EESAP 8 / CICA 1

EUROPEAN CONGRESS
DONOSTIA / SAN SEBASTIAN

8th European Conference on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture and Planning



Estrategia para la construcción inteligente y sostenible

eman ta zabal zazu

Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitatea

CIP. Biblioteca Universitaria

Congreso Europeo sobre Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura y Urbanismo (8º. 2017. Donostia/San Sebastián)

Estrategia para la construcción inteligente y sostenible [Recurso electrónico]: 8º Congreso Europeo sobre Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura y Urbanismo – 1er Congreso Internacional de Construcción Avanzada = 8th European Conference on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture and Planning – 1st International Congress of Advanced Construction : Donostia/San Sebastián, 5-7 Julio 2017 / [editor] Rufino J. Hernández Minguillón. – Datos. – Bilbao : Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, Argitalpen Zerbitzua = Servicio Editorial, 2017. – 1 recurso en línea : PDF (199 p.)

Congreso organizado por el grupo de investigación Caviar, Calidad de Vida en la Arquitectura de la UPV/EHU, en el marco de los XXXVI Cursos de Verano.
Texto bilingüe en español e inglés.
Modo de acceso: World Wide Web
ISBN. 978-84-9082-668-3

1. Arquitectura sostenible. 2. Arquitectura y economías de energía. I. Hernández Minguillón, Rufino J., ed. II. Congreso Internacional de Construcción Avanzada (1º. 2017. Donostia/San Sebastián)

(0.034)620.9:720(064)

EDITOR
Rufino J. Hernández Minguillón

DISEÑO
Elena Moreno Jordana,
Víctor Araújo Corral, Raffaelina Loi

EDITA
© Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

ISBN: 978-84-9082-668-3

8º CONGRESO EUROPEO SOBRE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD EN ARQUITECTURA Y URBANISMO / 1er. CONGRESO INTERNACIONAL DE CONSTRUCCIÓN AVANZADA

8TH EUROPEAN CONFERENCE ON ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY IN ARCHITECTURE AND PLANNING / 1ST INTERNATIONAL CONGRESS OF ADVANCED CONSTRUCTION

Estrategia para la construcción inteligente y sostenible

RUFINO J. HERNÁNDEZ MINGUILLÓN

Donostia/San Sebastián, 5 - 7 Julio 2017

COMITÉ ORGANIZADOR

El Congreso está organizado por Cursos de Verano de la Universidad del Pais Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea y el Grupo de Investigación CAVIAR Calidad de Vida en la Arquitectura de la UPV/EHU.

Rufino J. Hernández Minguillón (Presidente)
Olatz Irulegi, Raffaelina Loi , Ana Ortega, Oihane Lafragua, Iñaki Beltrán, daniel Barredo, Jon Ansoleaga, Matxalen Etxebarria, Alex Mitxelena, Miguel Ubarrechena, Olatz Grijalba, Arritokieta Eizaguirre, Xabier Barruieta, Íñigo Rodríguez, Fernando Bajo.

COMITÉ CIENTÍFICO

Servando Álvarez
Universidad de Sevilla

Fernando Bajo
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Javier Cenicacelaya Marijuan
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Víctor Echarri
Universidad de Alicante

Helena Granados
Arquitecta

Agustín Hernández
Universidad Politécnica de Madrid

Xabier Barrutieta Basurko
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Olatz Irulegi Garmendia
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Jose María Sala Lizarraga
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Iñaki Mendizabal Miguelez
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

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

Judith Ryser
International Society of City and Regional Planners

Matheos Santamouris
Universidad de Atenas

Alvaro Soto
Universidad Politécnica de Madrid

Isabela Velazquez
Arquitecta

Marta Castellote
Instituto Eduardo Torroja, IETcc-CSIC.

David Revuelta
Instituto Eduardo Torroja, IETcc-CSIC.

ÍNDICE INDEX

11 **COMUNICACIONES /PAPERS**

13 BRESAER: Soluciones innovadoras para la renovación de envolventes adaptables
BRESAER: Breakthrough Solutions for Adaptable Envelopes in Building Refurbishment
IMANOL AGUIRRE PEÑA

23 REnnovates: Flexibilidad en distritos energía cero
REnnovates: Flexibility activated zero energy districts
IMANOL AGUIRRE PEÑA

33 Aprendiendo de la 1ª generación de Edificios de Energía Casi Nula. Un caso de estudio en el País Vasco
Learning from the first generation of NZEB. A case study in the Basque Country
XABIER BARRUTIETA

47 Casa Pasiva en el Anillo Verde de Vitoria
Passive House at the Green Belt of Vitoria
JAVIER CRESPO RUIZ DE GAUNA

53 Rehafica: Estudio técnico y viabilidad económica de rehabilitación mediante la redensificación con sistemas industrializados y sostenibles
Rehafica: Technical study and economic feasibility of rehabilitation through re-densification with industrialized and sustainable systems
MARTA EPELDE

