia al grado de calidad de la instalación.

Para finalizar, la Tabla 4 contiene los costes económicos unitarios [c€/kWh_{en}] y totales [€] en unidades de energía de los productos finales. En este caso, los costes se han dividido en los debidos a la generación del producto útil (o lo que es lo mismo, consumo de recursos externos) ($c_p^* e, C_p^* e$), costes debidos a la generación de residuos ($c_p^* r, C_p^* r$) y los debidos a

Thus, the great irreversibilities of boilers are verified ($k_{(p,C1)}^* - k_{(F,C1)}^* = 6.22$); that is, a production of 1 kWh_{ex} of heat needs 6.22 kWh_{ex} of fuel. That is due to the unavoidable exergy destruction generated in the combustion and heat transmission between the gases and water and the high quality of diesel fuel. This fact suggests that other equipment, such as cogeneration or geothermal engine, are more appropriate.

Likewise, being a sequential scheme, unit exergy costs of terminal equipment (heating and taps outputs) are the highest since they accumulate all the previous irreversibilities. For the DHW, for instance, 98.07 kWh_{ex}/ kWh_{ex} are required and for heating, an average value of 281.3 kWh_{ex}/ kWh_{ex}. The great difference among those values is due to the big destructions happening on the radiators their self ($k_{p,Hmed}^* - k_{F,Hmed}^* = 281.3 - 94.9 = 186.4$) inasmuch as a high temperature flow rate (≈60 °C) is used to warm up an stance to a temperature close to the ambient (≈25 °C). These facts are related to the quality degree of the facility.

Finally, Table 4 contains the unit economic costs [c€/kWh_{en}] and total costs [€] in energy units of the final products. In this case, the costs have been divided into those due to the generation of the useful product (or, what is the same, consumption of external resources) ($c_p^* e, C_p^* e$), costs due to the generation of residues ($c_p^* r, C_p^* r$) and those due to the fixed costs ($c_p^* z, Z$) of amortization, operation and main-

	Unit Costs [c€/kWh]			Total Costs [€]		
	c_p^e	c_p^f	c_p^z	C_p^e	C_p^f	Z
H1	37.27	7.71	1.47	1203	249	22
H2	41.50	8.59	1.66	1180	244	22
H3	37.21	7.70	1.46	1218	252	22
ACS	45.58	9.43	0.98	10176	2106	10

Tabla 4

Costes económicos unitarios y totales del producto final. Unitary and total economic costs of the final product.

los costes fijos (c_p^z) de amortización, operación y mantenimiento.

Así, en el mes de enero, el coste promedio de calefacción en los bloques es de 48.19 c€/kWh y el del ACS 55.9 c€/kWh. En este caso, el coste del ACS es ligeramente superior ya que, al pasar de unidades de exergía a energía, se omiten la consideración de la degradación de energía (hecho que, una vez más, justifica el uso de la exergía).

Si estos valores unitarios se multiplican con los consumos totales, se obtiene que cada bloque de edificios del grupo Ibaiondo ha consumido un total de 1.474 €, 1.446 €, 1.492 € para calefacción y un total de 12.289 € para generación de ACS (el consumo de los tres bloques se abastece de la misma fuente).

5. Discusión y conclusiones

La exergoeconomía es una herramienta que, usando como base el Segundo Principio, aporta una información adicional a las técnicas de estudio energético. Emplea la exergía para relacionar los flujos con el coste y así, el coste aumenta a medida que las irreversibilidades del proceso se van elevando. Al contrario que en los estudios basados en el Primer Principio, la exergoeconomía permite localizar los componentes que generan mayores degradaciones energéticas, así como la falta de adecuación entre las interconexiones de los equipos.

La aplicación de esta técnica requiere de los mismos datos termodinámicos de los estudios del primer principio. Por lo tanto, es una herramienta versátil que no solicita de datos añadidos, pero, sin embargo, ofrece una información esencial para el adecuado entendimiento del proceso de formación de costes.

En este trabajo se presenta un software basado en la exergoeconomía para la supervisión de la instalación térmica del grupo Ibaiondo (Las Arenas, Bizkaia). Tras exponer los principios básicos de la exergía y su aplicación, la instalación térmica es debidamente definida. A partir dos datos registrados con la monitorización, el cálculo de costes de cada componente y flujo del sistema puede ser sistemáticamente calculado.

De esta forma, los puntos clave de mejora y optimización del control pueden ser fácilmente identificados. Este es el caso, por ejemplo, de las calderas de combustión interna que usan energías de alta calidad (gasóleo, en nuestro caso) para producir flujos de calor de baja calidad (flujos energéticos a $\approx 80^\circ\text{C}$)

tenance.

Thus, in January, the average cost of blocks heating is 48.19 c€/kWh and that of the DHW is 55.9 c€/kWh. The cost of the latter DHW is slightly higher since, passing from exergy units to energy units, the considerations of energy degradation is not taken into account (a fact that, once again, justifies the use of exergy).

If these unit values are multiplied with the total consumption, it is obtained that each building block of the Ibaiondo group has consumed 1,474 €, 1,446 € and 1,492 € for heating and 12,289 € for DHW generation (the consumption of the three blocks is supplied from the same source).

5. Discussion and conclusions

The exergoeconomics is a tool that, using the Second Principle as a base, gives an additional information to the energy study techniques. It uses the exergy to relate the flows with the cost and thus, the cost increases as the irreversibilities of the process increase. Unlike the studies based on the First Principle, exergoeconomics allows locating the components that generate greater energy degradation, as well as the lack of adaptation between the interconnections of the equipment.

The application of this technique requires the same thermodynamic data of the first principle studies. Therefore, it is a versatile tool that does not request added data, but, nevertheless, it offers essential information for an adequate understanding of the cost formation process.

In this paper, a software based on the exergoeconomics for the supervision of the thermal facility of the Ibaiondo group (Las Arenas, Bizkaia) is presented. After explaining the basic principles of the exergy and its application, the thermal system is properly defined. From the data recorded, the calculation of costs of each component and system flow are systematically calculated.

In this way, the key points of improvement and control optimization can be easily identified. This is the case, for example, of internal combustion boilers that use high quality energy resources (diesel, in our case) to produce low quality heat flows (energy flows at $\approx 80^\circ\text{C}$) which in turn are, in much, destroyed when they are transformed into heating heat for users (energy flows at $\approx 55^\circ\text{C}$). Specifically, an average of 281.3 kWh_{ex} of exergy is needed to produce

que a su vez son, en gran parte, destruidos cuando se transforman en calor de calefacción para los usuarios (flujos energéticos a $\approx 55^\circ\text{C}$). Concretamente, se necesita una media de $281.3 \text{ kWh}_{\text{ex}}$ de exergía para producir un kWh_{ex} de calor.

Este hecho induce a plantear la reestructuración de los sistemas térmicos en edificios con el fin de adaptar la calidad energética entre la generación y el producto final; o lo que es lo mismo, aprovechar al máximo el trabajo útil que puede extraerse de un flujo energético. Siendo las demandas de calefacción y ACS requerimientos de baja calidad energética, se puede pensar en usar como recurso fuentes residuales o renovables y dejar las fuentes de alta calidad para el abastecimiento otro tipo de demandas (iluminación, etc.)

Una de las aplicaciones estrella de la exergoeconomía se basa en el diagnóstico termoeconómico que permite, a través de una comparación entre la instalación operativa y de referencia, localizar los comportamientos anómalos del sistema que generan mayores consumos exergéticos. Esto permite evitar interrupciones no deseadas y esquivar penalizaciones en aumentos de costes, tanto energéticos, económicos como ambientales.

Se concluye, de esta forma que, a partir de la aplicación del Segundo Principio el objetivo de eficiencia energética y reducción de consumo en edificios cada vez está más cerca.

one kWh_{ex} of heat.

This fact suggest the restructuring of thermal systems in buildings in order to adapt the energy quality between the generation and the final product; or what is the same, to exploit most of the useful work that can be extracted from an energy flow. Since the demands of heating and DHW are low energy quality requirements, residual or renewable sources can be used as a resource instead; on the other hand, high quality sources can be leaved for supplying other types of demands (lighting, etc.)

One of the key applications of the exergoeconomics is based on the thermoeconomic diagnosis that allows, through a comparison between the operational and reference condition, to locate the system anomalous behaviors that generate greater exergetic consumption. This allows avoiding unwanted interruptions and preventing penalties in costs, both in energy and economic terms. This is, precisely, the next step to be implemented in the Ibaiondo facility; since, once the thermoeconomic study is programmed, the diagnosis does not require a greater computational load.

It is concluded that, from the application of the Second Principle, the objective of energy efficiency and consumption reduction in buildings is getting closer.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Bakar, Nur Najihah Abu, et al. Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, vol. 44, p. 1-11.
- [2] Tsatsaronis, G. (2007). Definitions and nomenclature in exergy analysis and exergoeconomics. *Energy*, 32(4), 249-253.
- [3] Thermo-economic Analysis; Thermo-economic analysis, in exergy, energy system analysis and optimization, vol 2, EOLSS Publishers, 2009.
- [4] Picallo-Perez, A., Sala-Lizarraga, J. M., Iribar-Solabarrieta, E. and Hidalgo-Betanzos, J. M. A symbolic exergoeconomic study of a retrofitted heating and DHW facility. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 27, 119-133, 2018.
- [5] Gholampour, Maysam, and Mehran Ameri. "Energy and exergy analyses of Photovoltaic/Thermal flat transpired collectors: Experimental and theoretical study." *Applied Energy* 164 (2016): 837-856.
- [6] Caliskan, Hakan, Ibrahim Dincer, and Arif Hepbasli. "Thermo-economic analysis of a building energy system integrated with energy storage options." *Energy Conversion and Management* 76 (2013): 274-281.
- [7] W. Cheng, H. Ji, A. Di. *Thermo-economic Analysis of Air Conditioning Systems*, Advanced Materials Research. (2014): ISSN 1662-8985
- [8] C.Torres, A.Valero. C.Cortes. Application of Symbolic Exergoeconomics to Thermal System Simulation. ASME Book No. H00527, WAM-1989, 99. 75-84.
- [9] Valero, A. (1998). Thermo-economics as a conceptual basis for energy-ecological analysis. *Advances in energy studies. Energy flows in ecology and economy*, 415-444.
- [10] Picallo, A., Escudero, C., Flores, I., & Sala, J. M. (2016). Symbolic thermo-economics in building energy supply systems. *Energy and Buildings*, 127, 561-570. Lozano, M. A., & Valero, A. (1993). Theory of the exergetic cost. *Energy*, 18(9), 939-960.
- [11] Picallo-Perez, A., Sala-Lizarraga, J. M., Iribar-Solabarrieta, E., Odriozola-Maritorea, M., and Portillo-Valdés, L. Application of the malfunction thermo-economic diagnosis to a dynamic heating and DHW facility for fault detection. *Energy and Buildings*, 135, 385-397, 2017.
- [12] Picallo-Perez, A., Sala-Lizarraga, J. M. and Escudero-Revilla, C. A comparative analysis of two thermo-economic diagnosis methodologies in a building heating and DHW facility. *Energy and Buildings*, 146, 160-171, 2017.
- [13] Lazzaretto, A. and Tsatsaronis, G. SPECO: a systematic and general methodology for calculating efficiencies and costs in thermal systems. *Energy*, 31(8-9), 1257-1289. 1289, 2006.
- [14] A Agudelo A, Valero A, Torres C. Allocation of waste cost in thermo-economic analysis. *Energy* 45 (2012) 634-643.
- [15] Tsatsaronis G, Morosuk T. A general exergy-based method for combining a cost analysis with an environmental impact analysis. Part I-theoretical development. In *Proceedings of the ASME international mechanical engineering congress and exposition*; 2008. Nov 2 (Vol. 31).
- [16] Meyer L, Tsatsaronis G., Buchgeister J., Schebek L. Exergoenvironmental analysis for evaluation of the environmental impact of energy conversion systems. *Energy*; 2009. 34(1), 75-89.
- [17] Iturriaga Hidalgo, E. (2017). Desarrollo de un método simple para la optimización del diseño de las instalaciones en edificios residenciales de consumo energético casi nulo en el País Vasco.

Análisis energético en diferentes zonas climáticas de una Bomba de Calor de Aire acoplada a una Fachada Ventilada Fotovoltaica para producción de agua caliente

Energy analysis in different climatic zones of an Air Source Heat Pump coupled to a Photovoltaic Ventilated Façade for the production of hot water

Erik Salazar-Herrán¹, Koldobika Martin-Escudero¹, Luis Alfonso Del Portillo-Valdés¹, Álvaro Campos-Celador¹, Pello Larrinaga-Alonso¹

ABSTRACT

Los equipos de Bomba de Calor de Aire para Calentamiento de Agua (ASHPWH) son un sustituto eficaz de los sistemas convencionales de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) hacia la sostenibilidad energética. Este potencial de alta eficiencia es reconocido por la Directiva Europea 2009/28/EC, según la cual parte de la energía generada por las bombas de calor se considerará de origen renovable cuando la producción final de energía supera de forma significativa la energía primaria necesaria para impulsar la bomba de calor.

El Coeficiente de Operación (CoP) de los equipos ASHPWH aumenta en climas donde la temperatura del aire de entrada al evaporador es alta. En cambio, cuando la temperatura del aire es baja, el CoP disminuye considerablemente.

Una solución para evitar dicha disminución del rendimiento consiste en precalentar el aire de entrada al evaporador. Para ello, se propone el empleo de un sistema dual con equipo ASHPWH y fachada ventilada fotovoltaica (FV-PV). Los beneficios son múltiples. Por un lado, la energía eléctrica producida por los paneles fotovoltaicos se puede utilizar para abastecer el consumo eléctrico de la ASHPWH. Por otro lado, el caudal de aire que circula por la FV-PV refrigera los paneles fotovoltaicos aumentando su rendimiento eléctrico. Finalmente, el aire que circula por la fachada ventilada, que está a mayor temperatura que el aire ambiente, es dirigido hacia la entrada del evaporador de la ASHPWH, mejorando así su CoP.

En este trabajo se ha realizado una simulación energética de un edificio para obtener las demandas de calefacción en tres zonas climáticas diferentes: Málaga (A3 – cálida), Bilbao (C1 – templada) y Burgos (E1 – fría). También se han obtenido las demandas de ACS siguiendo las normas del Código Técnico de la Edificación (CTE). Una vez conocidas las demandas energéticas del edificio se ha procedido por un lado a comprobar si el equipo ASHPWH estudiado es suficiente para abastecer las demandas energéticas del edificio en las diferentes zonas climáticas y a su vez comprobar si la producción de energía eléctrica producida en los paneles fotovoltaicos de la FV-PV puede abastecer el consumo eléctrico de la ASHPWH.

Una vez realizado el estudio, se ha concluido que el equipo ASHPWH no es capaz de abastecer el total de la demanda térmica de la vivienda ni la FV-PV la demanda del equipo ASHPWH en zonas frías y templadas en los meses más fríos. Aun así, en zonas templadas, hasta un 75% de la demanda térmica es abastecida por el equipo ASHPWH en los meses más fríos. Por otro lado, en climas cálidos la demanda térmica de la vivienda es abastecida íntegramente por el equipo ASHPWH, así como la FV-PV abastece también la totalidad de la demanda eléctrica del equipo ASHPWH. Lo mismo ocurre en zonas frías y templadas en los meses de verano. Por otro lado, el ahorro económico anual empleando el sistema dual ASHPWH con FV-PV respecto al empleo de una caldera de gas natural convencional ha sido demostrado.

Key Words: Bomba de Calor de Aire para Calentamiento de Agua, Fachada Ventilada Fotovoltaica, Eficiencia Energética, Energías Renovables en Edificios, Calefacción y ACS

(1) Research group ENEDI, Department of Thermal Engineering, UPV/EHU, +34 94601732, erik.salazar@ehu.eus

1. Introducción

En el sector residencial en Europa, el 64,7% de la energía consumida se emplea en calefacción y el 14,5% en el calentamiento de agua caliente sanitaria (ACS), de la cual sólo el 21% y 10% respectivamente tiene un origen renovable [1]. En el año 2009 entró en vigor la Directiva Europea 2009/28/EC [2] por la cual la energía térmica generada por los sistemas de bomba de calor puede llegar a ser considerada como energía renovable. En este ámbito cobra una especial relevancia los equipos de Bomba de Calor de Aire para Calentamiento de Agua (ASHPWH) por ser equipos compactos, sencillos de instalar, seguros y medioambientalmente sostenibles.

Los equipos ASHPWH son sistemas mecánicos impulsados por energía eléctrica con el objetivo de calentar el agua almacenada en un depósito. Estos equipos absorben el calor del aire, lo transfieren al fluido refrigerante del circuito cerrado del equipo y posteriormente este calor se transfiere al agua del depósito. Los equipos ASHPWH son capaces de producir agua caliente a lo largo de todo el año con un coste de operación bajo. Concretamente, los equipos ASHPWH, dependiendo de la temperatura del aire ambiente, pueden llegar a ser hasta 2,5 veces más eficientes que los sistemas para calentamiento de agua por resistencia eléctrica [3].

En estos equipos, la temperatura del aire ambiente es un factor clave en el rendimiento del equipo y la capacidad de producir agua caliente [4]. A mayor temperatura del aire ambiente, mayor será el rendimiento del equipo a la hora de calentar el agua del depósito. Por ejemplo, en un estudio llevado a cabo por Tangwe et al. [5], cuanto mayor era la temperatura del aire ambiente, mayor era el rendimiento del equipo ASHPWH, obteniendo un Coeficiente de Operación (CoP) de 2,54, 2,20 y 2,10 para temperaturas de 30,5°C, 24,6°C y 22,2°C respectivamente.

Por otro lado, las fachadas ventiladas fotovoltaicas (FV-PV) están cada vez más extendidas en la edificación. El aumento de superficie de paneles fotovoltaicos supone una mayor producción de energía eléctrica renovable y, además, al estar constantemente refrigerados por el aire que circula por la fachada ventilada, el rendimiento de los paneles fotovoltaicos aumenta. Por otro lado, empleando la producción eléctrica de la FV-PV para abastecer el consumo eléctrico del equipo ASHPWH se pretende que la demanda de calefacción y ACS sea abastecida en la mayor medida posible mediante energías renovables.

En el proyecto EkimProVe, se propone que además de trabajar con el sistema dual ASHPWH y FV-PV, el aire que circula por la fachada ventilada, que ha aumentado su temperatura al refrigerar los paneles fotovoltaicos, se canalice hasta la entrada del evaporador del equipo ASHPWH. Con ello se pretende

1. Introduction

In the residential sector in Europe, 64.7% of the energy consumed is used for house heating and 14.5% for domestic hot water (DHW) production, of which only 21% and 10%, respectively, have a renewable origin [1]. In 2009, the European Directive 2009/28/EC [2] entry into force, by which the thermal energy generated by heat pump systems can be considered as renewable energy. In this area, Air Heat Pump for Water Heating (ASHPWH) systems are particularly relevant because are compact, simple to install, safe and environmentally sustainable.

The ASHPWH systems are mechanical systems driven by electric energy with the objective of heating the water stored in a tank. These systems absorb heat from the air, transfers it into the refrigerant fluid of the closed circuit of the system and later this heat is transferred to the tank water. ASHPWH systems are capable of producing hot water throughout the year with low operating costs. Specifically, the ASHPWH system, depending on the temperature of the ambient air, can be up to 2.5 times more efficient than conventional electric water heater systems [3].