59 BCORE: una herramienta de simulación y calibración energética automatizada para edificación
BCORE: an automated energy simulation and calibration software tool for buildings
LARA FEBRERO

73 Definición de las características óptimas de los invernaderos situados en las cubiertas de los edificios para el precalentamiento de aire de ventilación
Definition of the optimum characteristics of greenhouses located on the roofs of buildings to preheat the ventilation air
JOSEBA GAINZA-BARRENCUA

85 Casa Fénix, del prototipo al terreno (y feed-back)
Casa FÉNIX, from prototype to reality (and feed-back)
MIGUEL ÁNGEL GALVEZ HUERTA

95 Desacoplamiento del Coeficiente de Perdida de Calor de un edificio en uso aplicando el método de decaimiento del CO_2
Applying the decay method to the CO_2 produced by occupants for decoupling the Heat Loss Coefficient of an in-use office building
AITOR ERKOREKA

105 Influencia de la orientación de la calles y de otros criterios urbanísticos en los requerimientos energéticos de viviendas colectivas
Effect of the orientation of streets and other urban planning issues on the energy demand of collective housing
DANIEL GONZÁLEZ PRIETO

117 Paneles de lana mineral de vidrio para la fabricación de conductos de climatización in-situ. Su aportación a la sostenibilidad en los edificios
Mineral wool panels for construction of HVAC ducts in-situ. Its contribution to sustainability in buildings
SILVIA HERRANZ GARCÍA

125 Soluciones prefabricadas y Herramientas digitales y de automatización para la optimización del proceso integral de rehabilitación energética
Prefabricated Solutions and Automated and Digital Tools for the optimisation of a Holistic Energy Refurbishment Process
NATALIA LASARTE+ KEPA URIARTE

141 Modelo metropolitano de barrios nZEB
NZEB neighbourhood Metropolitan model
GIL LLADÓ MORALES

151 Evaluación energética de un distrito de Amberes a partir de los datos catastrales del municipio
Energetic assessment of an Antwerp district based on the cadastral data of the municipality
XABAT OREGI

163 Bombas de calor domésticas como energía renovable
Residential Heat Pumps as Renewable Energy
ERIK SALAZAR HERRÁN

171 Luz y sabor. Daylight Autonomy de Complex Fenestration Systems
Light and taste. Daylight Autonomy of Complex Fenestration Systems
URTZA URIARTE

179 **SESIÓN PÓSTER /POSTER SESSION**

181 **PONENCIAS PATROCINADAS /SPONSORED PAPERS**

191 **PATROCINADORES /SPONSORS**

Patrocinadores platino

BaskEgur
ASOCIACIÓN DE LA MADERA DE EUSKADI
EUSKADIKO EGURRAREN ELKARTEA

egoin
ZUREZKO ERAIKUNTZAK
CONSTRUCCIÓN EN MADERA

cementos LEMONA
CRH

COAVN
EUSKAL HERRIKO ARKITEKTOEN ELKARGO OFIZIALA
COLEGIO OFICIAL DE ARQUITECTOS VASCO-NAVARRO

tecnalia Inspiring Business

VEKA
Sistemas de Ventanas de PVC
CON V DE VOSOTROS

Patrocinadores oro

ASCONGI

CAMINOS EUSKADI

[esle]
10º ANIVERSARIO
EUSKADIKO TEKNOLOGIA LIBREKO ETA EZAGUTZA IREKIKO ENPRESEN ELKARTEA
ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE TECNOLOGÍAS LIBRES Y CONOCIMIENTO ABIERTO DE EUSKADI

ASOCIACION VIZCAINA DE EXCAVADORES

Media partners

aclima
Basque Environment Cluster

bimchannel

FUNDACIÓN LABORAL DE LA CONSTRUCCIÓN

+GAIA

habic
BASQUE HABITAT & CONTRACT CLUSTER

bizkaiko aparailari eta arkitekto teknikoen elkargo ofiziala

colegio oficial de aparejadores y arquitectos técnicos de bizkaia

Colaboradores

EUSKO JAURLARITZA GOBIERNO VASCO
INGURUMEN, LURRALDE PLANGINTZA ETA ETXEBIZITZA SAILA
DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE, PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y VIVIENDA

GRUPO spri
EUSKO JAURLARITZA GOBIERNO VASCO

Presentación

Este libro recoge las comunicaciones seleccionadas para el 8º Congreso Europeo sobre Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura/1er. 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 XXXVI Cursos de Verano de la UPV/EHU, aborda en esta edición el tema "SOSTENIBILIDAD INTELIGENTE EN UNA CONSTRUCCIÓN AVANZADA". Alrededor de este tema general se desarrollan siete ponencias magistrales, a cargo de Salvador Rueda Palenzuela (Agència d'Ecologia Urbana de Barcelona), Javier Cenicacelaya Marijuán (Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Universitatea), José Antonio Chica Páez (Corporación Tecnalia), Matheos Santamouris (University of Athens) y Wasseem Kotoub (British Council, Doha, Qatar), Tomás Iriondo Astigarraga (Clúster GAIA) y Thomas Bock (Techniche Universität München). Además 24 comunicaciones seleccionadas por el comité científico presentarán trabajos de investigaciones actuales en las sesiones orales y póster. Completan el congreso seis ponencias institucionales y 8 ponencias invitadas.

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 cuarta edición del Premio EESAP a la mejor aportación al Congreso, así como premios a comunicaciones correspondientes a las sesiones monográficas, que tienen como objetivo 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 cuarta edición del Congreso: Vicerrectorado del Campus de Gipuzkoa, Vicerrectorado de Investigación, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Departamento de Arquitectura, Gobierno Vasco, Kutxabank, y demás instituciones y empresas patrocinadoras.

Comité organizador

Introduction

This book collects the papers selected for the 8th European Congress on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture / 1st. 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 XXXVI Summer Courses of the UPV / EHU, addresses in this edition the theme "INTELLIGENT SUSTAINABILITY IN AN ADVANCED CONSTRUCTION". Around this general topic are presented seven lectures by Salvador Rueda Palenzuela (Agència d'Ecologia de Barcelona), Javier Cenicacelaya Marijuán (University of the Basque Country / Euskal Herriko Universitatea), José Antonio Chica Páez (Corporación Tecnalia), Matheos Santamouris (University of Athens), Wasseem Kotoub (British Council, Doha, Qatar), Tomás Iriondo Astigarraga (Cluster GAIA) and Thomas Bock (Technische Universität München). In addition, 24 communications selected by the scientific committee will present current research works through oral sessions and posters. Six institutional presentations and eight invited presentations complete the congress.

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 fourth edition of the EESAP Award for the best contribution to the Congress will be presented, as well as awards for communications corresponding to the monographic sessions, 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 fourth edition of the Congress: Vice-Recorate of the Gipuzkoa Campus, Vice-Rectorate of Research, Higher Technical School of Architecture, Department of Architecture, Basque Government, Kutxabank and other sponsoring institutions and firms.

Organizing Committee



Comunicaciones
Papers

BRESAER: Soluciones innovadoras para la renovación de envolventes adaptables

BRESAER: Breakthrough Solutions for Adaptable Envelopes in Building Refurbishment

Imanol Aguirre Peña[1], Ane Miren Altuna Aranzasti[2], Andrew Ferdinando[2], Isabel Lacave Azpeitia[3], Alejandro Martín Barreiro[3]

ABSTRACT

El objeto del proyecto es diseñar, desarrollar y demostrar un sistema innovador y estandarizado para la rehabilitación de fachadas y cubiertas, integrando diferentes soluciones tecnológicas que mejoran la eficiencia energética, confort térmico, acústico y lumínico, así como la calidad del aire del edificio existente. El sistema BRESAER combina soluciones activas, pasivas y nanotecnología industrializadas sobre una misma subestructura modulable versátil y ligera.

El proyecto está financiado por el programa europeo Horizonte 2020 con el objetivo de satisfacer los retos de la construcción sostenible tomando como referencia-base las estrategias y directrices europeas sobre Cambio Climático y Energía para 2020: • Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 20% respecto al año 1990. • Generación de energía renovable de la UE un 20%. • Incrementar un 20% la eficiencia energética.

La rehabilitación energética de los edificios es ya una de las principales estrategias para mejorar la eficiencia energética de los edificios existentes de las ciudades europeas. Tiene como objetivo (i) reducir y optimizar la demanda energética, (ii) introducir sistemas de energías renovables para conseguir un balance neto de consumos y generación (Nearly Zero Energy Buildings), así como (iii) introducir elementos innovadores estandarizados para una aplicación más rápida y económica.

Consta de una subestructura industrializada a la que se fijan diferentes recubrimientos: Fachadas ventiladas modulables con nanotecnología, paneles multicapa de aislamiento y hormigón reforzado de fibras con propiedades nanotecnológicas, envolventes metálicas activas conectadas al sistema de climatización y ventanas con lamas de altas prestaciones térmicas y control de luz y radiación solar. El sistema de envolvente multi-respuesta es adaptable al clima y orientación del edificio que permite la replicabilidad del sistema en las construcciones ineficientes actuales. Los sistemas de envolvente con aplicaciones nanotecnológicas actúan por fotocatalización dotando al sistema de propiedades autolimpiables, termo-reflexivas, incremento de la durabilidad de los materiales y mejora de la relación calidad-precio.

Los prototipos han validado la integración constructiva y el rendimiento energético del sistema, detectando las dificultades de montaje y mejorando el proceso de instalación industrializado. Paralelamente se está evaluando el impacto de las soluciones mediante certificaciones medioambientales LEED y BREEAM,y análisis de Ciclo de vida y ciclo de coste (LCA y LCC) que demuestran el grado de ecoeficiencia y sostenibilidad ambiental del sistema.