In these systems, ambient air temperature is a key factor in the performance of the system and the ability to produce hot water [4]. The higher the ambient air temperature, the higher the performance of the system when heating the water in the tank. For example, in a study carried out by Tangwe et al. [5], was demonstrated that the higher the ambient air temperature was, the higher the performance of the ASHPWH system was, obtaining a Coefficient of Performance (CoP) of 2.54, 2.20 and 2.10 for temperatures of 30.5°C, 24.6°C and 22.2°C respectively.

On the other hand, ventilated photovoltaic façades (FV-PV) are increasingly using in building. The increase of the surface area of photovoltaic panels means a greater production of renewable electric energy and, in addition, being constantly cooled by the circulating air through the ventilated façade, the performance of the photovoltaic panels increases. On the other hand, using the electrical production of the FV-PV to supply the electrical consumption of the ASHPWH system, it is intended to supply the demand for heating and DHW as much as possible by renewable energies.

In the EkimProVe project, it is proposed that in addition to working with the dual system ASHPWH and FV-PV, the air circulating through the ventilated façade, which has increased its temperature cooling the photovoltaic panels, is conducted to the entrance of the evaporator of the ASHPWH system. The aim is to achieve an increase in the performance of the heat pump and reach a greater production of hot water and a lower consumption of the ASHPWH system [6].

conseguir un aumento del rendimiento de la bomba de calor, una mayor producción de agua caliente y un menor consumo del equipo ASHPWH [6].

En trabajos previos [7] se ha analizado el empleo de un sistema dual ASHPWH con y sin FV-PV para abastecer la demanda calorífica (calefacción + ACS), sólo la demanda de calefacción o sólo la demanda de ACS. Por un lado, se ha concluido, que el empleo de un sistema dual ASHPWH con FV-PV no es idóneo si no se utiliza para abastecer la demanda calorífica total de la vivienda. Por otro lado, se ha comprobado que el empleo del sistema dual permite ahorrar hasta un 70% en costes de operación con respecto al empleo de un sistema de calefacción convencional (i.e. caldera de gas natural).

En este trabajo se pretende continuar el estudio anterior localizando una vivienda unifamiliar con un sistema dual ASHPWH con FV-PV en tres zonas climáticas diferentes: Málaga (A3 – cálida), Bilbao (C1 – templada) y Burgos (E1 – fría). En la Tabla 1 se pueden ver la localización y los datos climáticos anuales básicos de las diferentes zonas climáticas. Primero, se ha realizado una simulación energética de la vivienda para obtener las demandas de calefacción en zonas climáticas. Así mismo, se han obtenido las demandas de ACS para cada zona climática siguiendo las normas del Código Técnico de la Edificación (CTE). Con ello se ha procedido por un lado a comprobar si el sistema estudiado es suficiente para abastecer las demandas energéticas del edificio en las diferentes zonas climáticas y a su vez comprobar si la producción de energía eléctrica producida en los paneles fotovoltaicos puede abastecer el consumo eléctrico del equipo ASHPWH.

2. Metodología

Para la realización del estudio planteado, previamente, se ha realizado un modelo computacional de la vivienda para realizar la simulación de las demandas de calefacción en los diferentes climas. También se ha calculado el consumo de ACS siguiendo el CTE. Posteriormente se ha caracterizado el equipo ASHPWH elegido para la producción de agua caliente para ACS y calefacción mediante ensayos experimentales. Por último, con los resultados obtenidos de los ensayos experimentales y el modelo computacional, se ha llevado a cabo la simulación de la producción energética y eléctrica del sistema dual ASHPWH con FV-PV.

El edificio estudiado se trata una vivienda unifamiliar de 156 m² divididos en dos plantas simétricas. El edificio se ha modelizado y simulado en el software comercial DesignBuilder conforme al método ASHRAE. Para las simulaciones de las demandas térmicas de calefacción, las cargas de ocupación, equipos e iluminación han sido impuestas conforme al CTE. Las infiltraciones se han fijado en 0,1 renovaciones/h y la ventilación en 0,19 renovaciones/h (asumiendo

In previous works [7] the use of a dual ASHPWH system with and without FV-PV to supply the full thermal demand (heating + DHW), only heating demand or only DHW demand has been analyzed. On the one hand, it has been concluded that the use of a dual system ASHPWH with FV-PV is not suitable if it is not used to supply the full thermal demand of the house. On the other hand, it has been proven that the use of the dual system allows saving up to 70% in operating costs with respect to the use of a conventional heating system (i.e. natural gas boiler).

In this work, it has been continued with the previous study by locating a single-family house with the dual system ASHPWH with FV-PV in three different climatic zones: Malaga (A3 - warm), Bilbao (C1 - temperate) and Burgos (E1 - cold). In Table 1, it can be seen the location and the basic annual climatic data of the different climatic zones. Firstly, an energy simulation of the house has been carried out to obtain heating demands in different climatic zones. Likewise, the demands of ACS have been obtained for each climatic zone following the norms of the Technical Building Code (CTE). With all that, it has been proceeded on the one hand to check if the system studied is sufficient to meet the energy demands of the building in different climatic zones and on the other hand to check whether the production of electricity produced in the photovoltaic panels can supply the electrical consumption of the system ASHPWH.

	Zona climática		
	C1 Bilbao	E1 Burgos	A3 Málaga
Altitud [m]	42	891	5
Latitud	43° 17' 53" N	42° 21' 25" N	36° 39' 58" N
Longitud	2° 54' 23" O	3° 37' 13" O	4° 28' 56" O
Temperatura media anual [°C]	14,7	10,7	18,5
Temperatura media anual de las temperaturas máximas [°C]	19,5	16,6	23,3
Temperatura media anual de las temperaturas mínimas [°C]	9,9	4,8	13,7
Humedad relativa media [%]	70	71	65
Nº medio anual de horas de sol [horas]	1610	2223	2905

Tabla 1. Localización y datos climáticos básicos de las zonas climáticas utilizadas para el estudio [8]. Location and basic climatic data of the used climatic zones for the study [8].

2. Methodology

In order to carry out the proposed study, previously, a computational model of the single-family house has been constructed to simulate the heating demands in the different climates. It also has been calculated the DHW consumption following the CTE. Then, the ASHPWH system has been characterized by experimental tests. Finally, with the results obtained from the experimental tests and the computational model, the simulation of the energy and electrical production of the ASHPWH with FV-PV dual system has been carried out.

The building studied is a single-family house of 156

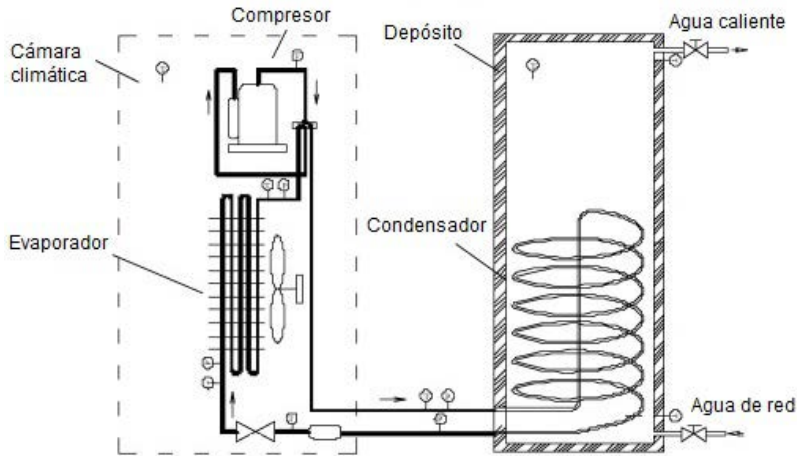


Fig. 1. Esquema de la instalación experimental del equipo ASHPWH. Schematic diagram of the experimental installation of the ASHPWH unit.

recuperadores de calor con una eficiencia del 70%). En la Tabla 2 se encuentran las características principales de la envolvente de la vivienda. En la Fig. 1 está representado el modelo de la vivienda con la FV-PV instalada en la fachada sur.

El cálculo de la demanda de ACS se ha realizado según el CTE [9] asumiendo un consumo de 30 l/persona-día de ACS a 60°C y una ocupación de 4 personas en la vivienda. La distribución horaria del consumo de ACS a lo largo del día también se ha hecho según la norma.

El equipo empleado para la producción de agua caliente para calefacción y ACS es un equipo ASHPWH formado por una bomba de calor aire-agua y un depósito de acumulación de agua caliente de 300 litros de capacidad. Según el fabricante, la bomba de calor trabaja con 2 kW de potencia eléctrica absorbida y un COP de 4,3 para una producción punta de energía térmica de 8,6 kW. Según la simulación realizada para el cálculo de la demanda de calefacción y ACS, la demanda de energía térmica instantánea pico anual en el clima más desfavorable (E1) es 6.86 kWh, por lo que el equipo seleccionado sería capaz de abastecer dicha demanda pico. Mediante diferentes ensayos se ha obtenido la producción de energía térmica en función de la temperatura del aire que entra al evaporador [7]. Con ello se ha podido predecir la producción de energía térmica del equipo ASHPWH en forma de agua caliente para abastecer

m² divided into two symmetrical floors. The building has been modeled and simulated in the commercial software DesignBuilder according to the ASHRAE method. For the simulations of the heating thermal demands, occupation loads, equipment and lighting have been imposed according to the CTE. Infiltrations have been fixed at 0.1 renewals/h and ventilation at 0.19 renewals/h (assuming heat recovery systems with an efficiency of 70%). Table 2 shows the main characteristics of the house envelope. Fig. 1 shows the model of the house with the FV-PV installed on the south façade.

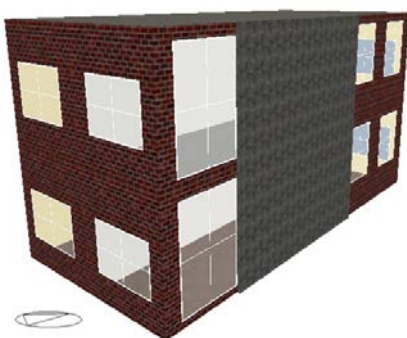
The calculation of the DHW demand has been made according to the CTE [9], assuming a consumption of 30 l/person-day of DHW at 60°C and an occupation of 4 people. The hourly distribution of DHW consumption throughout the day has also been made according to the norm.

The equipment used for the production of hot water for heating and DHW is an ASHPWH system. It consists of an air-water heat pump system and a 300 liter capacity hot water storage tank. According to the manufacturer, the heat pump works with 2 kW of absorbed electrical power and a COP of 4.3 for a peak production of thermal energy of 8.6 kW. According to the simulation carried out to calculate the demand for heating and DHW, the demand for instantaneous thermal energy annual peak in the most unfavorable climate (E1) is 6.86 kWh. Therefore, the selected equipment would be able to supply this peak demand. Through different tests, the production of thermal energy has been obtained as a function of the inlet air temperature to the evaporator [7]. With that, it has been possible to predict the thermal energy production of the ASHPWH system to supply the heating and DHW demand of the house. In Fig. 2, a schematic diagram of the experimental installation can be seen.

For the calculation of the hourly production of thermal energy and electrical consumption of the ASHPWH system, the data obtained from the experimental tests have been used. The dynamics of the thermal energy storage tank have been also simulated. According to the operation mode used for the start and stop of the ASHPWH system, the ASHPWH

Fig. 2. Modelo computacional en DesignBuilder de la vivienda unifamiliar estudiada con la FV-PV instalada en la fachada sur. Computational model in DesignBuilder of the studied single-family house with the FV-PV installed in the south façade.

Tabla 2. Características principales de la envolvente de la vivienda. Main characteristics of the single-family house envelope.

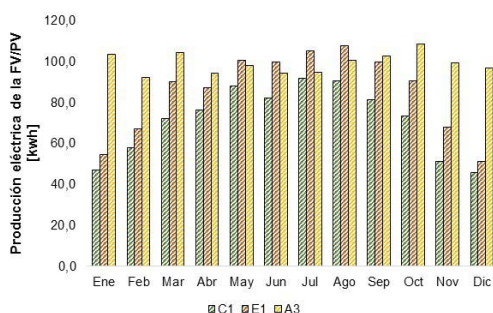


	Transmitancia [W/m ² K]	Factor solar [-]	Superficie [m ²]	Porcentaje de acristalamiento
Muros	0,29	-	228	-
Cubierta	0,23	-	78	-
Suelo	0,21	-	78	-
Acristalamiento	1,96	0,69	60,6	-
Puerta (Norte)	2,8	-	2,76	-
Fachada Norte	-	-	78	20%
Fachada Sur	-	-	78	30%
Fachada Este	-	-	36	30%
Facada Oeste	-	-	36	30%

la demanda de calefacción y ACS de la vivienda. En la Fig. 2 puede verse un esquema de la instalación experimental.

Para el cálculo de la producción horaria de la energía térmica y consumo eléctrico del equipo ASHPWH se han empleado los datos obtenidos de los ensayos experimentales. También se ha simulado la dinámica del depósito de almacenamiento de energía térmica. Según el modo de operación empleado para la puesta en marcha y detención del equipo ASHPWH, el equipo ASHPWH se pone en marcha y calienta el agua del depósito siempre que esta baja hasta los 45°C. También se pone en marcha cuando la temperatura del agua sea inferior a 55°C y el rendimiento del equipo sea superior a 2,5 (valor mínimo para que la energía térmica producida sea considerada como energía renovable según la Directiva 2009/28/CE). Del mismo modo, cuando alcanza los 55°C, se detiene. Para los casos en que la demanda de energía no pueda ser abastecida por el equipo ASHPWH porque el CoP sea inferior a 2,5 o la demanda muy alta, se recurre a una caldera auxiliar de gas natural (CGN).

Teniendo en cuenta lo explicado anteriormente y las demandas de calefacción y ACS de la vivienda, se ha simulado la producción horaria de energía térmica y electricidad a lo largo de un año. Por ejemplo, en la Fig. 3 se puede ver la demanda, producción y acumulación en el depósito de la energía térmica para un día de invierno de la zona climática C1. Al comienzo del día el depósito de acumulación está cargado y abastece la demanda calorífica. Cuando la demanda supera la capacidad del depósito, entra en funcionamiento el sistema auxiliar de CGN para abastecer la demanda pico y seguidamente se pone en marcha el equipo ASHPWH para volver a acumular energía y abastecer la demanda.



Por último, se ha calculado la producción eléctrica de la FV-PV. Para ello, mediante los datos horarios de la posición del sol y la irradiación solar (normal y difusa) obtenidos de la simulación del edificio en las diferentes zonas climáticas, se ha obtenido la radiación solar incidente sobre los paneles solares de la FV-PV. Con ello se ha calculado la producción horaria de electricidad asumiendo un rendimiento de los paneles fotovoltaicos del 5%. También se ha simulado el ascenso de la temperatura que sufriría el aire

unit starts and heats the water in the tank whenever it drops to 45°C. It also starts when the water temperature is lower than 55°C and the performance of the system is higher than 2.5 (minimum value so that the thermal energy produced can be considered as renewable energy according to Directive 2009/28/CE). In the same way, when the tank water reaches 55°C, it stops. For cases in which the demand for energy can not be supplied by the ASHPWH team because the CoP is lower than 2.5 or the thermal demand is too high, an auxiliary natural gas boiler (CGN) is used.

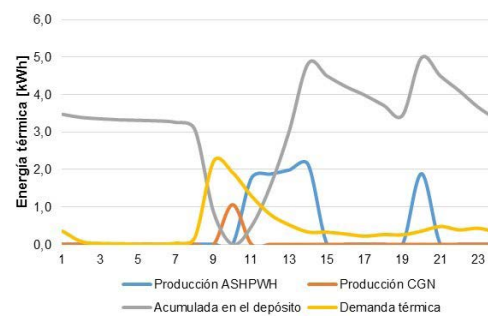


Fig. 3. Demanda, producción y acumulación en el depósito de energía térmica a lo largo de un día de invierno en la zona climática C1. Demand, production and accumulation in the thermal energy storage throughout a winter day in climatic zone C1.

Taking into account the above explanation and the heating and DHW demands of housing, the hourly production of thermal energy and electricity has been simulated over a year. For example, in Fig. 3 it can be seen the demand, production and accumulation in the energy thermal storage for a winter day of climatic zone C1. At the beginning of the day, the accumulation tank is loaded and supplies the heat demand. When the demand exceeds the capacity of the tank, the CGN auxiliary system comes into operation to supply the peak demand and then the ASHPWH system starts accumulating energy and supplying the demand.

Finally, the electric production of the FV-PV has been calculated. For that, by means of the sun position and the solar irradiation (normal and diffuse) hourly data obtained from the simulation of the building in the different climatic zones, the incident solar radiation on the solar panels of the FV-PV has been obtained. With it, the hourly electricity production has been calculated assuming an efficiency of 5% for the photovoltaic panels. It has also been simulated the rise in the temperature that the air would suffer when circulating through the FV-PV. In Fig. 4 it can be seen the monthly electric production of the FV-PV in the different climatic zones.

3. Results and discussion

In this section, it is presented the obtained monthly results for the three climates studied. The demand and production of both thermal energy and electricity will be analyzed. According to electric power demand, only the demand of the ASHPWH system will be studied, which includes the compressor, the evaporator fan and the electronics. The operating

Fig. 4. Producción mensual de electricidad de la FV-PV en las diferentes zonas climáticas. Monthly electricity production of FV-PV in the different climatic zones.

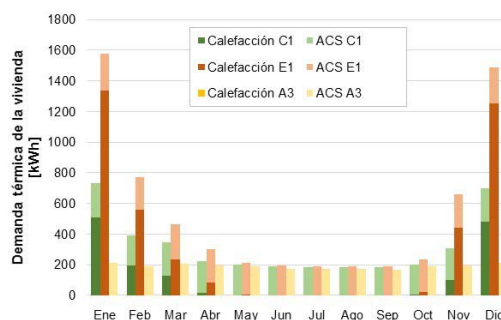
al pasar por la FV-PV y refrigerar los paneles solares. En la Fig. 4 se puede ver la producción mensual de la FV-PV en las diferentes zonas climáticas.

3. Resultados y discusión

En este apartado se presentan los resultados mensuales obtenidos para los tres climas estudiados. En ellos se analizarán la demanda y producción tanto de energía térmica como de energía eléctrica. En el caso de la demanda de energía eléctrica, se estudiará sólo la demanda del equipo ASHPWH, en el que se incluye el compresor, el ventilador del evaporador y la electrónica. También se analizarán los costes de operación del sistema dual ASHPWH y FV-PV en los diferentes climas.

En la Fig. 5 están representadas las demandas de calefacción y ACS mensuales en las diferentes zonas climáticas estudiadas. La demanda de ACS es similar en las tres zonas climáticas a lo largo del año, alrededor de 200 kWh, siendo ligeramente superior en la zona climática E1 y ligeramente inferior en la A3. EN cuanto a la demanda de calefacción, en la zona climática E1 está por encima de los 1200 kWh en los meses más fríos y entre 200 y 600 kWh en febrero, marzo y noviembre. En octubre y abril, la demanda es muy baja. Por otro lado, en la zona climática C1, en ningún mes se llegan a superar los 600 kWh, llegando a estar por debajo de 200 kWh en la mayoría del invierno. En ambas zonas climáticas (C1 y E1), la demanda de calefacción en verano es nula. En la zona climática A3, en ningún momento del año existe demanda de calefacción.

costs of the ASHPWH and FV-PV dual system in the different climates will be also analyzed.



In Fig. 5, the monthly heating and DHW demands are represented for the different studied climatic zones. The demand for DHW is similar in the three climatic zones throughout the year, around 200 kWh, being slightly higher in climatic zone E1 and slightly lower in A3. In terms of heating demand, in climatic zone E1 it is above 1200 kWh in the coldest months and between 200 and 600 kWh in February, March and November. In October and April, the demand is very low. On the other hand, in climatic zone C1, heating demand never exceed 600 kWh, remaining below 200 kWh in most of the winter. In both climatic zones (C1 and E1), the demand for heating in summer is zero. In climatic zone A3, there is no demand for heating at any time of the year.

In Fig. 6, it can be seen the thermal energy production of ASHPWH system to supply the heating demand of the house in the different climates throughout the year. In situations where the ASHPWH system is not capable to supply the full thermal demand, a natural gas auxiliary boiler (CGN) has been used to cover the surplus demand.

As it can be noted, the thermal demand is only fully supplied by the ASHPWH system in climatic zone A3. This is because there is no heating demand in this area (Fig. 5). In climatic zones C1 and E1, in months where heating demand is given, it is necessary to use the CGN. In climatic zone C1, the ASHPWH system is able to supply up to 75% of the demand in the two coldest months of the year and between 85% and 95% in the remaining winter months. However, in the climatic zone E1, only 50% of the heating demand is supplied by the ASHPWH system in December and January, needing the CGN to supply about 800 kWh. In February, March, April and November, 65%, 77%, 87% and 68% of the demand, respectively, is supplied by the ASHPWH system, with the CGN production exceeding 250 kWh only in February.

In Fig. 7, the electrical consumption of the ASHPWH system is shown. The black markers in the figure represent the FV-PV electricity production. Due to the high heating demand in the coldest months of the year in climatic zones C1 and E1, the thermal energy

Fig. 5. Demanda mensual de calefacción y ACS en las diferentes zonas climáticas. Monthly heating and DHW demand in the different climatic zones.

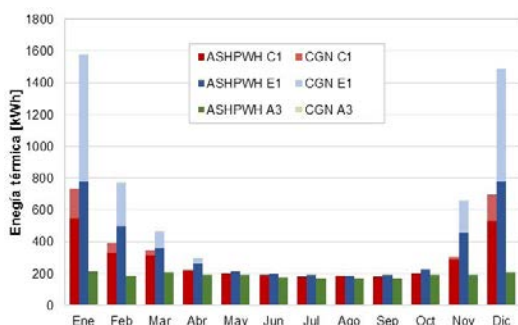


Fig. 6. Producción de energía térmica mensual en las diferentes zonas climáticas. Monthly thermal energy production in the different climatic zones.

En la Fig. 6 se puede ver la producción de energía térmica para abastecer la demanda calorífica de la vivienda en los diferentes climas a lo largo del año. En las situaciones en las que el equipo ASHPWH no es suficiente para abastecer la demanda total de la vivienda, se ha recurrido a cubrir la demanda sobrante con una caldera auxiliar de gas natural (CGN).

Como se puede ver, la demanda calorífica únicamente es totalmente abastecida por el equipo ASHPWH en la zona climática A3. Esto es debido a que en dicha zona no existe demanda de calefacción (Fig. 5). En las zonas climáticas C1 y E1, en los meses donde existe demanda de calefacción es necesario

recurrir a la CGN. En la zona climática C1, el equipo ASHPWH es capaz de abastecer hasta el 75% de la demanda en los dos meses más fríos del año y entre el 85% y el 95% en los restantes meses de invierno. Sin embargo, en la zona climática E1, sólo el 50% de la demanda de calefacción es abastecida por el equipo ASHPWH en diciembre y enero, teniendo que recurrir a la CGN para poder abastecer cerca de 800 kWh. En febrero, marzo, abril y noviembre, el 65%, 77%, 87% y 68% de la demanda, respectivamente, es abastecido por el equipo ASHPWH, siendo la producción de la CGN superior a 250 kWh únicamente en el mes de febrero.

En la Fig. 7 está representada el consumo eléctrico del equipo ASHPWH. Los marcadores negros de la figura representan la producción de electricidad de la FV-PV. Debido a la alta demanda calorífica en los meses más fríos del año en las zonas climáticas C1 y E1, la producción de energía térmica del equipo ASHPWH también es alta y por consecuencia el consumo eléctrico. El abastecimiento total de la demanda de electricidad del equipo ASHPWH con la producción eléctrica de la FV-PV ocurre durante todo el año en la zona climática A3, entre abril y octubre en la C1 y entre mayo y octubre en la E1. En la zona climática C1, en febrero, marzo y noviembre, la producción eléctrica está alrededor del 55% de la demanda, mientras que en enero y diciembre está alrededor del 22%. En el caso de la zona climática E1, la producción abastece entre el 30% y el 64% de la demanda en febrero, marzo y noviembre, no llegando a superar el 13% en enero y diciembre.

Por último, en la Tabla 3 se pueden comparar los costes operacionales y el ahorro anual para el abastecimiento de la demanda calorífica empleando el siste-

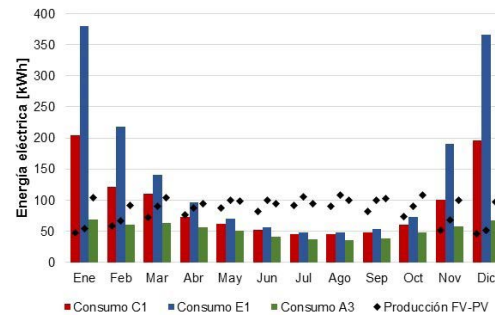


Fig. 7.

Consumo eléctrico del equipo ASHPWH y producción eléctrica de la FV-PV en las diferentes zonas climáticas.

Electrical consumption of the ASHPWH unit and electrical production of the FV-PV in the different climatic zones.

production of the ASHPWH system is also high and consequently electricity consumption. The FV-PV production is enough to supply the ASHPWH system electric consumption throughout all the year in the climatic zone A3, between April and October in C1 and between May and October in E1. In climate zone C1, in February, March and November, electricity production is around 55% of the demand, while in January and December it decreases to 22%. In the case of the climatic zone E1, production supplies between 30% and 64% of the demand in February, March and November, not exceeding 13% in January and December.

Finally, Table 3 compares the operational costs and annual savings of supplying thermal demand using the proposed ASHPWH with FV-PV dual system with the use of a conventional natural gas boiler. As a reference, 0.06 €/kWh for the price of natural gas, an efficiency of 85% for the CGN system and 0.12 €/kWh for the price of electricity have been taken. It is also considered that in the situations that exist an electrical overproduction of the FV-PV, the house has enough capacity to use it.

Tabla 3.

Costes de operación anuales del sistema ASHPWH con FV-PV y del sistema CGN convencional en las diferentes zonas climáticas. Annual operating costs of the ASHPWH with FV-PV system and a conventional CGN system in the different climatic zones.

	C1		E1		A3	
	Sistema ASHPWH con FV-PV	Calder de gas natural	Sistema ASHPWH con FV-PV	Calder de gas natural	Sistema ASHPWH con FV-PV	Calder de gas natural
Coste de operación	65 €	271 €	238 €	457 €	-68 €	160 €
Ahorro	206 €		219 €		228 €	
	76%		48%		143%	

ma dual ASHPWH con FV-PV propuesto respecto al empleo de una caldera de gas natural convencional. Se ha tomado como referencia que el precio del gas natural es de 0,06 €/kWh, que el rendimiento de la CGN es de un 85% y que el precio de la electricidad es de 0,12 €/kWh. También se considera que en los casos que haya una sobreproducción eléctrica de la FV-PV, la vivienda tiene capacidad suficiente para utilizar dicha electricidad sobrante.

Como se puede ver, el ahorro emperando el sistema ASHPWH con FV-PV en vez de una caldera de gas natural convencional, es de 206€ en la zona climática C1, de 219€ en la E1 y de 228€ en la A3, siendo en proporción al coste de producción de una caldera de

As can be seen, the savings by using the ASHPWH system with FV-PV instead of a conventional natural gas boiler, is € 206 in climate zone C1, € 219 in E1 and € 228 in A3, being proportionally to the production cost of a natural gas boiler, 76%, 48% and 142% respectively. In addition to annual savings being higher, both monetarily and proportionally, in climatic zone A3, not needing an auxiliary natural gas boiler would reduce the investment costs, resulting in a greater saving respect to the other two climatic zones.

4. Conclusions

In this work, a study of the thermal and electrical viability of an ASHPWH with PV-PV dual system to

gas natural un 76%, 48% y 142% respectivamente. A parte de ser mayor el ahorro anual, tanto monetariamente como porcentualmente, en la zona climática A3, el no necesitar una caldera auxiliar de gas natural reduciría la inversión necesaria para la puesta en marcha, derivando en un ahorro aún mayor respecto a las otras dos zonas climáticas. Sin embargo, se debe tener en cuenta un posible mayor consumo de climatización en verano.

4. Conclusiones

En este trabajo se ha realizado un estudio de la viabilidad térmica y eléctrica de un sistema dual ASHPWH con FV-PV para el abastecimiento de la demanda térmica de una vivienda unifamiliar en tres zonas climáticas diferentes. También se ha estudiado el ahorro monetario que supondría la implementación de dicho sistema respecto al empleo de una caldera de gas natural convencional.

En la zona climática A3, la más cálida de las estudiadas, la demanda de calefacción es nula a lo largo de todo el año, por lo que el equipo ASHPWH es capaz de abastecer el 100% de la demanda de ACS de la vivienda. Además, la producción eléctrica de la FV-PV es suficiente para abastecer toda la demanda de electricidad del equipo ASHPWH. Todo ello repercute en un ahorro de 228€ anuales, que supone el 142% respecto al empleo de una caldera de gas natural convencional.

En las otras dos zonas climáticas, zonas C1 y E1, el equipo ASHPWH no es capaz de abastecer toda la demanda calorífica de la vivienda en invierno. En los meses de verano sí. En los meses más fríos, en la zona climática C1, el equipo ASHPWH es capaz de abastecer hasta el 75% de la demanda calorífica y a su vez, la FV-PV abastece el 22% de lo consumido por el equipo ASHPWH. Para la zona climática E1, el equipo abastece únicamente el 50% de la demanda calorífica en enero y diciembre y la FV-PV cubre el 13% de la demanda eléctrica. El ahorro en ambas zonas es de alrededor de 210€ anuales, suponiendo esto un 76% en el caso de la zona climática C1 y un 48% en la E1.

Todo ello nos lleva a concluir que si bien es verdad que existe un ahorro anual en costes de operación, la necesidad de emplear una CGN auxiliar puede llegar a elevar considerablemente el coste de la instalación e impedir la viabilidad del sistema en zonas climáticas frías o templadas. Sin embargo, en zonas climáticas cálidas, la viabilidad anual de este sistema dual es alta.

Por todo ello, un estudio de más profundidad donde se optimice el tamaño del depósito de agua y su control, así como donde se valoren los gastos de puesta en marcha, sería recomendable para obtener conclusiones más específicas, sobre todo en zonas templadas donde el abastecimiento de la deman-

supply the thermal demand of a single-family house in three different climatic zones has been carried out. It has also analyzed the annual savings that would imply the use of this dual system with respect to the use of a conventional natural gas boiler.

In the climatic zone A3, the warmest zone of the study, the demand for heating is zero throughout the year and the ASHPWH system is able to supply 100% of the DHW demand of the house. In addition, the electrical production of the FV-PV is enough to supply all the electricity demand of the ASHPWH system. All that means an annual saving of € 228, which suppose a 142% compared to the use of a conventional natural gas boiler.

In the other two climatic zones, zones C1 and E1, the ASHPWH system is not able to supply all the heat demand of the house in winter. In summer months, it is. In coldest months, in climatic zone C1, the ASHPWH system is capable of supplying up to 75% of the heat demand and, in turn, the FV-PV supplies 22% of the consumed by the ASHPWH system. For the climatic zone E1, the system supplies only 50% of the heat demand in January and December and the FV-PV covers no more than 13% of the electricity demand in those months. The savings in both areas is around € 210 per year, being it the 76% in the case of climatic zone C1 and 48% in E1.

All this leads us to conclude that although it is true that there is an annual saving in operating costs, the need to use an auxiliary CGN can considerably raise the installation costs and to hamper the viability of the system in cold or temperate climatic zones. However, in warm climatic zones, the annual viability of this dual system is high.

Therefore, a more in-depth study in which the size of the water tank and its control are optimized, as well as where the installation costs are valued, would be advisable to obtain more specific conclusions, especially in temperate zones where the supply of the heat demand by the ASHPWH system is high. It also would be positive to add the demand of air conditioning.

da calorífica por parte del equipo ASHPWH es alto. También sería positivo añadir la demanda de climatización.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Polish Central Statistical Office, "Energy Consumption in Households 2009," no. April, p. 126, 2012.
- [2] European Commission. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions, An EU Strategy on Heating and Cooling. 2016. Vol. COM(2016), p. 1–13.
- [3] H. Willem, Y. Lin, and A. Lekov, "Review of energy efficiency and system performance of residential heat pump water heaters," *Energy Build.*, vol. 143, pp. 191–201, 2017.
- [4] A. S. Vieira, R. A. Stewart, and C. D. Beal, "Air source heat pump water heaters in residential buildings in Australia: Identification of key performance parameters," *Energy Build.*, vol. 91, pp. 148–162, 2015.
- [5] S. L. Tangwe, M. Simon, and E. L. Meyer, "Prediction of coefficient of performance and simulation design of an air-source heat pump water heater," *J. Eng. Des. Technol.*, vol. 15, no. 3, pp. 378–394, 2017.
- [6] K. Martin, I. Flores, G. Diarce, A. Campos, A.M. García, C. García, Potential of a solar energy system for heating and domestic hot water supply by means of a photovoltaic ventilated façade, 2017.
- [7] E. Salazar, K. Martin, I. López, A Jiménez, N. Romero, Caracterización experimental de una bomba de calor acoplada a una fachada ventilada para producción de agua caliente, 2018.
- [8] "AEMET. Agencia Estatal de Meteorología." [Online]. Available: <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/>.
- [9] Guía Técnica Agua Caliente Sanitaria Central. IDAE.

Análisis del potencial de la contabilización de consumos individuales como estrategia para la reducción del consumo energético en bloques de viviendas

Analysis of the potential of individual metering and charging as strategy for the reduction of energy consumption in multifamily buildings

Jon Terés-Zubiaga¹, Estibaliz Pérez-Iribarren¹, Iker González-Pino¹, José María Sala¹, Manuel Heredia de la Vega²

ABSTRACT

Los sistemas de individualización de medición consumos energéticos y reparto de costes (IMC, por sus siglas en inglés "Individual Metering and Charging") -tanto para agua caliente como para calefacción- son una de las posibles estrategias dirigidas a reducir el consumo energético de los bloques de viviendas con sistemas de calor centralizados y con esta intención, la Directiva Europea 2012/27/EU reforzaba la introducción de contadores individualizados en los bloques que, por ser anteriores a su exigencia en los distintos países (en el caso de España, su implantación se empezó a hacer obligatoria en los nuevos edificios en 1998) no disponen de este sistema. Aunque se pueden encontrar diversos estudios experimentales dirigidos a cuantificar y evaluar el impacto que los IMC tienen en el consumo energético de un edificio, la mayoría de los mismos está focalizado en condiciones relacionadas con climas fríos (principalmente del norte de Europa), mientras que resulta difícil encontrar estudios dirigidos a valorar el impacto de estos sistemas en climas más templados, con inviernos menos severos, como los que se pueden dar en la mayoría de las regiones costeras del sur de Europa. En este trabajo se presenta un análisis del potencial que los IMC presentan como estrategia a la reducción del consumo energético en la edificación en climas templados. Para ello, se analiza un caso de estudio (un edificio ubicado en Bilbao) en el que se implantó un sistema de individualización de medida en verano de 2015. En dicho análisis se evalúan los datos de consumo en calefacción y agua caliente recogidos durante cuatro años (incluyendo 2 temporadas de invierno previas a la instalación del IMC y otras dos temporadas de invierno completas posteriores a la implementación del IMC). En base al tratamiento de datos realizado, se calculan unos ahorros en el consumo energético del edificio de entre el 15 y el 20% durante los dos primeros años posteriores a la implementación del IMC, mostrando cómo afecta directamente al comportamiento de las personas usuarias del edificio, y demostrando que dicho efecto es también significativo en climas con inviernos más templados.

Key Words: Repartidores de costes, medición individualizada, eficiencia energética, comportamiento del usuario

1. Introducción

Actualmente, el sector de la edificación representa el 40% del consumo total de energía primaria en la Unión Europea, siendo a su vez responsable de un tercio de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al mismo [1]. En este contexto, el 2012 se publicó la directiva 2012/27/EU, cuyo objetivo era aumentar la eficiencia energética para alcanzar el compromiso de una reducción del 20% del consumo de energía primaria para el año 2020. Una de las propuestas incluidas en esta directiva contempla el uso de sistemas de contabilización de consumos individuales (SCCI) para calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria (ACS) en bloques de viviendas con sistemas centralizados. Esto se basa en la idea de que el hecho de que cada vivienda pague de acuerdo a su propio consumo conlleva una reducción del consumo energético debido a que se crea un "comportamiento de ahorro" [3].

Este trabajo presenta los primeros resultados relacionados con los efectos de implementar un SCCI en un clima templado, basado en datos obtenidos durante 4 temporadas de invierno (dos antes de la implementación del SCCI, las otras dos tras la implementación) en un bloque de viviendas ubicado en Bilbao. El objetivo de este trabajo es cuantificar y evaluar el efecto del SCCI en el consumo energético en dicho clima.

2. Contabilización de consumos individuales

El SCCI permite a cada vivienda pagar de acuerdo a su propio uso de calefacción y ACS. Según afirman diferentes autores, el SCCI puede aumentar la conciencia de los costes energéticos en el usuario, y en muchos casos, resultar en comportamientos de ahorro y de consumo energético más eficiente [4].

Al introducir el SCCI en un sistema centralizado, los costes relacionados con la calefacción y/o el ACS son habitualmente divididos en dos partes: una parte variable (proporcional al consumo energético real) y un coste fijo (el cual es pagado independientemente de las lecturas de consumo) [5]. Los costes fijos normalmente van destinados a cubrir aquellos costes relacionados con el mantenimiento del sistema y las pérdidas e ineficiencias del mismo. Sin embargo, estos últimos no suelen ser conocidos con exactitud y el porcentaje asignado a esta parte suele variar significativamente entre distintos edificios. De hecho, pueden encontrarse debates sobre si las pérdidas de calor del sistema deben ser incluidas como parte variable o no, y sobre los efectos de tener un mayor o menor porcentaje de costes fijos [6].

2.1. Antecedentes y contexto de la contabilización individualizada

Los inicios de los SCCI están unidos al desarrollo de

1. Introduction

Nowadays buildings are responsible for 40% of the overall primary energy consumption in EU, as well as one third of related global greenhouse gas emissions [1]. Thus, on 14 November 2012, the Directive 2012/27/EU on energy efficiency was published in the Official Journal of the European Union [2]. This Directive aims to increase the energy efficiency within the EU in order to achieve the objective of saving 20% of the primary energy consumption by 2020. One of the proposals included in it consists of using individual metering and charging (IMC) for heating, cooling and Domestic Hot Water (DHW) in multi-apartment buildings with centralized heating systems. This suggestion was based on the idea that the fact that each household in a multi-apartment building pays according to its own energy use involves a reduction of energy consumption by creating a "saving behaviour" [3].

This work presents the first findings related to the effects of implementing an IMC system in a temperate climate, based on data obtained during four heating seasons (2 before installing the IMC, and 2 with IMC system implemented) from a case-study building located in Bilbao, northern Spain. This research piece aims to assess how installing IMC influences the DHW and heating consumptions of the building, based on a case study located in mentioned climate.