En la siguiente fase se actúa sobre un edificio demostrador en el que se aplicarán las soluciones desarrolladas y testadas en laboratorios según los requisitos definidos en la Directiva de Productos de la Construcción (CPD) para la obtención de las certificaciones necesarias para su aplicación en Europa. Los resultados serán validados y contrastados de acuerdo a las previsiones realizadas con las herramientas de simulación.

Key Words: Envolvente, Rehabilitación, Adaptable, Renovables, Control. Envelope, Retrofitting, Adaptable, Renewables, Control.

(1) LKS, iagirre@lksgroup.com. (2) LKS. LKS. (3). Acciona Construcción. Acciona Construcción.

1. Introducción

En el marco actual de paralización de la nueva edificación, el sector de la construcción está obligado a adaptarse a nuevas vías de desarrollo y adoptar estrategias para afrontar una era de nuevas necesidades. En lugar de concentrarse en edificar más, se opta por recalificar el parque construido existente. Actualmente, el sector de la construcción en Europa es responsable del 40% del consumo energético total y del 36% de las emisiones totales de CO_2 [1]. Actuar en este parque edificado mediante intervenciones de mejora de eficiencia energética e integración de nuevas tecnologías es, por tanto, una prioridad.

La rehabilitación energética permite mejorar la eficiencia energética, acondicionar los espacios a nuevos requerimientos de confort y normativos, así como prolongar la durabilidad de los edificios existentes. Es además una de las líneas principales de la Comisión Europea [2] para adoptar medidas de ahorro energético, teniendo como objetivo: (i) reducir y optimizar la demanda energética mejorando el comportamiento térmico y eliminando puentes térmicos de la envolvente, (ii) introducir sistemas de energías renovables para conseguir un balance neto de consumos y generación de energía (Nearly Zero Energy Buildings), así como (iii) introducir elementos innovadores estandarizados para una aplicación más rápida y económica del sistema.

Las pérdidas de transmisión a través de la envolvente térmica del edificio tienen gran incidencia en el consumo energético de la vivienda. En climas templados, las envolventes (fachadas y cubiertas) con espesores de aislamiento "medios" pueden contribuir hasta el 27% del consumo de energía total [3]. La envolvente es, por tanto, un elemento clave para la reducción de la demanda energética del edificio, cuya rehabilitación puede alcanzar ahorros de hasta el 40% del consumo total [4].

Hoy en día, la rehabilitación de la envolvente se realiza únicamente en términos de eficiencia energética mediante la incorporación de aislamiento térmico. Sin embargo, es un elemento con gran potencial de incorporar, además, estrategias activas que permitan la generación de energía, ayudando a la consecución de los edificios de consumo de energía casi nulo (Nearly Zero Energy Buildings).

Tradicionalmente, cada edificio se ha considerado como un producto único, limitando la prefabricación y la aplicación de sistemas modulares y haciendo que la rehabilitación no sea objeto de este mercado. A nivel de investigación, se han desarrollado algunos proyectos en esta vía [5, 6], pero no han conseguido llegar a mercado. El

1. Introduction

in the present framework of the new construction stoppage, building sector is forced to adapt to new development paths and to adopt strategies to face a period of changing requirements. Instead of building more, the current building stock is upgraded. The EU building stock contributes to 40% of total energy consumption and 36% of CO_2 emissions [1]. The improvement of energy efficiency of this stock and the integration of renewable energies is, therefore, a priority.

Energy renovation allows to improve the energy efficiency, to adapt the spaces to the new comfort and standard requirements, as well as to extend the lifespan of the existing buildings. The adoption of energy saving measures is also a priority for European Commission, with the aim of: (i) reducing and optimizing the energy demand by the improvement of the thermal behaviour of the envelope and removing thermal bridges, (ii) incorporating renewable energy systems to get a net balance between the consumed and the produced energy (Nearly Zero Energy Buildings), (iii) using industrialized innovative element for a fast and economic application of the system.

The transmission losses through the envelope of the building have a great influence in the energy consumption of the building. In temperate climates, building envelopes (façades and roofs) with "average" insulation values can contribute up to 27% of total energy consumption [2]. The envelope is, therefore, a key element to reduce building energy consumption, whose retrofitting can achieve more than 40% of total energy savings [3].

Nowadays, the envelope renovation is done exclusively in terms of energy efficiency by the addition of insulation. However, it has the potential to incorporate, additionally, active strategies to produce free energy, leading towards Nearly Zero Energy Buildings.

Every building has been traditionally considered as a unique product, which has limited prefabrication and modular system application. Retrofitting has not been considered as the scope of prefabrication market. At research level, some projects have been developed in this vein [5, 6], but they have not reached the market. The development of adaptable industrialized systems would enable the improvement of the quality of works and the reduction of execution times, reducing the inconveniences caused to the neighbours.