2. Individual metering and charging

Individual metering and charging allows each apartment paying for its own use of heating and DHW. As several authors claim, IMC can increase occupants' awareness of costs and, in most cases, result in saving behaviours and more efficient energy use [4].

When introducing allocators, cost related to heating and/or DHW system is usually divided into two parts: a variable cost (proportional to the actual energy consumption) and fixed cost (which is paid regardless of meters or allocators readings) [5]. Fixed costs usually cover those costs related to system maintenance and heat losses through the system. However, these costs are not frequently known with accuracy and the share of fixed part with respect to the total cost varies significantly amongst buildings. In fact, there are arguments about whether energy losses should be included in the variable part or not, or about the effects of having a higher or lower percentage for the fixed expenses [6].

2.1. Background and literature on individual metering

The beginnings of IMC systems are linked to the development of central heating systems, which started getting introduced in Europe in the 1920s. Since

los sistemas de calefacción central, cuya introducción se inició en Europa a principios de los años 20 del pasado siglo. Desde entonces, los SCCI han sido implementados en distintos países europeos y a distintos niveles. Alguno de los países con mayor experiencia en este campo son Alemania, (obligatorio desde 1981), Austria (obligatorio desde 1992), Suiza y Dinamarca (en ambos casos, obligatorio desde 1999) [7].

Como consecuencia, los efectos de la individualización de costes han sido objeto de atención en diferentes estudios. Muchos de ellos se basan en la hipótesis de que la relación entre el consumo real y los costes que establecen los SCCI promueven un uso más eficiente de la calefacción y ACS, gracias a la introducción de una motivación económica. Así, diferentes autores han demostrado que el SCCI puede suponer reducciones en el consumo de ACS y calefacción de entre el 10-20% [8] e incluso próximas al 40% [9].

2.2. Contexto español

En la regulación española se pueden identificar varios hitos relacionados con los SCCI. Desde 1999, tras la entrada en vigor del RITE, la contabilización individualizada de ACS y calefacción en sistemas centralizados es obligatoria en todos los edificios de nueva planta. Los edificios existentes, sin embargo, se mantuvieron fuera del ámbito de aplicación. En el RITE 2007, los SCCI pasan a ser considerados medidas de ahorro y eficiencia energética y se recomienda su implementación en los edificios existentes, aunque dicha implementación no es obligatoria, sino voluntaria.

La Directiva 2012/27/UE supone un cambio significativo, ya que la implementación de estos sistemas pasa a ser obligatoria no sólo en nuevos edificios, sino también en los existentes. Sin embargo, aunque dicha directiva debería haber sido transpuesta en España para junio de 2014, el Real Decreto correspondiente aún no ha sido aprobado.

Asimismo, desde 1981, cuando el RICCACS entro en vigor, todos los sistemas centralizados de calefacción deben de configurarse como redes de circuitos en anillo. En una red de circuitos en anillo, cada circuito en anillo suministra calor a una única vivienda, haciendo más fácil calcular el calor suministrado a cada vivienda mediante el uso de un caudalímetro y dos sensores de temperatura (para registrar la variación de temperatura en el fluido caloportador) por apartamento.

3. Metodología

El estudio experimental presentado en este trabajo fue llevado a cabo utilizando datos recogidos en un edificio de 7 plantas ubicado en Bilbao, durante el periodo comprendido entre noviembre de 2013 y

then, IMC systems have been implemented in different European countries at different levels and with growth prospects. Some European countries with wide experience are Germany, where its implementation is mandatory since 1981, Austria (mandatory since 1992), Switzerland and Denmark (mandatory since 1999 in both cases) [7].

Therefore, the effects of IMC on energy consumption have been object of attention in different studies. Many of them are based on the working hypothesis that the relation between actual consumption and costs established by IMC systems involves a more efficient use of heating systems and a careful use of DHW. Different authors show energy savings related to heating and DHW between 10-20% [8] and even close to 40% [9].

2.2. Spanish Context

As far as Spanish regulation is concerned, several milestones related to the individual charging and metering can be identified. In 1999, Regulation for Thermal Installations in Buildings (RITE) came into force after being approved on July 1998. From then on, individual metering for DHW and heating is compulsory in new buildings with centralized heating systems. Existing buildings with central heating systems, however, remained out of scope of application of this regulation. According to RITE 2007, approved on July 2007, IMC are considered as saving and energy efficiency measures and its implementation in existing buildings is recommended but voluntary.

The Directive 2012/27/UE involves a change in this point, becoming its implementation compulsory both in new and existing buildings. However, even though this Directive should have been transposed by June 2014, the corresponding Royal Decree has not been approved yet.

At the same time, since 1981, when RICCACS (Regulation for Heating, Cooling and DHW installations) came into force, every centralized heating system must be configured by ring circuit networks. In a ring circuit network, each ring circuit supplies heat to a single apartment, making easier to determine the heat supplied to each apartment by using a single flow meter and two temperature sensors (to register temperature variation) per apartment.

3. Materials and methods

The experimental study presented in this work was carried out using data collected in a seven-storey building located in Bilbao, northern Spain, during the period comprised between November 2013 and June 2017.

3.1. Case Study

The studied building (see Fig. 1) was built up in 1985,

junio de 2017.

it comprises 142 dwellings and its net floor area is 13375 m².

3.1. Caso de estudio

El edificio estudiado (ver Fig. 1) fue construido en 1985, consta de 142 viviendas y su superficie útil habitable es de 13375 m².



Fig. 1. Edificio analizado. Vista general de la fachada este. Case-study building. General view of east façade.

La fachada del edificio presenta una transmitancia térmica de 0.55 W/m²K. Las ventanas son de doble vidrio con marco de madera. El edificio dispone de un sistema centralizado que suministra calefacción y ACS. Esta instalación (Fig. 2) está formada por 3 calderas de gasóleo (2 × 700 kW + 350 kW) conectadas en cascada, con una potencia total instalada de 1750 kW (130W/m²). Suministra agua caliente a los circuitos de ACS y calefacción, la cual, a su vez, es distribuida a las viviendas a través de dichos circuitos.

External walls of the building present a U-value of 0.55 W/m²K, whereas windows are double glazing with wooden frame. With respect to the energy system, there is a centralized system which supplies both heating and DHW to all apartments of the building. This installation (Fig. 2) is composed by 3 diesel-fired boilers (2 × 700 kW + 350 kW) connected in cascade, with a total heating capacity of 1750 kW (130W/m²). They provide the DHW and heating circuits with hot water, which, in turn, is distributed to the flats through different ring circuit networks.

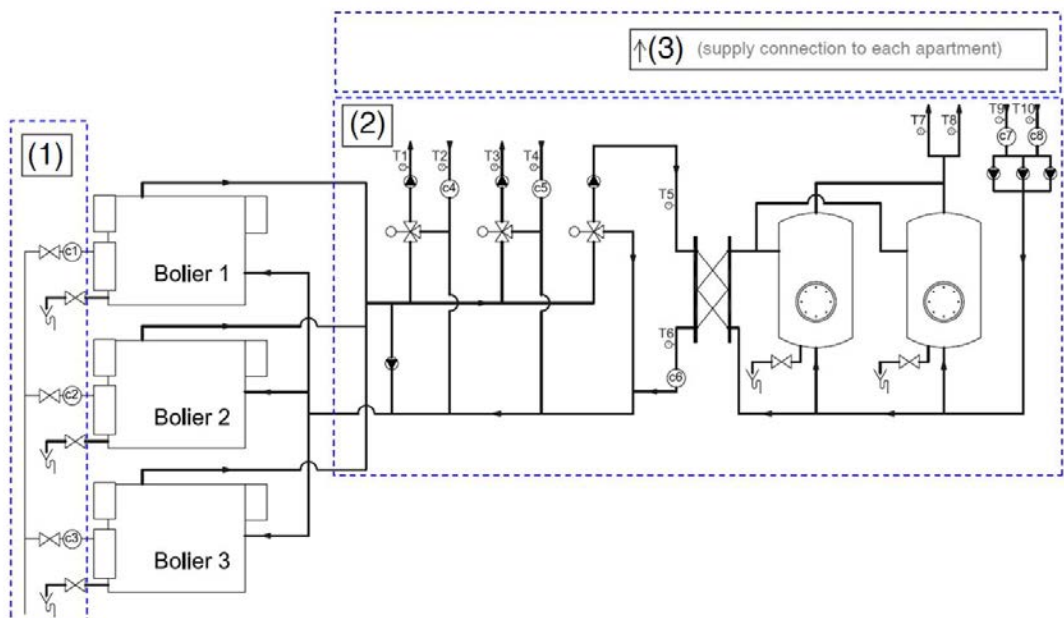


Fig. 2. Instalación de Calefacción y ACS del edificio. Energy system for DHW and heating.

En lo que respecta a los métodos de reparto de costes, se pueden identificar dos periodos diferenciados. Hasta junio de 2015 los costes del sistema eran repartidos independientemente del consumo, de forma proporcional a la participación de cada vivienda en la comunidad de propietarios. Durante el periodo de calefacción, el sistema funcionaba desde las 13.30 h hasta las 22.00 h si la temperatura era inferior a 11 °C; si la temperatura era superior, el sistema empezaba a funcionar a las 16.30 h. El ACS estaba en funcionamiento de 4:00h a 23:59h.

El SCCI se instaló en junio de 2015. Se instalaron caudalímetros en la entrada de ACS y del sistema de calefacción de cada vivienda con el objetivo de medir el consumo de ACS (m³) y calefacción (kWh) suministrado. Además, se colocaron válvulas de zona y termostatos. Desde ese momento, cada vivienda empezó a pagar trimestralmente un coste fijo destinado a cubrir los costes fijos del sistema y un coste variable dependiente del consumo. También se modificó el horario de funcionamiento: la calefacción empezó a estar disponible de 7:00-22:00 h, y no se hicieron modificaciones en la disponibilidad de ACS hasta mayo de 2017, cuando se pasó a ampliar el horario de disponibilidad de ACS a las 24 horas del día.

3.2. Recogida de datos

La principal fuente de datos es el libro de mantenimiento de la instalación, donde están registradas las lecturas mensuales de los contadores de cada una de las calderas desde el año 2013. Por otra parte, y con el objetivo de identificar las tendencias de consumo de ACS respecto de calefacción, se utilizaron los datos de consumos individualizados de ACS (m³) y calefacción (kWh), disponibles desde 2015. Los datos climáticos se tomaron de la estación meteorológica del Gobierno Vasco localizada en Deusto, Bilbao. Dichos datos se utilizaron para calcular los grados-día (en base 18/15) correspondientes a los cuatro años analizados en el presente estudio.

3.3. Valores mensuales desagregados de ACS y calefacción

Uno de los principales obstáculos al realizar este análisis es que el consumo energético previo a la implementación del IMC es agregado (consumo total de ACS y calefacción mensual) y no hay información disponible sobre la parte de la energía utilizada para ACS y la parte utilizada para calefacción. Por ello, se define una hipótesis para calcular la parte de consumo correspondiente a la calefacción, para posteriormente ajustarla utilizando como referencia los datos de consumo individuales disponibles desde 2015.

Así, se analizan las tendencias de consumo de los dos últimos años y, en base a dicho análisis, se toma como referencia para el cálculo del consumo de ACS durante cada temporada de calefacción la lectura registrada en el libro de mantenimiento correspon-

Concerning energy cost allocation methods, two different periods are identified. Until June 2015, energy costs were allocated in a consumption independent way. During the heating season, if outdoor temperature was below 11 °C at 13.30 h, the heating system was activated and kept on working until 22.00 h; otherwise, (i.e. if outdoor temperature was higher than 11 °C), the system started running at 16.30 h until 22.00 h. Meanwhile, the DHW system was on from 4.00 h to 23.59 h.

The IMC system was installed in June 2015. Flow meters were installed in the DHW incoming pipe and the radiator circuit of each flat with the aim of measuring the DHW consumption [m³] and the thermal energy delivered to each apartment [kWh]. Moreover, zone valves and thermostats in each apartment were also installed. From that moment on, each apartment started paying quarterly a fixed amount aimed to cover the fixed costs of the system and a variable consumption dependent cost. The operation schedule of the energy system was also changed after the IMC installation. From then on, the heating system is available from 7.00 h to 22.00 h and, as far as DHW system is concerned, no changes were carried out until May 2017, when the DHW availability was set uninterruptedly.

3.2. Data collection

The primary means of collecting data was through the maintenance logbook of the installation, where monthly readouts from the three diesel flow meters are reported since 2013. On the other hand, individual DHW [m³] and heating consumption [kWh] of each apartment (available since June 2015) were used to evaluate energy consumption trends of the building. Weather data were provided by the Basque Government from a meteorological station located in Bilbao. Heating degree-days (18/15) for the four years were calculated using daily average values of these measurements.

3.3. Disaggregated monthly values of DHW and heating

One of the main barriers to be faced in this work is that energy consumption prior to the IMC implementation is aggregated, and no information about the share of the energy used for DHW and for heating is available. For that reason, a preliminary assumption for calculating the share of energy associated to DHW and that corresponding to the heating system is defined at the beginning, and then adjusted using individual consumption data available since 2015 as reference.

To do that, consumption trends of the building during the last two years are analysed, and, based on mentioned analysis, the readout corresponding to the last period with no HDD (18/15) before each heating season is assumed as the reference for cal-

diente al último periodo sin grados-día de calefacción antes de dicha temporada de calefacción. Se calcula el consumo diario promedio de consumo de ACS para ese periodo, asumiendo dicho consumo diario promedio como valor constante para la siguiente temporada de calefacción. El consumo diario de energía utilizada para ACS ($DHWDaily_ave$) se calcula de acuerdo a la Eq. 1.

$$DHW_{Daily_ave} = \frac{C_{die,n} \cdot LHV_{die}}{n}$$

donde $C_{die,n}$ es el consume de gasóleo de las calderas durante el periodo dado (litros), LHV_{die} es el poder calorífico del gasóleo (9.98 kWh/l) y n es el número de días que conforman el periodo dado.

Una vez calculado el consumo de ACS durante cada uno de los periodos, se resta dicho valor del consumo de energía total, obteniendo de esta manera el consumo de energía destinado a calefacción. Este consumo de calefacción es posteriormente distribuido entre los días del periodo de forma proporcional a los grados-día de cada día del periodo de acuerdo a la Eq. 2.

$$HC_{m,n} = \frac{C_n}{HDD_n} \cdot HDD_m$$

donde $HC_{m,n}$ es el consumo de calefacción para el día "m" del periodo "n", C_n es el consumo de calefacción asignado al periodo "n", HDD_n son los grados-día de calefacción correspondientes al periodo "n", y HDD_m son los grados-día de calefacción correspondientes al día "m". Así, se calcula un perfil diario virtual de consumo de ACS y calefacción basado en las lecturas mensuales recogidas en el libro de mantenimiento de la instalación.

3.4. Análisis del consumo de calefacción

El consumo de calefacción antes y después de la implementación de la individualización de consumos es evaluado para analizar el efecto del SCCI en dichos consumos. Mediante el método previamente descrito, se calcula el consumo de calefacción mensual desde noviembre de 2013, y se comparan los valores obtenidos. Con el objetivo de reducir los efectos de posibles imprecisiones en los valores de consumo de ACS asumidos, sólo se consideran en el estudio del consumo de calefacción aquellos meses que presenten más de 100 HDD. Igualmente, el consumo de calefacción es normalizado con relación a los grados-día según la eq. 3.

$$C_{normalized} = \frac{C_n}{HDD_n}$$

culating the DHW consumption for the upcoming heating period. Then, daily average DHW consumption is calculated for that period, assuming that daily average value constant for the next heating season. Daily energy consumption used for DHW (DHW_Daily_ave) is calculated according to Eq. 1.

where $C_{die,n}$ is the diesel consumption of the boilers for the given period (litres), LHV_{die} is the lower heating value of diesel (9.98 kWh/l) and n is the number of days constituting the given period.

Once DHW consumption for each measured period has been determined, it is subtracted from the total energy consumption, obtaining the consequent energy consumption for heating. This heating consumption is afterwards distributed amongst the days of the period proportionally to the HDD of each day of that period according to Eq. 2.

where $HC_{m,n}$ is the heating consumption for a given day "m" of a period "n", C_n is energy consumption assigned to heating during the given period "n", HDD_n are the Heating Degree Days for that period "n", and HDD_m are the Heating Degree Days for the day "m". This way, a virtual daily profile for DHW and heating is calculated based on monthly, aggregated energy readouts registered in the maintenance logbook.

3.4. Assessment of heating consumption

Heating consumption before and after implementing IMC is evaluated to assess the effect of IMC system on it. Monthly heating consumption of the building since November, 2013 is calculated using aforementioned method, and these values are compared. With the aim of reducing the effects of the possible inaccuracies on the absolute DHW consumption values assumed, only those months with more than 100 HDD will be considered in this study. Besides, energy consumption for heating is normalized with respect to heating degree-days (HDD) according to Eq. 3:

donde C_n es el consumo de calefacción durante dicho periodo y HDD_n son los grados-día de calefacción para el periodo.

where C_n is energy consumption for heating during a given period and HDD_n are the Heating Degree Days for that given period.

4. Resultados

En la Fig. 3 se presentan los valores de consumo calculados, así como los grados-día correspondientes a cada mes. Asimismo, la Fig. 4 muestra el consumo normalizado de calefacción (kWh/HDD) en el edificio durante esos cuatro años.

4. Results

Following the method presented in the previous part, calculated consumption values, as well as monthly Heating Degree Days (18/15) are depicted in Fig. 3. Likewise, Fig. 4 shows the monthly average amount of weather-normalized heat used in the building during the four heating seasons studied.

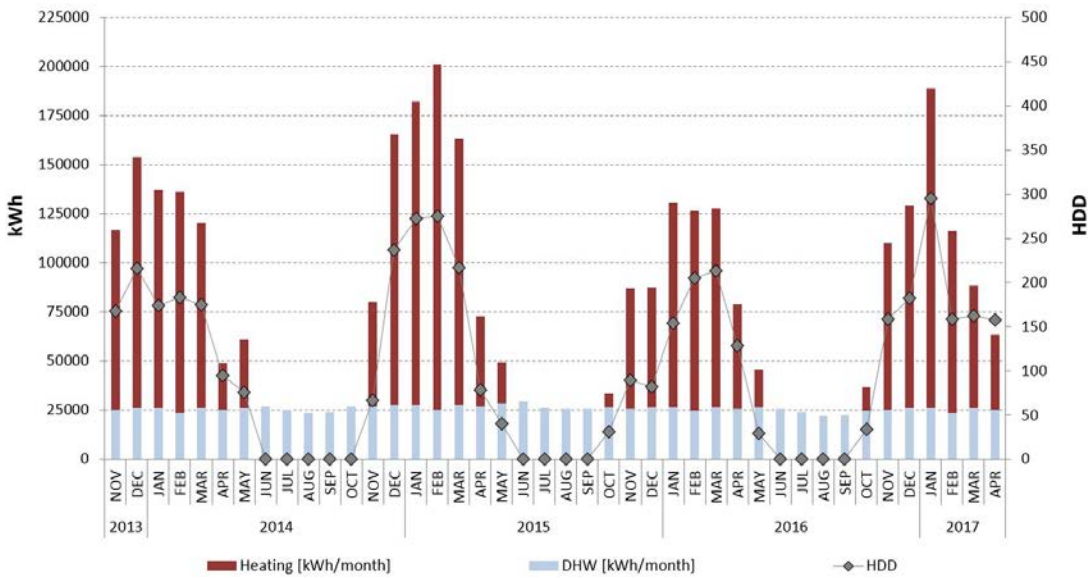


Fig. 3. Consumo mensual de calefacción y ACS calculado y HDD. Calculated monthly energy consumption for heating and DHW, and HDD.

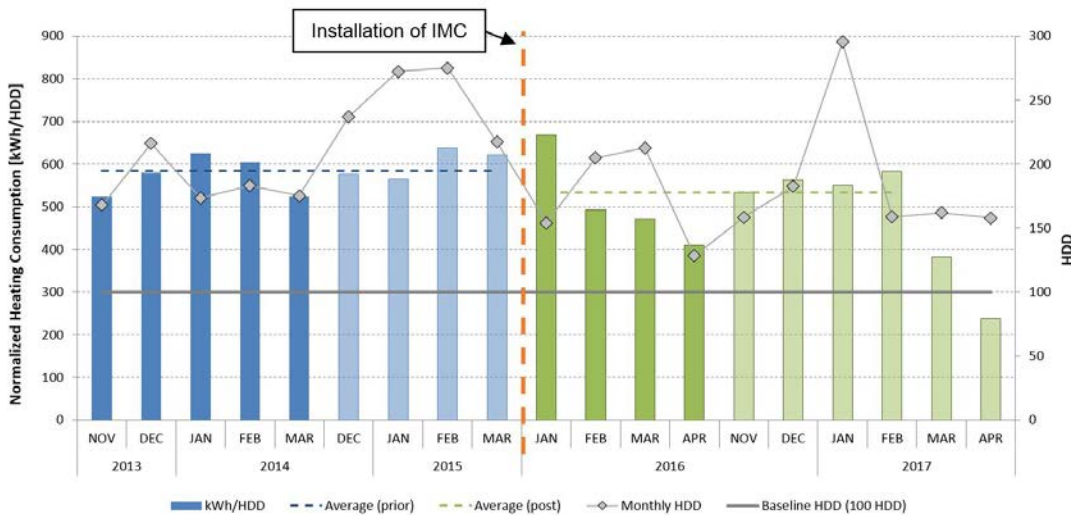


Fig. 4. Consumo normalizado de calefacción mensual y HDD (solo se representan los meses en los que $HDD > 100$). Monthly average amount of weather-normalized heat used in the building and HDD (months when $HDD > 100$).

Se pueden observar valores de consumo normalizado muy similares durante las dos primeras temporadas, correspondientes al periodo previo a la instalación del SCCI (586.04 kWh/HDD durante la temporada 2013/2014 y 602.41 kWh/HDD durante la 2014/2015), con un valor promedio de 593.32 kWh/HDD para los 9 meses incluidos en este periodo previo. Durante este periodo, el valor mínimo alcanzado

Similar average weather-normalized heat consumption values can be observed for the first two heating seasons studied, before installing the IMC system (namely, 586.04 kWh/HDD for 2013/2014, and 602.41 kWh/HDD for 2014/2015) with an average value of 593.32 kWh/HDD for the nine months studied. During that period, the minimum value was reached in March 2014 (538.45 kWh/HDD) and the highest

se da en marzo de 2014 (538.45 kWh/HDD) y el valor más alto se registra en enero de 2014 (639.21 kWh/HDD). A su vez, aunque los valores correspondientes al periodo "post-intervención" sean más variables, se puede observar una reducción sensible del consumo normalizado de calefacción. En este caso, el valor promedio para la temporada 2015/2016 es de 514.88 kWh/HDD y cae hasta los 476.67 kWh/HDD para la temporada 2016/2017. Aún en el caso en el que los dos últimos meses incluidos en el análisis (marzo y abril de 2017) sean excluidos (debido a que su consumo normalizado es significativamente inferior al del resto) el valor promedio de la temporada 2016/2017 sería 558.95 kWh/HDD, aun significativamente inferior a los valores obtenidos en las temporadas 2013/2014 y 2014/2015. Así, se observa una reducción del 10-15% en el consumo normalizado de calefacción.

5. Discusión

Los resultados muestran que el consumo normalizado de calefacción se ha reducido en un 15% tras la implementación del SCCI. Por otra parte, además de la instalación del SCCI y termostato y válvulas de zona en cada vivienda, se implementaron otras medidas dirigidas a optimizar el funcionamiento de la instalación y el confort de las personas usuarias. Algunas de ellas, como la instalación de bombas de flujo variable, no tienen un efecto directo en los valores de consumo de gasóleo en calderas analizados en la sección anterior. Otras medidas dirigidas a aumentar el confort de las personas usuarias (como el aumento de las horas de disponibilidad de ACS y calefacción) sí tiene un efecto directo en los valores de consumo evaluados, aumentando dicho consumo ligeramente (entre otras razones, debido al aumento de pérdidas de calor en la recirculación). Incluso después de estos cambios, los ahorros energéticos alcanzados son del 15%. Así, podría considerarse, por tanto, que los ahorros únicamente relacionados con la implementación del IMC han sido de, al menos, 15-20% en el consumo de calefacción durante los primeros dos años.

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que sólo se han evaluado los dos primeros años después de la implementación de la contabilización individualizada, mientras que la bibliografía recoge que la curva de aprendizaje de este tipo de sistemas es de 3 años. En consecuencia, es previsible que los ahorros asociados al SCCI todavía aumenten ligeramente en los próximos meses.

6. Conclusiones

Este trabajo muestra los resultados relacionados con los efectos del SCCI en un bloque de viviendas durante los primeros dos años tras su implementación. Los resultados confirman que el SCCI afecta directamente al comportamiento del usuario y reduce el consumo del edificio, mostrando además que este

value is found two months before, in January 2014 (639.21 kWh/HDD). On the other hand, although values corresponding to the "post-intervention" seasons are more variable, a sensible reduction on weather-normalized heat consumption can be observed. Thus, an average value for heating consumption of 514.88 kWh/HDD is obtained for 2015/2016 and that average drops to 476.67 kWh/HDD for 2016/2017. Even though when the last two months (March and April 2017) are not taken into consideration (their normalized heating consumption values are quite lower than the others) the average value for 2016/2017 would be 558.95 kWh/HDD, still significantly lower than those average values obtained for 2013/2014 and 2014/2015. Thus, even being a conservative scenario, a reduction of 10-15% is observed when normalized heating consumption is assessed.

5. Discussion

Results show that normalized heating consumption has decreased around 15% after implementing IMC. Besides, as well as the implementation of IMC and the installation of a thermostat in each apartment and zone valves in each radiator, other measures aimed to optimize the performance of the installation and to increase the users' comfort were carried out. Some of them, such as the installation of variable flow pumps, have no direct effect on the fuel consumption values evaluated in the previous section. Other measures aimed to increase the users' comfort, such as the time extension of heating and DWH availability, affect directly on consumption values evaluated, increasing them slightly (e.g. due to the increase of heat losses on recirculation). Even after these changes, energy savings on heating have achieved the 15%. Thus, it could be estimated that energy savings related to IMC implementation per se have been at least 15-20% on heating consumption during the first two years.

On the other hand, it must be taken into consideration that only the first two years after implementing IMC have been evaluated, whereas the learning curve of users for these systems is reported by literature to be around 3 years. Then, it is expected that the energy savings may still increase slightly during the following months, to reach a maximum normalized value after one or two heating seasons more.

6. Conclusions

This communication shows the first findings related to the effects on energy consumption during the first two years after implementing IMC in a multi-family building, and noteworthy trends have been identified. The results confirm that IMC affects directly on user behaviour and it reduces the energy consumption of the showing besides that this effect is also significant in a temperate climates. It reports a reduction of normalized energy consumption close to 15-20% after two years of implementing IMC.

efecto también es apreciable en climas templados. El estudio recoge una reducción del consumo normalizado de calefacción del 15-20% durante esos dos años. Estos valores se han obtenido considerando el efecto de otras medidas dirigidas a aumentar el confort del usuario que indirectamente pueden aumentar ligeramente el consumo energético del sistema. Además, teniendo en cuenta que la curva de aprendizaje de estos sistemas es de 3 años, y que una parte importante del territorio español presenta una severidad climática mayor en invierno, se pueden prever ahorros mayores de los obtenidos en muchos casos similares en España.

Puede concluirse que, también en el contexto de España, el SCCI puede ser una estrategia prometedora para reducir los consumos de energía en edificios con sistemas centralizados. Debe subrayarse, sin embargo, que uno de los puntos clave en los edificios existentes es definir adecuadamente los criterios para la asignación del reparto de costes, los cuales deben tener en consideración no sólo aspectos relacionados con el comportamiento energético de sistema, sino también otros aspectos relacionados con el edificio, las personas usuarias y el contexto social del mismo.

These values have been obtained even considering the effect of other measures aimed to increase the user comfort (such as the increase of the schedule of availability of DHW and heating) which indirectly can slightly increase the energy consumption of the system. Besides, taking into account that learning curve of these systems is reported to be about 3 years, and the fact that there is many areas in Spain with higher winter severity, it can be expected than energy savings in many Spanish cases to be higher than obtained results.

It can be concluded that IMC can be a promising strategy to reduce energy consumption in centralized heated buildings by increasing users' awareness on energy issues also in the Spanish context. It must be highlighted, however, one of the key points in existing buildings is to define mentioned cost allocation criteria, which must be carried out taken into consideration not only energy performance related issues, but also other issues related to building itself, users and social context.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge financial support by Basque Government, through the Environment, Territorial Planning and Housing Department's ERAIKAL program (2015). They also acknowledge José Manuel González García from ISTA for providing material, information and data of the case study building and implemented system.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] European Commission, Energy, transport and environment indicators. Eurostat (2012).
- [2] European Commission, Directive 2012/27/EU on Energy Efficiency (2012).
- [3] Siggelsten, S. y Olander, S. (2013). Individual metering and charging of heat and hot water in Swedish housing cooperatives. *Energy Policy*, 61, 874-880.
- [4] Siggelsten, S. (2014). Reallocation of heating costs due to heat transfer between adjacent apartments. *Energy and Buildings*, 75, 256-263.
- [5] Ziemele, J., Pakere, I., Blumberga, D. y Zogla, G. (2015). Economy of Heat Cost Allocation in Apartment Buildings. *Energy Procedia*, 72, 87-94.
- [6] John, J.G., Harris, D., Diakoulaki, D., Lampropoulou, H. y Giannakidis, G. (2015). Determination of fixed expenses in central heating costs allocation: An arising issue of dispute. *Management of Environmental Quality*, 26, 810-825.
- [7] Dahlblom, M., Nordquist, B. y Jensen, L. (2015). Distribution and variation of indoor temperatures in apartment blocks with individual metering and billing of space heating costs—on building, apartment, and room level. *Energy Efficiency*, 8, 859-880.
- [8] Cholewa, T. y Siuta-Olcha, A. (2015). Long-term experimental evaluation of the influence of heat cost allocators on energy consumption in a multifamily building. *Energy and Buildings*, 104, 122-130.
- [8] Siggelsten, S. y Hansson, B. (2010). Incentives for individual metering and charging. *Journal of Facilities Management*, 8 (4), 299-307.

Rehabilitación energética con criterios Passivhaus de la escuela El Garrofer en Viladecans (Barcelona)

School "El Garrofer" energy retrofit following Passivhaus standard in Viladecans (Barcelona)

Micheel Wassouf¹, Berta Pujol, Martín Amado

ABSTRACT

El proyecto de la rehabilitación energética del colegio "El Garrofer" de Viladecans nace de una auditoría energética de edificios de uso público, encargada por el Área Metropolitana de Barcelona. En este estudio se analizan los consumos energéticos de varios colegios y se monitoriza la calidad del aire (concentración de CO₂ en ppm) de dichos edificios. Estas mediciones de CO₂ realizadas durante el estudio dan resultados con picos de concentración superiores a 3.500 ppm, muy por encima de los niveles recomendados para escuelas. Debido a los malos resultados obtenidos de la auditoría, el ayuntamiento de Viladecans encarga un proyecto de rehabilitación energética de uno de los colegios analizados. El equipo redactor del proyecto (Energiehaus Arquitectos en colaboración con Berta Pujol Guerrero) plantea dos opciones de rehabilitación energética: la primera siguiendo los criterios establecidos en el CTE (calificación energética B) y la segunda siguiendo los criterios de rehabilitación energética según el estándar Passivhaus (EnerPHit). Las conclusiones de esta comparativa fueron que el potencial de ahorro energético (ciclo de vida 40 años) siguiendo las directrices de rehabilitación EnerPHit resultaban económicamente viables con respecto a la rehabilitación según CTE. En verano del 2018 se ejecuta dicho proyecto, enmarcado por una auditoría de certificación, llevada a cabo por parte del Passivhaus Institut.

Key Words: Rehabilitación energética, Passivhaus, escuela, educación

(1) Energiehaus Arquitectos SLP, C/ Ramón Turró 100-104, 3-3, 08005, Barcelona, +34 931 28 09 55, wassouf@energiehaus.es

1. Introducción

El estándar Passivhaus es internacionalmente conocido como una referencia en el diseño y construcción de edificios de consumo energético casi nulo. Su currículo con más de 25 años de experiencia y miles de edificios construidos lo convierten en el foco de referencia para los edificios llamados ECCN (edificios consumo casi nulo). La obligación de los estados miembros de la UE de introducir los ECCN en sus normativas de construcción, previsto para finales del 2018 en la obra pública, han convertido el estándar Passivhaus en la estrella actual del escenario de la construcción. Comunidades Autónomas como por ejemplo Navarra, se han comprometido en aplicar este sello en la construcción de sus viviendas, escuelas y demás edificios públicos.

Aunque existen muchos ejemplos de edificios Passivhaus en España en uso de vivienda, poco se ha construido en uso no residencial. Sobre todo en el caso de los edificios educativos resulta de especial interés la aplicación de este sello, ya que consigue, además del ahorro energético, una mejora sustancial de la calidad ambiental de las aulas. Dicha mejora afecta directamente sobre la eficiencia intelectual de los alumnos, y además sirve de ejemplo didáctico a escala de alumnado y de barrio para las ventajas del ahorro energético.

2. Las actuaciones en el colegio "El Garrofer"

La rehabilitación energética de "El Garrofer" se lleva a cabo siguiendo las estrategias más comunes del sello Passivhaus y siguiendo un marco económico ajustado. El ayuntamiento de Viladecans, a través del departamento de Medio Ambiente, encarga una auditoría de certificación "EnerPhit", que empieza en la fase de proyecto, y que acompaña la ejecución de la obra. El actor principal de esta auditoría es la hoja de cálculo PHPP, herramienta basada en la UNE-13790 y que aglutina todos los criterios de este sello. Para recordar, se trata de limitar la demanda de calefacción y refrigeración en un valor máximo de 15 kWh/m²a (en cada caso), la energía primaria (fuentes no renovables) en un valor de 100kWh_{ep}/m²a, y de limitar las infiltraciones de aire n₅₀ max 1/h. Los valores de la demanda energética se calculan con 20 grados centígrados en invierno y 25 grados centígrados en verano de temperatura interior.

Las actuaciones realizadas se explican a continuación:

- Optimización del balance energético de las ventanas: Se cambian las ventanas existentes (perfiles originales de los años 70 de hierro con cristales simples) por ventanas de PVC de muy alta calidad, con una Uf 1,0 W/m²k. Se opta por cristales dobles bajo emisivos, con una Ug 1,0 W/m²k, con un factor solar del 40% y espaciadores de plástico

1. Introduction

The Passivhaus standard is an internationally recognised benchmark for the design and construction of nearly zero-energy buildings. With 25 years' experience and thousands of buildings constructed, it has become a key reference for so-called nearly zero-energy buildings (NZEBS). The obligation for EU member states to introduce NZEBs in their building regulations by the end of 2018 for public works has made the Passivhaus standard the current star of the building world. Autonomous communities such as Navarre are committed to applying this seal in the construction of their buildings, schools and other public buildings.

Although there are many examples of Passivhaus residential buildings in Spain, there are few non-residential ones. In the specific case of schools and colleges, applying this seal is particularly significant as it provides not only energy savings, but also substantial improvement in the quality of the classroom environment. This improvement directly impacts on students' intellectual efficiency and is also a fine example to students and neighbourhoods of the advantages of energy savings.

2. Actions at the 'El Garrofer' school

The energy retrofit at the 'El Garrofer' school was implemented following the most common strategies of the Passivhaus seal and within a tight financial framework. Viladecans town council, through the Ministry of the Environment, commissioned an 'EnerPhit' certification audit, which started in the planning phase and accompanied the work execution phase. The main actor in this audit was the PHPP spread sheet, a tool based on UNE-13790 which brings together all the criteria of this seal. To recap, it involves limiting the demand for heating and cooling to a maximum value of 15 kWh/m²a (in each case), primary energy (non-renewable sources) to a value of 100kWh_{ep}/m²a and limiting n₅₀ draughts to 1/h. Energy demand values are calculated at 20 °C in winter and 25 °C indoor temperature in summer.

The actions carried out are explained below:

- Optimisation of the window energy balance: Existing windows (original 1970s iron frames with single panes) were replaced with very high-quality PVC windows with a Uf 1.0 W/m²k. Low-emissivity double glazing were chosen, with a Ug 1.0 W/m²k, a solar factor of 40% and Swisspacer type plastic spacers. The construction details were optimised to minimise thermal bridges in the window installation, over-insulating the frames and removing existing boxes for blinds, installing new external screens.
- Optimisation of the thermal envelope: A 10-cm thick external thermal insulation system (ETIS)

tipo Swisspacer. Se optimiza el detalle constructivo para minimizar los puentes térmicos de instalación de la ventana, sobreaislando los marcos y quitando las cajas de persiana existentes, instalando nuevos screens por el exterior.

- Optimización del asilamiento de la envolvente térmica: Se instala un sistema de aislamiento térmico por el exterior (SATE) de 10 cm de espesor en fachada y una nueva cubierta con paneles aislantes de 15 cm de espesor. Debido a la limitación del presupuesto y del complejo planning de la obra, se renuncia de instalar aislamiento térmico en el suelo de la planta baja. Según los cálculos del PHPP, se comprueba que la posible mejora energética de un tal aislamiento es relativamente reducido en el clima de Viladecans (litoral mediterráneo).
- Definición de una capa hermética al paso de aire: Se opta por aplicar una capa nueva de hermeticidad al paso de aire mediante una pintura plastificante, que se aplica entre la pared exterior y el nuevo aislamiento tipo SATE. Se comprueba la ausencia de condensaciones intersticiales de dicha pintura (valor sd aproximado de 80 metros). Se colocan cintas especiales para garantizar la hermeticidad entre ventanas y hueco de obra. Se instala una membrana tipo freno de vapor hermética al aire en la cubierta, y se prevé realización de ensayos de Blowerdoor en la fase de obra, siguiendo la norma UNE-13829.
- Optimización de los puentes térmicos: Todos los detalles constructivos se simulan con la herramienta Flixo (UNE 10211) y se optimizan para reducir al máximo las pérdidas energéticas y eliminar la posibilidad de formación de patologías asociadas. Se reduce el puente térmico más relevante entre frente de forjado y pared exterior, mediante la aplicación del aislamiento térmico por el exterior. El valor PSI pasa de 0,47 W/mk a 0,01 W/mk.
- Instalación de un sistema de ventilación de doble flujo con recuperación de calor de muy alta eficiencia con certificado Passivhaus. De este modo, se reducen no solo las pérdidas energéticas por ventilación (caudales importantes debido a la tipología de uso), sino se garantizan consumos eléctricos muy reducidos de los ventiladores. Debido a la limitación del presupuesto, se opta por un sistema compacto de distribución de aire, reduciendo la red de extracción utilizando los pasillos como un gran plenum de aire. Se instalan difusores textiles en las aulas, de fácil mantenimiento y con buenas características de difusión de aire (evitando disconfort con bajas velocidad de aire de admisión).
- Planteamiento de un escenario de ventilación nocturna y elementos de protección solar para

on the façade and a new roof with 15-cm insulating panels were installed. Due to budget limits and the complex work planning, it was decided not to install thermal insulation in the floor on the ground floor. According to PHPP calculations, possible energy improvement from such insulation is relatively low in the Viladecans climate (Mediterranean coast).