The innovation project BRESAER is being developed within this context, funded by the Horizon 2020 program (topic EeB-02-2014: "Adaptable

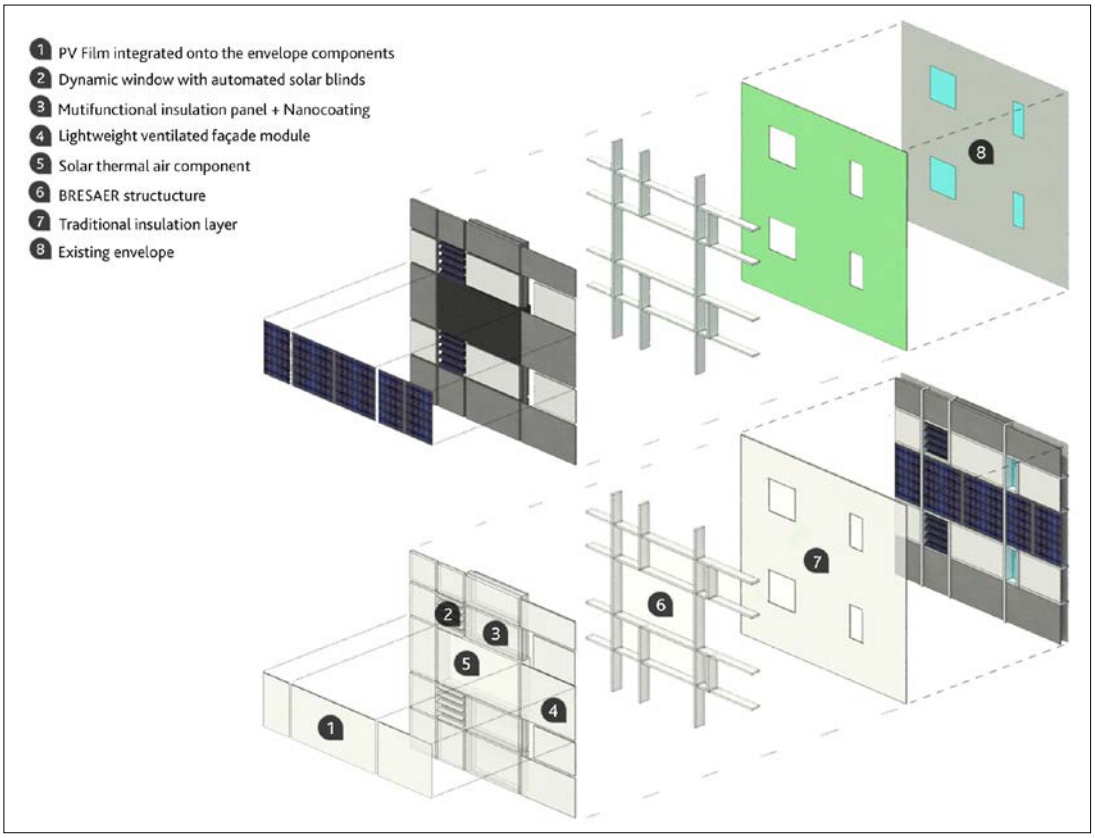


Fig. 1.
Sistema Bresaer.
Bresaer system.

desarrollo de sistemas industrializados adaptables permitiría mejorar la calidad de ejecución de obra, así como reducir los tiempos de ejecución, permitiendo disminuir las molestias causadas a los propios vecinos.

En este contexto, surge el proyecto de innovación BREASER, dentro del programa europeo Horizon 2020 (topic EeB-02-2014: "Sistemas De Envolvente Adaptables Integrados en Proyectos de Rehabilitación de Edificios", GA nº 637186) con el objetivo de desarrollar un sistema industrializado, rentable y adaptable para la rehabilitación de fachadas y cubiertas. El sistema BRESAER está compuesto por diferentes tecnologías activas y pasivas que mejoran la eficiencia energética, confort térmico, acústico y lumínico, así como la calidad del aire del edificio existente, además de producir energía renovable in situ (ver Fig. 1). Todo el edificio estará controlado por una herramienta de Gestión Energética que permita un control específico sobre los sistemas activos de la envolvente y el uso de energía permitiendo reducir drásticamente el consumo de energía primaria y las emisiones de gases de efecto invernadero, mientras se mejora la calidad del ambiente interior.

El diseño del sistema ha sido testado en las diferentes etapas del proceso de desarrollo del sistema. Se han instalado tres prototipos para validar la integración y el funcionamiento del sistema. En esta fase del proyecto se están analizando los

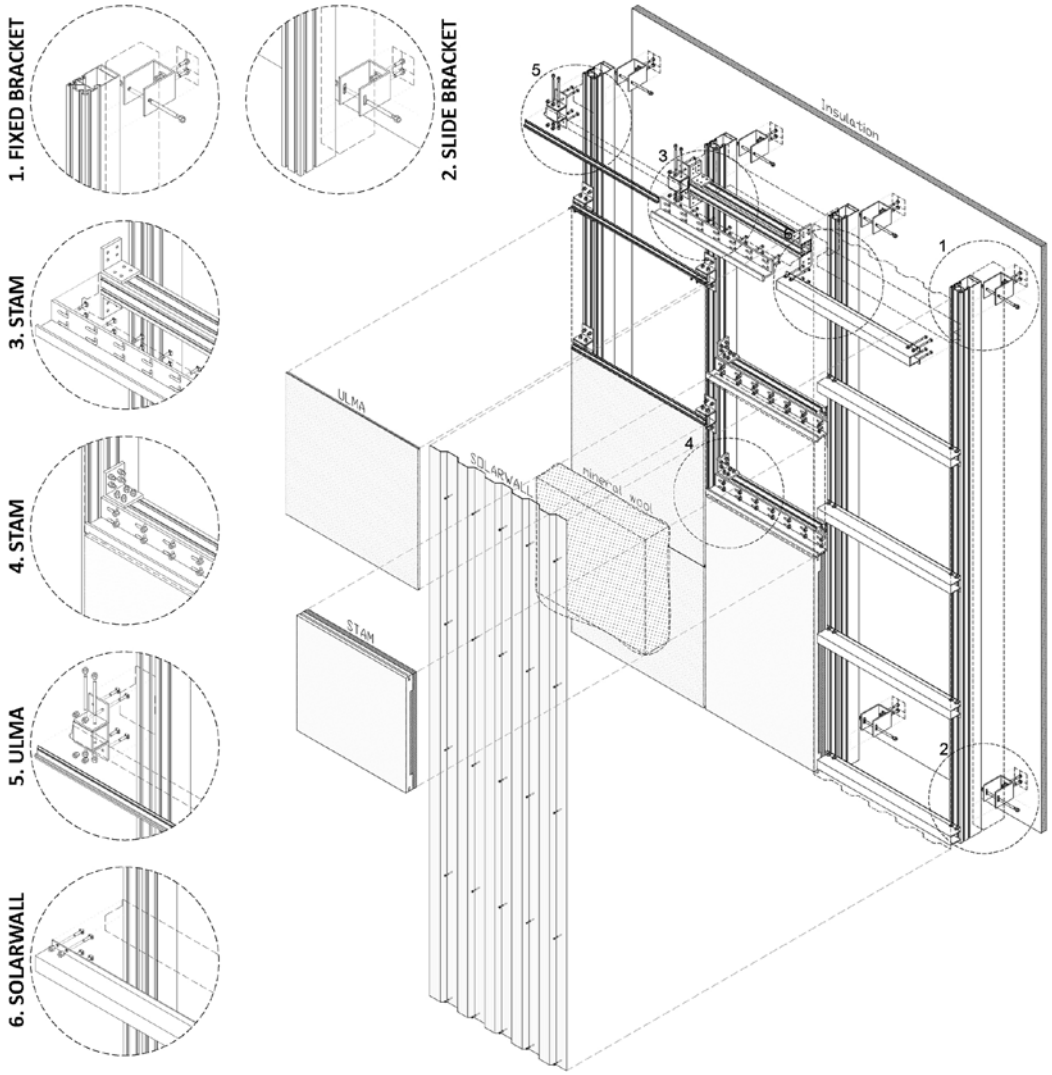
envelopes integrated in building refurbishment projects") with the objective of developing an innovative, cost-effective, adaptable and industrialized envelope system (façades and roofs) for buildings refurbishment. The BRESAER system is composed by passive and active technologies improving energy efficiency, thermal, acoustic and lighting comfort, and indoor air quality (IAQ). The whole building will be governed by an innovative Building Energy Management System covering a specific control system for governing several envelope functions and the energy facilities of the building, including the energy generated by the BRESAER system (see Fig. 1).

The system design has been tested in the different design process. Three prototypes have been installed to demonstrate the integration and the performance of the system. In this project stage, laboratory tests are being analysed to measure the mechanical performance, fire resistance, wind resistance, impact, tightness and freezing. The final challenge is to apply the system in a real demonstrator in order to check the design result, the estimated cost and the energy savings obtained through passive and active strategies.

2. Bresaer system

The BRESAER system includes combined active and passive pre-fabricated solutions integrated in a versatile lightweight structural mesh. This aluminium frame supports (i) light-

Fig. 2. Esquema. Diagram.



test de laboratorio para medir el comportamiento mecánico, reacción al fuego, resistencia a la carga de viento, impacto, impermeabilidad y heladicidad. El reto final es aplicar el sistema completo en un demostrador para poder comprobar el resultado del diseño, el coste estimado y los ahorros energéticos obtenidos mediante las soluciones pasivas y activas.