- Definition of an airtight layer: It was decided to apply a new airtight layer using paint-on airtightness membrane, which is applied on the external wall and the new ETIS. Checks were made to ensure there was no interstitial condensation from the paint (approximate Sd value of 80 metres). Special tape was fitted to ensure airtightness between windows and the structural gap. An airtight vapour barrier was installed in the roof and Blowerdoor tests were planned for the building phase, as per standard UNE-13829.
- Optimisation of thermal bridges: All the construction details were simulated with the Flixo tool (UNE 10211) and optimised to reduce energy loss to a minimum and eliminate the formation of associated pathologies. The most significant thermal bridge between the floor and the external wall was reduced by applying external thermal insulation. The PSI value dropped from 0.47 W/mk to 0.01 W/mk.
- Installation of a new dual-flow ventilation system with Passivhaus-certified very high efficiency heat recovery. This reduced not just energy loss from ventilation (major flows due to the type of use) but also guaranteed very low energy consumption by the ventilators. Due to budget limitations, a compact air distribution system was chosen, reducing the extraction network by using corridors as a large air plenum. Fabric diffusers were fitted in the classrooms, being easy maintenance with good air diffusion characteristics (avoiding discomfort at low air admission speeds).
- Design of a night ventilation scenario and sun protection elements to reduce over-heating during the months closest to summer: Sun protection involved fixed metal strips combined with screens to darken the classrooms for teaching requirements.
- Optimisation of artificial lighting in classrooms: The existing fluorescent lighting was replaced by high efficiency LED lighting.

The results obtained after the energy simulation with PHPP are given below:

- Heating demand: 13.9 kWh/m²a
- Overheating frequency (26 °C): 7.2% (July and August not included)



Fig. 1.
Imagen del colegio "El Garrofer" después de la rehabilitación.
Image of Garrofer school after retrofit works.

reducir el sobrecalentamiento durante los meses más próximos al verano: La protección solar se hace mediante lamas metálicas fijas y combinadas con screens para oscurecer los aulas por necesidades didácticas.

- Optimización de la iluminación artificial de las aulas: Se cambian los fluorescentes existentes mediante lámparas LED de alta eficiencia.

Se listan a continuación los resultados obtenidos después de la simulación energética con PHPP:

- Demanda de calefacción: 13,9 kWh/m²a
- Frecuencia de sobrecalentamiento (26 °C): 7,2 % (no incluye los meses de julio y agosto)
- Demanda de energía primaria: 86 kWh-ep/m²a

3. Retos y "Lessons learnt"

El ejercicio de la rehabilitación del Garrofer conlleva dos retos principales: limitación del presupuesto de ejecución, y ejecución de las obras en los meses de verano, cuando el colegio está cerrado por vacaciones escolares.

El ayuntamiento reserva unos 800.000€ (sin el IVA)

- Primary energy demand: 86 kWh-ep/m²a

3. Challenges and lessons learnt

The retrofit work at El Garrofer school involved two main challenges: limited execution budget and executing the works in the summer months, when the school was closed for the holidays.

The town council earmarked €800,000 (not including VAT) for the retrofit, representing a specific budget of €260/m². With this limitation, the interventions in the building focussed on the installation of controlled ventilation, with a few masonry interventions (widening openings to fit ventilators and dismantling parts of the false ceiling). The new airtight layer was fitted externally by thermal envelope, an infrequent solution in Passivhaus buildings, but there was no alternative in this case. The floor on the ground floor was not insulated, which is not ideal for high energy efficiency, but not possible here for the aforementioned reasons. The certification process checked that students did not experience any discomfort due to cold feet on the coldest days of the year (using the Flixo tool as per ISO EN 7730).

In terms of execution times, contractor adjudication was planned with enough time to organise the initially required tests and thus ensure the viability of

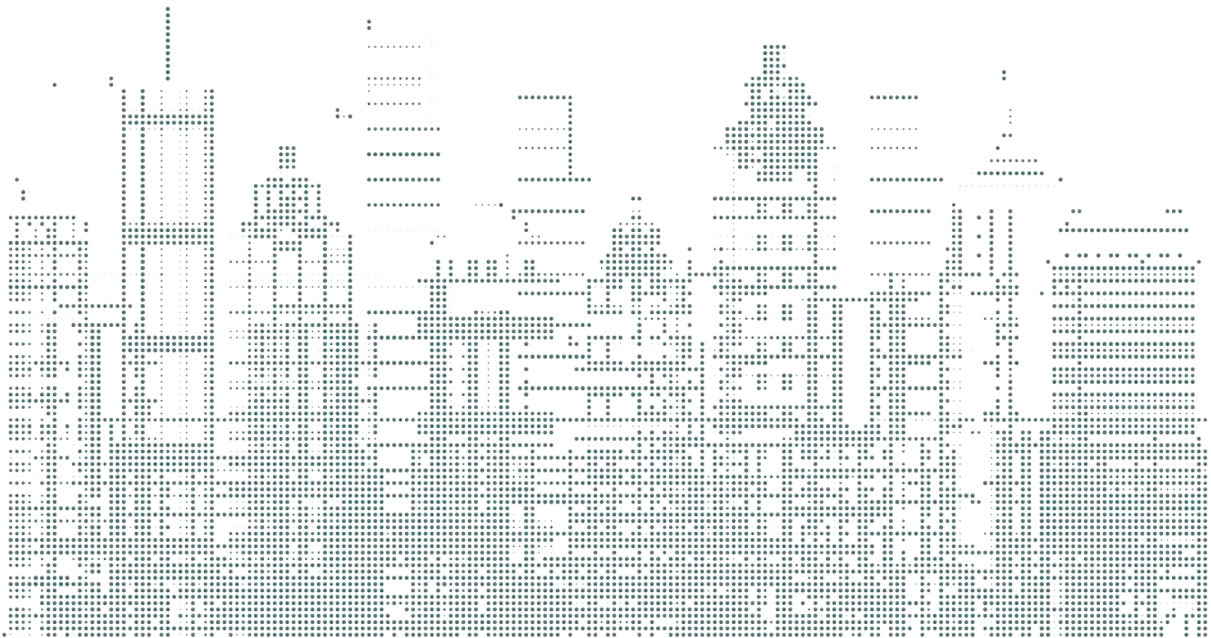
para la rehabilitación, lo cual da un presupuesto específico de 260 €/m². Con esta limitación, las intervenciones dentro del edificio se centran en la instalación de la ventilación controlada, con alguna actuación de palettería (ensanchar aberturas para colocar las máquinas de ventilación y desmontaje de partes del falso techo). La nueva línea de hermeticidad al aire se coloca por el exterior de la envolvente térmica, solución poco común en edificios Passivhaus, pero sin alternativa en este caso. El suelo de la planta baja se queda sin aislar, que no es lo ideal para conseguir una alta eficiencia energética, pero que aquí no ha sido posible por las razones ya mencionadas. En el proceso de certificación, se comprueba que los alumnos no tendrán disconfort por pies fríos en los días más fríos del año (cálculo con la herramienta Flixo según la ISO EN 7730).

En términos de plazos de ejecución, se opta por una adjudicación del contratista con tiempo suficiente para poder organizar los ensayos previos necesarios y asegurar así la viabilidad de las soluciones proyectadas. De este modo, se establece además una previsión de tiempo suficiente para encargar las carpinterías y las máquinas de ventilación, siendo ambos productos "no estándar" en el mercado español. Además de estos retos logísticos, cabe recordar que el tiempo de ejecución se limita en pocas semanas del verano. El colegio tiene que abrir sus puertas a principios de septiembre. Los alumnos no esperan, aunque les gustaría tener esta excusa.

the designed solutions. Thus, sufficient time was given to commission the carpentry and ventilators, both products being 'non-standard' on the Spanish market. As well as these logistic challenges, it should also be stressed that the execution time was limited due to the few weeks available in the summer. The school had to open its doors at the beginning of September. The students weren't going to wait, even if they'd have liked this excuse.

Sesión póster

Poster session



Evaluación del Comportamiento Térmico en Edificaciones Residenciales Multiplanta en Climas Tropicales

Thermal Behavior Assessment in Multiplant Residential Buildings in Tropical Climate

Yokasta Garcia Frometa¹, Jesús Cuadrado Rojo¹, Eduardo Rojí Chandro¹

ABSTRACT

La sobrepoblación mundial y el crecimiento de las ciudades, ha forzado al desarrollo de las ciudades en altura, con el objetivo primordial de aprovechar al máximo el espacio y los recursos disponibles. Las edificaciones multiplanta, son una parte importante del volumen edificado en la mayoría de las ciudades. Por otro lado, la población mundial reclama en su medida unos niveles de confort mínimo en los edificios, ello está incrementando el consumo energético mundial y a su vez produciendo fenómenos adversos asociados al cambio climático. Es por ello, que hay que potenciar las técnicas que mejoran el confort interior con consumos de energía casi nulos. En países de clima cálido y húmedo, como es el caso de la República Dominicana, donde los efectos de sobrecalentamiento interior y de sobre-humectación afectan directamente el confort de las viviendas, además de estar ubicada en zonas altamente sísmicas, y con una permanente incidencia de huracanes, tormentas tropicales, caracterizadas por fuertes vientos y lluvias torrenciales, requieren que las edificaciones posean estructuras constructivas resistentes a dichos fenómenos atmosféricos. Lograr que estas edificaciones también cumplan con los estándares de confort interior establecidos por las normativas internacionales, sin el uso exclusivo de sistemas mecánicos de climatización, es uno de los propósitos principales a alcanzar en el desarrollo de esta investigación, ya que la mayoría de la población de este país, no posee los recursos económicos para poder utilizar dichos sistemas de climatización. Esta investigación, analiza los edificios multiplanta de cuatro niveles, que componen el segundo grupo más importante dentro del parque inmobiliario de la Rep. Dominicana, y que en la actualidad se encuentra en continuo crecimiento. La metodología seguida ha analizado un edificio de referencia, con un sistema constructivo tradicional, buscando la mejor orientación del edificio, el uso de diferentes alternativas de elementos de sombreadamiento, y la mejora de la envolvente del edificio, mediante el uso de materiales no tradicionales en la construcción del país. Para analizar las diferentes alternativas planteadas, se ha medido el confort térmico en el interior del edificio, según la ASHRAE 55. Se ha planteado un conjunto de 21 configuraciones que se han analizado con el software de simulación energética de edificios DesignBuilder, contemplado únicamente medidas pasivas (esto es que no consuman energía), para poder favorecer su aplicación incluso en familias con bajos recursos económicos. El trabajo muestra las alternativas analizadas, los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas, con significativas mejoras en el confort y un análisis de la repercusión económica de los cambios realizados en el precio final de la vivienda.

Key Words: Confort Térmico, Cubierta y Fachadas, Elementos de Sombreamiento, Sostenibilidad, Clima Tropical

(1) Universidad del País Vasco (UPV/EHU), +34 946014229, yigarcia001@ehu.eus

Optimización del comportamiento térmico de bloques de hormigón con incorporación de subproductos

Thermal performance optimization of concrete blocks with the incorporation of by-products

Maggi Madrid¹, Jesús Cuadrado², Aimar Orbe³

ABSTRACT

Actualmente, existe un interés creciente en desarrollar nuevos materiales de construcción sostenibles para la envolvente de los edificios, con propiedades térmicas óptimas. Sin embargo, este no ha sido el caso de los bloques de hormigón, que a pesar de que continúan siendo ampliamente empleados, aún se fabrican con propiedades térmicas ineficientes y con un enfoque poco sostenible. Esta investigación plantea reutilizar algunos subproductos de la industria forestal y papelera para el desarrollo de bloques de hormigón más sostenibles y con mejores prestaciones térmicas.

Anualmente, se obtienen grandes cantidades de virutas y lodos de cal como subproductos de la industria maderera y papelera. Mientras que las virutas resultan del aserrado de madera, los lodos de cal, se obtienen durante la conversión de la madera en fibras de celulosa pura a través del proceso de kraft, siendo este subproducto un residuo sólido generado en una reacción de caustificación, en el proceso de reciclado de álcali de la fabricación de papel.

Esta investigación tiene como objetivo utilizar estos subproductos para optimizar las propiedades térmicas de los bloques de hormigón, a través de la incorporación de virutas como reemplazo parcial del árido fino y lodos de cal como reemplazo parcial del cemento. El primer subproducto genera una reducción de la resistencia del hormigón, que se trata de compensar con el segundo subproducto, mientras se mantiene su influencia positiva con respecto a la densidad que se ve reducida y las propiedades térmicas que se mejoran.

Para lograr este objetivo se hizo una campaña de ensayos de cara a buscar la dosificación óptima y posteriormente se industrializó el proceso con la fabricación de tres tipos de bloques. El primero se tomó como bloque de referencia, sin modificar la dosificación de la empresa, y los otros dos tipos presentan sustituciones de un 5% del árido fino por virutas de madera; y otro con una combinación de los dos subproductos, en la que se sustituye el 5% del árido fino por virutas y el 15% del cemento por lodos de cal.

Una vez fabricados los bloques se ha procedido a ensayar las propiedades físicas, mecánicas y térmicas de los mismos mediante ensayos de densidad, absorción de agua, absorción por capilaridad, resistencia a compresión, resistencia térmica, la conductividad térmica y la transmitancia térmica. También, se realizó una comparación entre los resultados obtenidos y los requisitos de los estándares actuales. Finalmente, se llevó a cabo un análisis del ciclo de vida de los bloques con y sin subproductos.

Key Words: Bloques de hormigón, Subproductos industriales, madera, lodos de papelera, cemento, árido fino, propiedades térmicas.

Proyecto IMPRESS H2020; Desafíos en la rehabilitación de edificios en la era del BIM

H2020 IMPRESS Project; Challenges of advanced retrofitting of buildings in the BIM era

Luis Torres Cardona¹, Laura Carlosena Ramirez¹, Rufino Javier Hernández Minguilón¹

ABSTRACT

IMPRESS is a European Commission funded project meant to develop an innovative retrofitting process. As acknowledged by the International Energy Agency buildings dated between 1950 and 1975 were constructed in an era where energy-efficient performance was not a critical part of the design. A common feature of these buildings is that their refurbishment is not usually forced by regulation. According to the World Business Council for Sustainable Development, more than a half of the European building stock belongs to this category, giving a total of more than 80 million buildings. These buildings are widely spread in European city centers and have interesting features from the architectural point of view; requiring in many cases the preservation of the appearance, linked to an important investment. As a result, new technologies and techniques to improve energy efficiency in the existing buildings are required, an effort which is endorsed by the European Commission.

Prefabricated panels are a technology that can be retrofitted to an existing building to improve its thermal performance, reduce the impact of the refurbishment to the inhabitants and users, and achieve it in economic terms. The IMPRESS project deals with this challenge by means of a multi-prong approach; first by leveraging on the potential of prefabrication by developing a new range of easy to install panels. Technologies such as ultra-high strength concrete, phase-change-materials (PCM) and hybrid foam concrete promise to carry into the market the benefits of recent research.

The prefabricated panels' production is based on innovative manufacturing techniques such as Reconfigurable Molding, 3D laser scanning and 3D printed technology.

To minimize the cost and maximize efficiency in regard to ecological, economical and social aspects of the prefabricated renovation process, improved methodologies and system were also developed. Planning instruments which provide information were included for the whole design and construction processes, as well as all along the life cycle of the building. The planning and managing tools developed are not only compliant with BIM, they take BIM at the very core of the retrofitting process.

To ensure that all stakeholders in the process are responsible for final product performance, new penalty based business models were researched and deeply embedded in the methodology; guaranteeing that the energy savings, forecasted during the design process, are truly met. Consequently the process gives the financial benefits to the end-user.

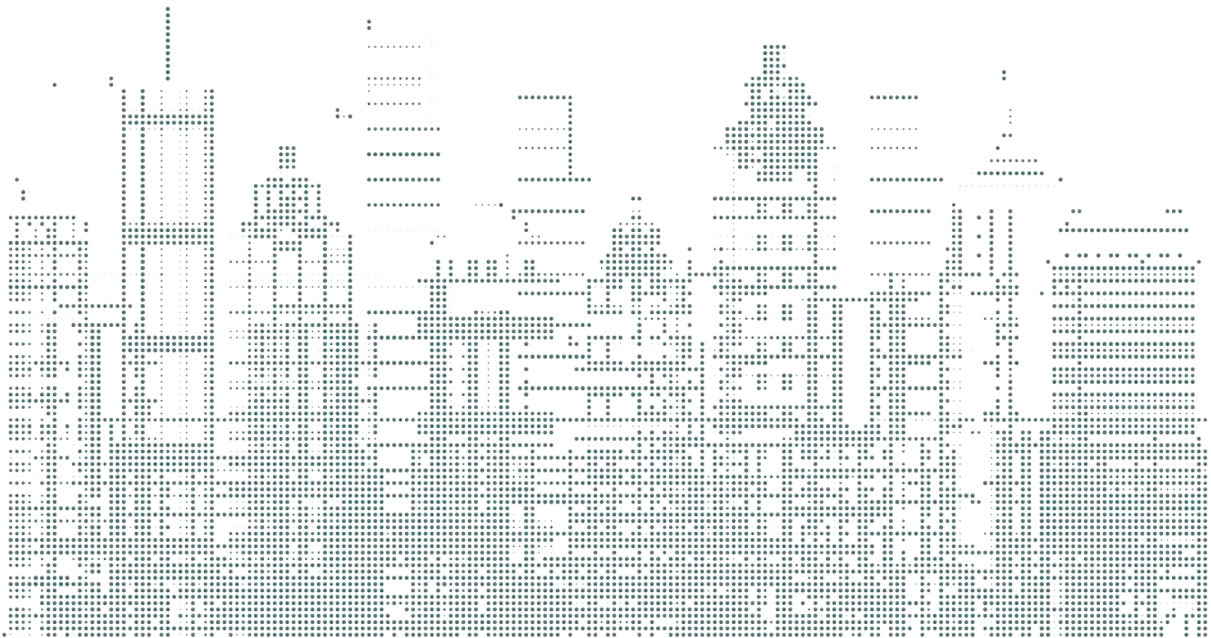
Finally, this poster does not only describe the objectives of the IMPRESS but explains the challenges that the project overcame and encourages new researchers to contribute in this incipient branch of investigation.

Key Words: Advanced-retrofitting, Existing-buildings, BIM, Pre-fabrication, Energy-efficiency.

(1) Alonso Hernández Arquitectura SL; Larrasuncea s/n, Cizur Menor, Navarra, +34 948211750, ltcardona@ahasociados.com

Patrocinadores

Sponsors





Especialistas en **Soluciones Constructivas**

Fosroc es un líder mundial en el suministro de Soluciones Constructivas a medida para prácticamente cualquier tipo de proyecto de construcción, combinando productos de alta calidad, soporte técnico experto, servicio al cliente e innovación.

A la vanguardia de la tecnología química y con una amplia gama de productos, Fosroc ofrece una solución de alta calidad para diversos sectores de edificación y obra civil.