2. Sistema Bresaer

El sistema BRESAER combina soluciones activas y pasivas industrializadas, integradas sobre una misma subestructura versátil y ligera. Esta subestructura de aluminio sostiene (i) sistemas de módulos de fachada ventilada industrializada, (ii) paneles multicapa de aislamiento y hormigón reforzado de fibras de gran superficie, (iii) envolventes solares térmicas activas, (iv) ventanas dinámicas con control de soleamiento y (v) recubrimiento fotocatalítico y termo-reflexivo para superficies exteriores. Todos los sistemas son intercambiables y desmontables, facilitando el mantenimiento y adaptación del sistema de fachada (ver Fig.2).

weight industrialized ventilated façade module, (ii) multifunctional and multilayer insulation panels made of Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC), (iii) sun active thermal envelopes, (iv) dynamic windows with sun protections and (v) photocatalytic and thermo-reflexive coating for external surfaces. All the systems are exchangeable and removable, facilitating the maintenance and the adaptation of the façade system (see Fig.2).

The active character is enforced by the integration of photovoltaic panels, films and glasses in the system in combination with predictive control and measurement devices using integrated simulation-based control techniques for automating the establishment of optimal operational plans.

BRESAER system includes a Building Energy Management System covering a specific control system for governing the envelope, the energy use of the building and the energy contribution by the monitored active systems. A payback period of 7 years is expected.



Fig. 3.
Prototipos.
Prototype.

El carácter activo se refuerza con la integración de vidrios, paneles y films fotovoltaicos integrados en cada sistema junto con sistemas de medición y control predictivo, basado en técnicas de control mediante simulación de óptima operatividad.

El sistema BRESAER incluye una herramienta de gestión energética, donde se medirá el comportamiento de la fachada, el consumo del edificio y el aporte energético de los sistemas activos monitorizados. Se estima que el periodo de retorno de la inversión sea de siete años.

El sector de la construcción apenas introduce innovaciones tecnológicas o aplicaciones y materiales novedosos. Esto se debe a la dificultad de asumir riesgos de funcionalidad y el elevado coste inicial para alcanzar un retorno de inversión aceptable. La clave del sistema BRESAER es que combina soluciones existentes convencionales con otras innovadoras que permiten controlar el coste e instalación a la vez de poder adaptarse a nuevas necesidades interiores y condiciones climatológicas exteriores.

Finalmente, se están analizando los parámetros requeridos por las certificaciones de BREEAM y LEED. Consisten en métodos de evaluación de la sostenibilidad aplicados en master planes, infraestructuras y edificaciones, diferenciados por actuaciones en edificios en uso, nueva construcción, o proyectos de rehabilitación. Se consideran aspectos e indicadores de eficiencia energética, reciclabilidad de los materiales, generación de residuos y otros parámetros a tener en cuenta desde el diseño del sistema. Se analizará individualmente por cada solución de fachada, así como en su totalidad. Como complemento, se están llevando a cabo análisis de ciclo de vida y ciclo de coste para conocer la rentabilidad del sistema desde el punto de vista económico y de recursos empleados desde la "cuna a la tumba".

Adicionalmente, se han realizado simulaciones para calcular el comportamiento estructural, térmico y acústico de los elementos de la envolvente, individual y conjuntamente. Asimismo, se han

Building sector barely introduces technological innovations or innovative applications and materials. This is because of the difficulties to take a risk in terms of function and the high initial cost to get a feasible investment return. The combination of the innovative and existing conventional solutions that allow to control the cost of installation while is adaptable to new indoor requirements and external climatic conditions, is the key issue of the BRESAER system.

Finally, the parameters required by BREEAM and LEED certifications are been analysed. These are sustainability assessment methods, applied in Master Plans, infrastructures and buildings, differentiated by the type of intervention: existing buildings, new construction or renovation. Aspects related to energy efficiency, recyclability of materials and waste generation, among others, are been considered in the design of the system. Each façade solution will be analysed separately, but also as a whole. Moreover, Life Cycle Assessment and Life Cycle Cost are being evaluated to know the profitability of the system from the economic perspective and the used resources form cradle to grave.

Furthermore, simulations have been performed to calculate the structural, thermal and acoustic performance of the envelope elements, additional systems and dynamic window. Three prototypes have been installed verifying the correct mechanical and energy performance (see Fig.3). Finally, the last laboratory tests are being developed, demonstrating the mechanical performance, fire resistance, wind resistance, impact, tightness and freezing of the BRESAER. The objective is to validate the system across Europe, in compliance with the requirements of the construction products directive.