Reparación y protección del hormigón | Pavimentos y revestimientos | Selladores
Anclajes y cimentaciones | Impermeabilización | Aditivos para hormigón y mortero



Fosroc Euco, S.A.U.
Gasteiz Bidea, 11
48213 Izurza (Vizcaya)

Tel.: +34 946 217 160
Email: spain@fosroc.com
Web: www.fosroc.com



soluciones constructivas

Gama de productos Fosroc



soluciones constructivas



Pavimentos

Cemtop, Nitoflor, Nitoprime

Una completa gama de pavimentos y revestimientos para mejorar las características tanto de suelos nuevos como viejos



Impermeabilización

Nitocote, Nitoproof, Proofex, Supercast, Nitofill

Membranas, revestimientos, morteros tapafugas, waterstops, y resinas de inyección para impermeabilizar estructuras desde el sótano hasta la cubierta



Reparación

Renderoc, Nitowrap, Nitoplate

Refuerzo estructural, imprimaciones anti-corrosivas y morteros para reparar el hormigón deteriorado



Selladores

Nitoseal, Thioflex, Colpor

Materiales flexibles para el sellado de juntas destinadas a aceptar movimientos térmicos



Aditivos

Conplast, Auramix, Structuro, Sprayset, Cebex, Retamor

Productos que modifican y mejoran las propiedades de hormigones y morteros



Anclajes y cimentaciones

Conbextra, Lokfix

Grouts cementosos o en base resina para un relleno completo y permanente de huecos



Adhesivos

Nitobond, Nitotile

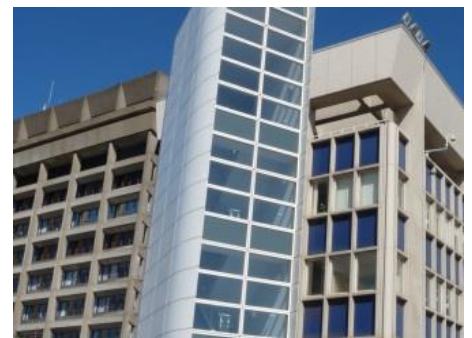
Adhesivos para unión estructural de hormigón o mortero y para colocación de piezas cerámicas



Curadores y desencofrantes

Concure, Auramol, Reebol, Preco

Productos aplicados por pulverización para un curado eficaz del hormigón y agentes desmoldeantes para todo tipo de encofrados



Revestimientos protectores

Dekguard, Nitocote

Productos que protegen las estructuras del ataque atmosférico o la exposición a agentes químicos



Neinor HOMES

Cuando pienses en **tu casa**, piensa en **Neinor Homes**.

ORGULLOSOS



DE ESTAR A TU LADO

neinorhomes.com

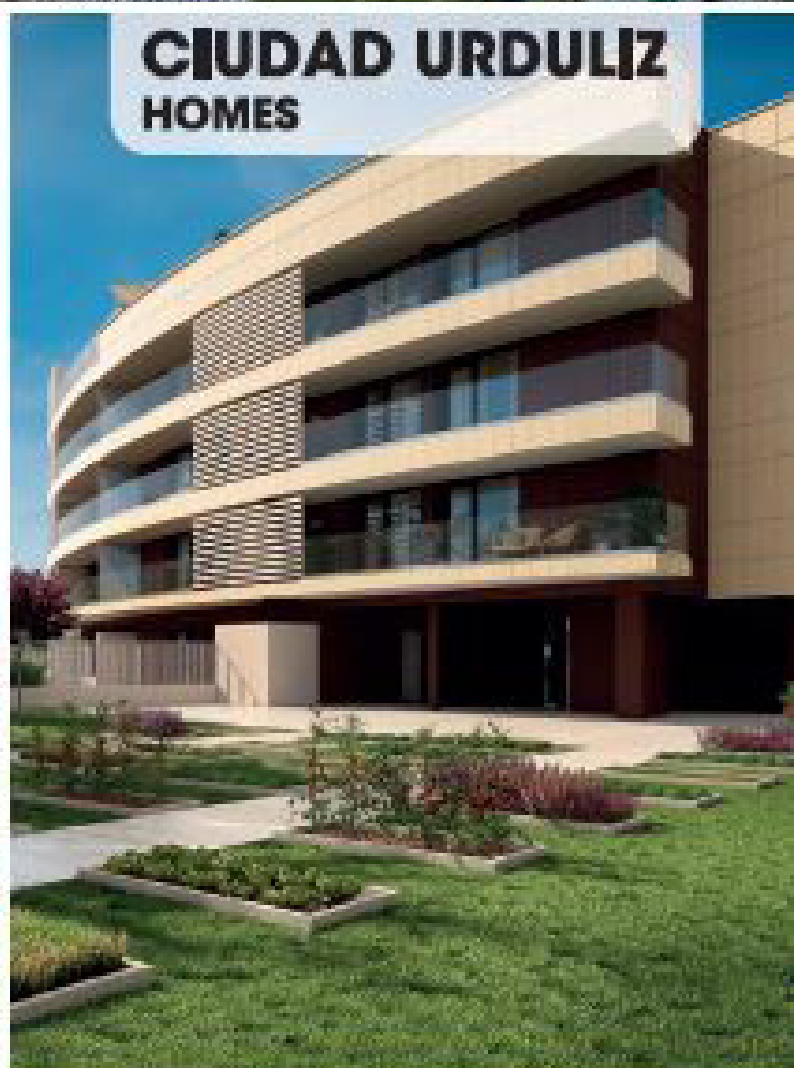
Bolueta Homes



Ribera Homes



CIUDAD URDULIZ HOMES



900 11 00 22

CONSTRUCCIONES SUKIA

Congreso Internacional de Construcción Avanzada



Construcciones Sukia Eraikuntzak, SA egoitza Donostian duen eraikuntza- eta sustapen-enpresa bat da, eta 40 urte baino gehiagoko esperientzia dauka Euskadin hirigintza gauzatzen.

Hirigintza hiria egiteko modu ordenatu gisa ulertzen dugu. Nola? Beharrak asebeteko dituen proiektuak eginez.

Azken 40 urte hauetan proiektu ugari egin ditugu, egoera bakoitzera egokitzuz baina gure izaera pertsonalari uko egin gabe.

Proiektuen kudeaketa integrala eskaintzen dugu, lurzoruen jabeentzako, inbertitzaileentzako eta eraikuntza-premiak dituzten enpresentzako proiektuak bideragarri eginez.

Gure zerbitzuak lurzorua aurkitu eta kudeatzetik hasi eta salmenta osteraino doaz. Era berean, bezero bakoitzaren neurrirako soluzioak ematen ditugu, horixe baita gure enpresa-ikuspegia. Tokiko merkatuaren ezagutzari eta gure lan-taldearen egiten jakiteari esker, lantzen dugun proiektu bakoitzari balio erantsia eskaintzen diogu.

Bezeroari prozesu osoan laguntzen diogu, eta balizko arriskuak gutxienekora murrizten saiatzeaz gain, proiektua optimizatuko duten eta errentagarriago egingo duten irtenbideak gaineratuko ditugu.



Zure etxean zaude **Estás en tu casa**

Lugaritz Pasealekua 21
20018 – San Sebastián (Gipuzkoa)
T. (+34) 943 31 68 68
www.sukia.com

CONSTRUCCIONES SUKIA

Congreso Internacional de Construcción Avanzada

Construcciones Sukia Eraikuntzak, S.A., es una empresa constructora y promotora con sede en San Sebastián que cuenta con más de 40 años de experiencia en la realización de urbanismo en Euskadi.

Entendemos el urbanismo como forma ordenada de hacer ciudad. ¿Cómo? Realizando proyectos que satisfagan necesidades.

Durante los últimos 40 años de historia, hemos realizado numerosos proyectos adaptándonos a cada situación, pero sin perder nuestra esencia personal.

Ofrecemos una gestión integral de proyectos, que permite a propietarios de suelo, inversores y empresas con necesidades constructivas hacer viables sus proyectos.

Nuestros servicios abarcan desde la localización y la gestión del suelo hasta la post-venta. Igualmente damos soluciones a medida a cada cliente, esa es nuestra visión empresarial. El conocimiento del mercado local sumado al saber hacer de nuestro equipo nos permite ofrecer un valor añadido a cada uno de los proyectos que trabajamos.

Acompañamos al cliente en todo el proceso intentando no sólo reducir al mínimo los potenciales riesgos sino aportando soluciones que optimicen y rentabilicen el proyecto.



Zure etxean zaude **Estás en tu casa**

Lugaritz Pasealekua 21
20018 – San Sebastián (Gipuzkoa)
T. (+34) 943 31 68 68
www.sukia.com

TENEMOS MUCHO QUE HACER JUNTOS.

Porque nuestro trabajo no se entiende sin el tuyo, porque queremos trabajar junto a ti para que tu empresa pueda competir mejor. Porque contigo, estamos desarrollando la tecnología capaz de transformar el presente.

**El futuro es tecnológico,
compártamoslo.**

#FuturoCompartido



Accede a más contenido en
<http://tecnalia.com/fabricadelfuturo/>



Llámanos al 902 760 000

CIAL

INTELIGENTE

SOSTENIBLE

FLEXIBLE

CONECTADA

AUTOMATIZADA

The image shows a hand holding a tablet that displays a futuristic industrial scene. In the background, a worker in a blue uniform is blurred. In the foreground, a robotic arm is shown in a wireframe mesh style. Overlaid on the scene are several glowing blue icons: a lightbulb for 'INTELIGENTE', a flame for 'SOSTENIBLE', a gear for 'AUTOMATIZADA', a network of nodes for 'CONECTADA', and a person with a gear for 'FLEXIBLE'. Lines connect these icons to a central point above the robotic arm. The background of the tablet shows a modern factory interior with blue structural elements and overhead pipes.



El Grupo **VEKA** es el mayor extrusor y líder mundial dedicado exclusivamente al diseño, y desarrollo de perfiles de **PVC para carpintería exterior**. Con sede principal en Alemania, y avalada por sus más de 45 años de experiencia, VEKA está presente en 3 continentes, a través de sus 36 filiales y sus 24 plantas de fabricación en el mundo y opera en más de 80 mercados.

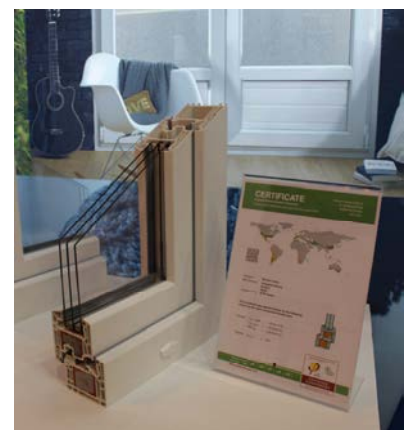
La filial para España y Portugal, **Vekaplast Ibérica**, cuenta con una planta de extrusión de perfiles de PVC ubicada en Burgos, con más de 14.000m² de instalaciones. Con esta infraestructura, VEKA desarrolla en la Península sistemas de perfiles de PVC, que dan respuesta a las necesidades de carpintería de cualquier proyecto: sistemas practicables y deslizantes, sistemas de control solar tipo capialzado, mallorquinas y contraventanas, perfiles complementarios y placas.

Sistemas **certificados por el Instituto Passivhaus** como **SOFTLINE 82 Passiv**, garantizando valores y clasificaciones máximas respecto a la Normativa actual, que permiten reducir el gasto energético a la vez que obtener ambientes cálidos y confortables. Nuestra respuesta a las cada vez más exigentes demandas del mercado en cuanto a prestaciones de aislamiento térmico y acústico se refiere.

Una **apuesta por la sostenibilidad**, y el **ahorro energético**, a través de la creación de sistemas de ventanas que mejoren la calidad de vida de las personas, con las **máximas prestaciones térmicas y acústicas** y bajo la premisa del máximo **respeto medioambiental**.

El compromiso voluntario de conservación medioambiental, se centra en dos aspectos: la adaptación de los procesos de fabricación para lograr una **reducción del consumo de materias primas y energía en la fabricación**, y la posterior reutilización a través de **plantas de reciclaje** con tecnología propia, con capacidad de reciclar hasta 30 toneladas de ventanas de PVC por hora.

VEKA consciente de su responsabilidad medioambiental, ha puesto los medios para cerrar el ciclo de vida de las ventanas fabricadas con sus sistemas. En 1993 la compañía puso en marcha la instalación de reciclaje de ventanas de PVC más grande y moderna de Europa en Behringen/Turingia (Alemania), convirtiéndose así en la primera empresa del sector con instalaciones propias para la recuperación integral y ecológica de la ventana de PVC en su etapa de post consumo. Posteriormente dos nuevas plantas de reciclaje en Gran Bretaña y Francia, dan muestra de la conciencia ecológica de la compañía.



Más información: www.veka.es



Siga a VEKA Ibérica en:

El Blog de Veka
Eficiencia en tus ventanas
www.elblogdeveka.es



¿QUIERE SABER POR QUÉ LOS MEJORES FABRICANTES TRABAJAN CON EL LÍDER MUNDIAL?

VEKALIDAD

Mucho más que un producto excelente

Durante 50 años, el Grupo VEKA, número uno en diseño, fabricación y comercialización de sistemas de ventanas de PVC, ha sostenido una visión a largo plazo, manteniéndose fiel a sus principios: dedicación exclusiva al PVC, la fortaleza de una marca consolidada y un concepto de calidad global a todos los niveles, VEKALIDAD, mucho más que un producto excelente.



VEKALIDAD DE PRODUCTO

MÁS DE 3.000 REFERENCIAS comercializadas en España en CERCA DE 40 COLORES y ahora, una exclusiva e innovadora tecnología de color: VEKA SPECTRAL, de tacto sedoso único y acabado ultramate.

VEKALIDAD DE SERVICIOS

Con una planta de producción para el mercado ibérico en Burgos, contamos con un equipo de 9 personas en Marketing y Técnica. Una GAMA DE SERVICIOS de Marketing y Técnicos, específicos y personalizados para acompañarle durante todo su desarrollo comercial y productivo.

VEKALIDAD DE MARCA

3 continentes, 36 filiales, 24 plantas de fabricación, operando en 80 mercados... dan idea de la fuerza de marca y la dimensión internacional del Grupo VEKA.

VEKALIDAD MEDIOAMBIENTAL

75.000 TONELADAS DE PVC reciclado cada año, a través de 3 fábricas propias de reciclaje, en un compromiso con el medio ambiente sin precedentes.

Síguenos en:



www.veka.es



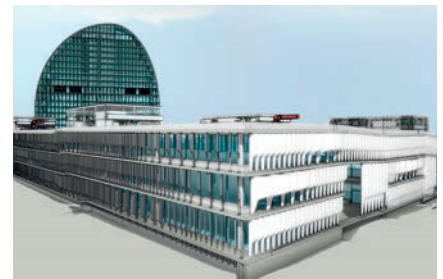
Sistemas de Ventanas de PVC

CON V
DE VOSOTROS

SENER, a la vanguardia de la Arquitectura

Gracias a la experiencia en el ámbito de la ingeniería de infraestructuras y transporte y a las amplias capacidades como empresa multidisciplinar de ingeniería y tecnología, SENER acomete con solvencia obras arquitectónicas con un diseño respetuoso y de alto contenido innovador. En sus trabajos, SENER aplica soluciones tecnológicas propias con la mirada puesta en un paisaje urbano que dé respuesta a un modelo sostenible.

El Grupo de ingeniería y tecnología SENER lleva a cabo proyectos integrales de ingeniería en transporte urbano, transporte ferroviario, carreteras, aeropuertos, puertos, arquitectura, agua y medio ambiente, con exitosas referencias en Arabia Saudita, Argelia, Argentina, Brasil, Catar, Colombia, Chile, Egipto, Emiratos Árabes Unidos, España, EEUU, India, Malasia, México, Marruecos, Panamá, Polonia, Portugal o Vietnam, entre otros países.



Sede central del BBVA (Madrid), diseñado con BIM

Las realizaciones de SENER despuntan por su sostenibilidad e integración en el entorno, lo que ha sido acreditado a través de premios. Además, la empresa ha logrado consolidar su reputación internacional a partir de soluciones tecnológicas excepcionalmente innovadoras. En la actualidad, SENER cubre todo el rango de servicios necesarios para completar una obra de infraestructura, desde sus fases iniciales hasta su entrada en operación, bajo diferentes esquemas de financiación y construcción.

SENER en Arquitectura, Urbanismo y Paisaje

SENER es hoy una empresa líder en Arquitectura, Urbanismo y Paisaje, donde también ofrece servicios que abarcan el ciclo completo del proyecto: desde los estudios de viabilidad hasta la dirección de proyecto, la dirección de obra y la puesta en marcha.

El equipo de Arquitectura de SENER está formado por arquitectos especializados en distintas áreas como el urbanismo, el paisaje o el transporte, e integra delineantes e ingenieros de numerosas especialidades técnicas. El respaldo que proporciona pertenecer a un gran grupo de ingeniería, distinguido por su capacidad de innovación y el desarrollo de tecnologías propias, y activo en diversos sectores de actividad (desde Aeroespacial hasta Energía, Infraestructuras e Ingeniería Naval), permite llevar a cabo proyectos globales de Arquitectura desde una perspectiva multidisciplinar.

La innovación como seña de identidad

El Grupo SENER se distingue por su capacidad de crear e introducir soluciones de ingeniería innovadoras y multidisciplinarias, y de liderar la incorporación de tecnologías y metodologías en el estado del arte.

En Arquitectura y Urbanismo, este esfuerzo se refleja en diseños que incorporan las más avanzadas tecnologías: sus edificios emplean los últimos materiales con los que trabajar e investigar en el campo de la construcción y de las instalaciones; nuevos usos para materiales ya existentes; elementos de regulación y distribución de la energía, así como de los flujos de aire; y mecanismos más complejos, como fachadas y cubiertas móviles que se puedan adaptar de un modo flexible a las demandas climáticas y de confort. En el ámbito del urbanismo y paisaje urbano, SENER aplica innovaciones con el objetivo de proporcionar diseños de calidad, actuales, con alto contenido tecnológico, sostenibles, coherentes e integrados en su entorno.

Además, SENER ha implementado los programas más avanzados. Como la metodología BIM (Building Information Modeling), con la que SENER trabaja desde el año 2007 con el fin de entregar un producto consistente, integrado, que contempla todo el ciclo de vida (desde las primeras fases del proyecto a la obra, el uso y el mantenimiento) y aporta un alto valor al cliente. En la actualidad, SENER acumula una experiencia en el empleo de BIM que la sitúa en la vanguardia del sector.



Estadio Arena Fonte Nova (Brasil)



Oficinas de SENER en Cerdanyola del Vallès (Barcelona)



Torre de Control del tercer juego de esclusas del Canal de Panamá

Más de 400 proyectos en todo el mundo

En total, SENER ha participado en más de 400 proyectos de arquitectura en todo el mundo, que pueden agruparse en las siguientes categorías:

- Transporte, terminales del transporte (ferroviario, urbano, aéreo y marítimo, además de sus edificios anejos), con referencias como Los Angeles Union Station (California, EE UU), la estación de La Sagrera (Barcelona, España) y el intercambiador de Sol (Madrid, España).
- Urbanismo, regeneración urbana y ciudades inteligentes, como los proyectos de detalle en la Bahía de Argel (Argelia), los estudios y proyectos de regeneración urbana en Barakaldo (Bilbao, España), así como el de urbanización pública y primeras 328 viviendas en Vega Galindo (Sestao, España).
- Arte y cultura (edificios singulares, palacios de congresos y museos), con proyectos como el Bilbao Exhibition Centre (BEC), el Edificio de Equipamientos de San Roque, ambos en Bilbao, y el Museo Nacional de Energía y Tecnología (MUNET) en Ciudad de México (México).
- Salud, como la modernización del Hospital General de México (Ciudad de México), el Hospital de quemados en Orán (Argelia) o el Hospital militar de Wrocław (Polonia).
- Deportes, donde destacan el estadio Arena Fonte Nova, en Salvador de Bahía, el estadio de fútbol de Itaquerão, ambos para el Mundial de Fútbol 2014 en Brasil, y el Estadio de Cracovia (Polonia).
- Oficinas, entre ellas las nuevas instalaciones de SENER en Madrid y la sede corporativa de SENER en Cataluña, en Barcelona, y la modelización virtual con BIM de la sede del banco BBVA en Madrid.
- Ciencia e industria, como la Torre de control del tercer juego de esclusas del Canal de Panamá (Panamá), y la terminal semiautomatizada de contenedores en el Muelle Prat, en el Puerto de Barcelona.
- Paisajismo, con referencias como el parque lineal de La Sagrera-Sant Andreu, en Barcelona, y el parque de La Benedicta, en Portugaleta (España).

En muchos de los más importantes proyectos, SENER colabora con arquitectos de prestigio nacional e internacional, y sus trabajos han sido reconocidos con premios de diseño que certifican su sostenibilidad y eficiencia.

Uno de estos proyectos destacados es el metro ligero de Oporto. La calidad de esta obra ha sido galardonada con el Verónica Rudge Green Prize, en 2013, un premio concedido por la Escuela de Diseño de la Universidad de Harvard a proyectos que destacan por su excelencia en diseño urbano sostenible; y por la Unión Internacional de Transporte Público (UITP), que en 2008 otorgó a este sistema el Light Rail Award - Best New System.

A día de hoy, el equipo de Arquitectura y Urbanismo de SENER ha obtenido relevantes galardones, entre ellos: el Premio Revit BIM Experience concedido por Autodesk a SENER, por su excelente empleo de la solución Revit Architecture para BIM en el proyecto del Estadio de Fútbol de Cracovia; el accésit al Mejor Proyecto en el Exterior para el tren eléctrico urbano de la zona metropolitana de Guadalajara, en México, en la edición 2016 de los Premios Anuales del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, o el accésit al Mejor Proyecto en el Exterior al proyecto de la línea 1 del metro de Panamá en la edición 2015 de estos mismos galardones.



Ferrovial Agroman es la unidad que desarrolla las actividades de construcción de obra civil, edificación y obra industrial dentro del grupo Ferrovial. Es reconocida a nivel internacional por su capacidad de **diseño y construcción** de obras singulares de todo tipo, y principalmente de **grandes infraestructuras de transporte**.

Desde 1927, con 90 años de experiencia, más de 55 años de actividad internacional en más de 50 países de los 5 continentes y más de 780 proyectos realizados con éxito.

En su **track-record** histórico se incluyen hasta la fecha obras que acumulan:



4.650 kilómetros
de autopistas en
concesión



15.545 kilómetros
de carreteras y
autovías



30.400 kilómetros
de mantenimiento y
reparación de
carreteras



5.300 kilómetros
de líneas férreas
(incluido 1.000 km
de AVE)



542 kilómetros
de túneles



148
presas



235 plantas de
tratamiento de aguas
(incluido
desaladoras)



33 kilómetros
de muelles e
infraestructuras
en puertos



4.119 kilómetros
de canales



31
centrales
hidroeléctricas



19,2 millones m²
de edificación
residencial



+ 12,2 millones m²
de edificación
industrial



+ 13,6 millones m²
de edificación
no residencial



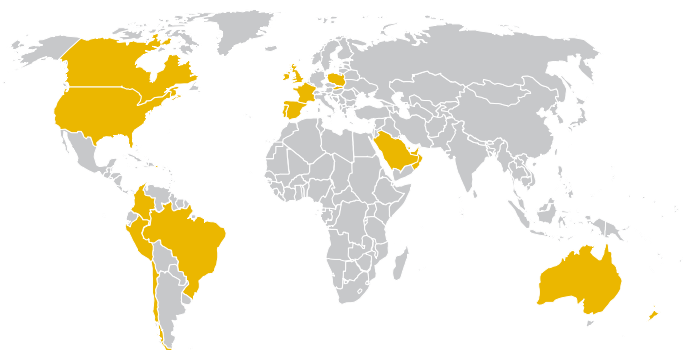
41
aeropuertos



142
hospitales

Para satisfacer las demandas de sus clientes, **Ferrovial Agroman** desarrolla su actividad a través de delegaciones permanentes en los mercados “core”:

- España, Portugal y Francia.
- Reino Unido e Irlanda.
- Estados Unidos y Canadá.
- Colombia, Perú, Brasil, Chile y Puerto Rico.
- Oriente Medio.
- Australia y Nueva Zelanda.



Además, cuenta con el apoyo de sus **empresas filiales a nivel mundial**, convirtiendo a la compañía en un referente internacional:

budimex

Es uno de los **líderes del mercado polaco** especializada en el desarrollo integral de construcción en obra civil, edificación, construcción industrial y promoción inmobiliaria.

webber

Es la empresa líder en construcción de carreteras del **Estado de Texas** (Estados Unidos). Está especializada en construcción de infraestructuras de obra civil y también es una firma de referencia en la producción de áridos reciclados en Houston.

cadagua

Empresa líder en el mercado de la **ingeniería y la construcción** de Plantas de Tratamiento y Depuración de Aguas. Cadagua ha diseñado y construido más de **235 plantas** de tratamiento de agua (potable, residual y desalación), alcanzando una capacidad total de tratamiento superior a **15.000.000 m³/d**. Atendiendo al servicio de Mantenimiento y Explotación, el número de habitantes equivalentes servidos supera los 21 millones.

La **sostenibilidad** es un elemento clave para todas las actividades de **Ferrovial Agroman**. Nuestro **compromiso** pasa por disminuir el **impacto ambiental** de nuestras acciones, priorizar la **seguridad de las personas**, contribuir al desarrollo sostenible de la sociedad y **la innovación** como instrumento fundamental para incrementar la productividad y la competitividad.



Calidad en **Ferrovial Agroman**

Queremos ser reconocidos, como líderes en el mercado por el alto nivel de satisfacción de nuestros clientes, empleados y accionistas.

El respeto al **Medio Ambiente**

Pretendemos contribuir positivamente a la conservación del medio ambiente y hacer un uso responsable y eficiente de los recursos naturales. Consideramos el respeto al medio ambiente como una parte esencial de nuestras obras y servicios.



La **innovación** está en nuestro **ADN**

La Investigación y el Desarrollo más la Innovación (I+D+I) son el catalizador del crecimiento y el éxito de Ferrovial Agroman que nos ha ayudado a adaptarnos y a crecer en el mercado.



La realización de todas las actividades con un alto nivel de **Prevención de Riesgos Laborales**, es el **objetivo primordial** de Ferrovial Agroman y constituye un elemento imprescindible, ya que afecta a la seguridad y al deterioro de la salud de todos los que trabajan en la compañía.



Cumplimos 55 años con las ideas claras y un futuro que nos ilusiona

- *Afrontamos nuestra 'madurez' empresarial conscientes de nuestras fortalezas y **seguros de hacia dónde vamos.***

Ascensores Beltran es una empresa familiar de Eibar fundada en 1963. Somos la segunda generación al frente del negocio y ya nos está pidiendo paso la tercera. Somos de aquí, de Eibar, y queremos seguir siéndolo. Creamos empleo aquí, pagamos nuestros impuestos aquí y las comunidades de vecinos que nos contratan nos ayudan a crear empleo en nuestro entorno.

No ofrecemos producto o soluciones estándares. Cada caso es diferente y hay que empezar desde cero, aportando soluciones, donde parece que no existen por la complejidad de la arquitectura del edificio. **Somos especialistas en lo difícil.** Transformamos lo complicado en accesible. Desde nuestro departamento de I+D+i y desde nuestra larga experiencia damos una propuesta específica a cada cliente, consiguiendo así mejorar la calidad de vida de la comunidad de vecinos. Este enfoque nos hace realmente diferentes de nuestra competencia.

Entendemos que la instalación de un ascensor es una decisión importante. Tiene dos componentes: el racional o coste y el emocional, donde nosotros colaboramos con el cliente para ayudarle a encontrar y desarrollar una solución que le facilite la decisión. Dándole el asesoramiento, generando confianza y apoyándole en todo momento con un trato cercano, reuniéndonos tantas veces como haga falta. Así logramos que sepan lo que compran y el por qué. **En Beltrán sabemos escuchar para luego ofrecer la mejor solución**, esta es nuestra gran diferencia.

Aunque la mayor parte de las instalaciones de ascensores que realizamos son en Euskadi y Navarra, llevamos más de 8 años ofreciendo soluciones por todo el mundo.

Trabajamos con distribuidores e instaladores de ascensores en Inglaterra, Francia, Holanda, Chequia, Polonia y en países de Oriente Próximo. Hemos iniciado este apasionante camino y vamos a continuar explorándolo, ya que, además de permitirnos crecer como empresa, es una magnífica fuente de conocimiento para nuestros ingenieros y técnicos.

Y ahora: ¿hacia dónde nos gustaría dirigirnos?

Nuestra apuesta es mantener el mismo rumbo, es decir, **seguir ayudando a las personas a ser libres y, por lo tanto, felices.**

En nuestra trayectoria hemos conocido auténticas tragedias de personas (de edad avanzada, discapacitadas...) que no podían salir de sus casas por no disponer de un ascensor en el edificio. Y también hemos sido testigos de cómo la instalación del elevador les cambiaba la vida. Literalmente.

Es algo difícil de imaginar para una persona que no sufre ningún impedimento físico, lo sabemos. Pero el drama existe, está ahí.

En **Ascensores Beltran** pensamos que **nadie debería quedarse sin ascensor en su vivienda.**

En ello estamos desde hace **55 años** ya, y en ello vamos a seguir: en que todas las personas puedan tener un ascensor en su edificio, aunque crean o les hayan dicho que la instalación es imposible. Seguro que hay un camino. Siempre lo hay. De hecho, nosotros **somos especialistas en lo difícil, en encontrar soluciones donde parece que no existen.**





Con más de 35 años de experiencia en todos los ámbitos de su sector de actividad y, como parte del **Grupo INBISA** contamos con los recursos técnicos, humanos, financieros y necesarios para abordar todo tipo de proyectos constructivos, ofreciendo soluciones eficientes a las necesidades más complejas con la máxima calidad y garantizando la sostenibilidad y el respeto al medio ambiente.

Trabajamos mano a mano con empresas y organismos públicos de ámbito nacional e internacional y desarrollamos nuestra actividad, ya sea en obra nueva o en rehabilitación, en las áreas residencial, industrial-logístico, terciario-dotacional y obra civil.

INBISA Construcción cuenta con sedes territoriales y delegaciones en Bilbao, Madrid, Barcelona, Málaga y Valencia, desde donde se da servicio a todo el territorio nacional.

Nuestro modelo de gestión sostenible permite afrontar cualquier proyecto con la máxima responsabilidad y compromiso. En la actualidad contamos con más de 500 empleados y prestamos servicio a empresas y organismos públicos de ámbito nacional e internacional.

www.inbisaconstruccion.com









Egoín S.A. es una empresa puntera en el sector de la construcción en madera que abarca ingeniería, diseño y fabricación. Nuestra amplia oferta incluye elementos constructivos prefabricados, edificios completos, construcciones residenciales, terciarios y de uso público.

Nos adaptamos a las necesidades específicas de nuestros clientes y colaboramos con ellos de una forma proactiva. Contamos con las más avanzadas tecnologías y un equipo cohesionado y cualificado de profesionales que nos permiten ofrecer a nuestros clientes un servicio integral para sus proyectos. Desde nuestro departamento técnico nos encargamos del diseño, el análisis y el cálculo de las estructuras, tanto de edificios nuevos como de aquellos objeto de rehabilitación.

Egoín apuesta por el I+D+i, por la innovación tecnológica como empresa líder en el mercado, cumpliendo los más exigentes parámetros de calidad y confort que posibilitan edificios resistentes, aislados térmica y acústicamente. Mantenemos un firme compromiso con nuestro entorno: sostenibilidad, conciencia ecológica y respeto al Medio Ambiente mediante la reducción de emisiones CO2 y la gestión sostenible de los bosques que nos proveen.

proximidad
 naturaleza
 valor ecológico
 elementos modulares
 compromiso
 implicación
 edificios exclusivos
 implicación

progreso
 equilibrio
 eficiencia energética
 armonía
 versatilidad
 innovación
 tecnología

DISEÑA Y GESTIONA SOLUCIONES TECNOLÓGICAS QU

REDES DE CALOR Y FRÍO

Las redes urbanas de calor y frío son sinónimos de seguridad y simplicidad para el usuario. Proporcionan confort a un coste competitivo ya que permiten la eliminación del ruido y la reducción del impacto visual.

DOBLE BENEFICIO CLIENTES:

- Optimización de su en
- Reducción del impact

OBRAS E INSTALACIONES

Concepción, ejecución y puesta en marcha de las instalaciones y equipos durante la renovación o la construcción de edificios como la ejecución y el diseño de redes de calor y frío e instalaciones especiales.

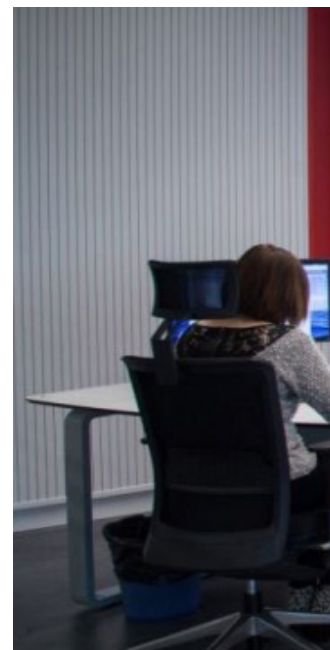
AYUDAMOS A NU

- Gestionar de manera
- Controlando los gastos
- Respetando el medio

MANTENIMIENTO TÉCNICO Y SERVICIOS ENERGÉTICOS

Servicios:

- Mejorar la seguridad y el confort de los ocupantes
- Optimizar la factura energética y reducir el coste de explotación
- Mejorar las instalaciones, para que se adapten a las necesidades reales y a los reglamentos técnicos, sanitarios y medioambientales
- Asegurar la continuidad del funcionamiento
- Reducir los costes de explotación relacionados con el mantenimiento y conservación de edificios
- Preservar el medio ambiente
- Simplificar el servicio, proporcionando un interlocutor único para la gestión de los servicios relacionados al edificio





QUE PERMITEN OPTIMIZAR EL RENDIMIENTO ENERGÉTICO

PARA NUESTROS

energía
o medioambiental

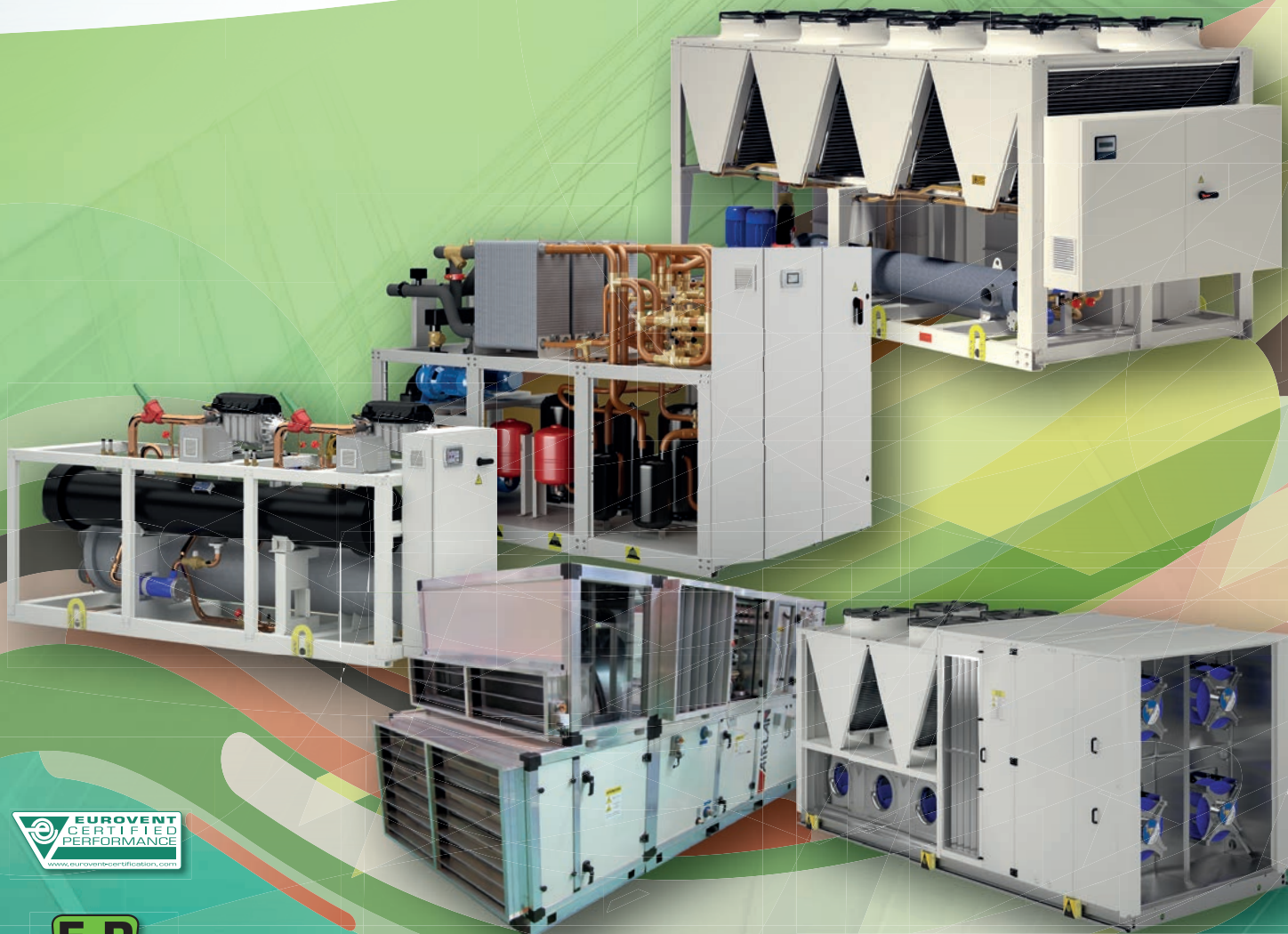
NUESTROS CLIENTES:

eficiente su energía
s
ambiente

OFRECEMOS:

Soluciones energéticas y medioambientales globales y personalizadas con garantía de resultados y ahorro, que incluyen: la compra y gestión de la energía, la conducción, el mantenimiento, el control permanente de las instalaciones, la garantía de reparación y renovación y también la ingeniería para los proyectos de instalación.





2018



REFRIGERANTES
ECOLÓGICOS
R1234ze y XP10

Tecnología del confort, donde el silencio se oye



CENTRO LUBR. ASESORIA POR ENAC 76

- BILBAO
- BARCELONA
- LA CORUÑA
- MADRID
- PALMA DE MALLORCA
- SANTA CRUZ DE TENERIFE
- SEVILLA
- VALENCIA
- LIMA - PERU
- STO. DOMINGO - REPÚBLICA DOMINICANA

☎ 94 476 01 39
✉ airlan@airlan.es

www.airlan.es