3. Elements of BRESAER

3.1 Lightweight structural mesh

It consists of an industrialized extruded aluminium lightweight structural mesh installed over a continuous insulation layer, improving thermal-hydrometric behaviour.

construido tres prototipos (ver Fig.3) para validar el la integración constructiva y el rendimiento energético de la envolvente, sistemas adicionales y la ventana dinámica. Finalmente, se están realizando los últimos test para categorizar y acreditar las prestaciones mecánicas, reacción al fuego, resistencia de carga de viento, impacto, impermeabilidad y helacidad de todos los elementos BRESAER. El objetivo es validar el sistema en toda Europa, cumpliendo con los requisitos establecidos en la Directiva de Productos de la construcción (CDP).

3. Elementos de BRESAER

3.1 Subestructura de BRESAER

Se trata de una subestructura industrializada de aluminio extruido que se instala sobre una capa continua de aislamiento térmico, proporcionando una mejora de comportamiento higrotérmico.

La perfilería principal tiene una sección transversal de 150 x 80 cm que se coloca cada 90 cm. Cada sistema de cubrimiento requiere de elementos adicionales para conseguir una alineación e integración de todas las soluciones. Estos elementos son intercambiables y adaptables para poder permitir el mantenimiento, modificaciones y desmontaje del sistema. Además, son elementos de fácil y rápida instalación.

La perfilería se sostiene mediante unas fijaciones en cada banda de los forjados existentes. Estas fijaciones son las que aseguran la verticalidad y horizontalidad de la fachada, y son calculadas específicamente en cada implantación del proyecto, adoptando las particularidades de cada edificación existente. El perfil abarca la distancia de una sola planta, facilitando así el transporte y especialmente el montaje de los perfiles de aluminio.

La unión de los perfiles se ejecuta mediante una tornillería de cabeza de martillo, que permite desplazamientos a lo largo de la ranura de los perfiles para poder realizar una unión en seco, adaptable y desmontable sin provocar daños o pérdidas de material.

3.2 Módulos de fachada ventilada industrializada

El sistema de módulos de fachada ventilada es un sistema industrializado de ULMA Architectural Solutions. Se trata de un sistema convencional de recubrimiento mediante paneles de hormigón polímero que requiere de una subestructura de soporte, una cámara de aire y un aislamiento continuo. La fachada ventilada es el sistema convencional actual que mejor responde a problemas de condensaciones y cubrimiento de puentes térmicos.

Este sistema precisa de unos conectores para alinearse con los demás sistemas de fachada. A estos conectores se fijan los raíles horizontales estandarizados propios de ULMA.

The main profiles have a cross section of 150 x 80 cm placed every 90 cm. Each covering system requires additional elements for the alignment and integration of all solutions. These elements are exchangeable and adaptable to allow the maintenance, variations and disassembly of the system. In addition, they can be quickly and easily installed.

The aluminium profiles are anchored in each band of existing slabs. This anchors ensure the verticality and horizontality of the façade, and are calculated specifically in each project, adapting to the singularities of each existing building. The profile covers the distance of a floor, making easier the transport and especially the assembly of the aluminium profiles.

The connection of the profiles is done by hammer head screws, which allow movement through the section groove of the profiles by a dry connection, adaptable and removable without damage or material loss.

3.2 Industrialized lightweight ventilated façade module

Ventilated façade modular system is an industrialized system developed by ULMA Architectural Solutions. It is a traditional finishing system of polymer concrete slabs fixed to a substructure, with an air chamber and a layer of insulation. The ventilated system is the traditional efficient system that best suits condensation problems and covering of thermal bridges.

The system needs specific cladding elements in order to align the different envelope systems. These cladding elements are installed on a horizontal grid of metal rail standardized by ULMA.

A photovoltaic glass that keeps the same modulation of the system has been developed throughout the project, producing electricity in a semi-transparent surface. The integration is done by an aluminium frame adaptable to the geometric components of the conventional system.

3.3 Multilayer Ultra High Performance Fibre Reinforced insulated panels

It has a high insulation potential covering large surfaces up to three meters high. It is composed by two layers: a high performance fibre-reinforced concrete external layer of three centimetres and a five centimetre polyurethane internal layer. The section in the cladding part is different in order to give higher structural capacity to the conformed panel.

The panel is complemented with a photovoltaic glass mechanically fixed to the external concrete layer, changing the façade to an active element.

A lo largo del proyecto se ha desarrollado un vidrio fotovoltaico que mantiene la misma modulación del sistema, permitiendo la producción de electricidad en una superficie semitransparente. La integración se consigue mediante un marco de aluminio que se adapta a los componentes geométricos propios del sistema convencional.

3.3 Paneles multicapa de aislamiento y hormigón reforzado con fibras

Es un sistema de gran capacidad de aislamiento térmico y cubrimiento para grandes superficies de hasta tres metros de altura. Consta de dos capas: una capa exterior de tres centímetros de hormigón reforzado con fibras y una interior de cinco centímetros de poliuretano rígido. La sección en la parte del anclaje es diferente con el objeto de dar mayor capacidad estructural al panel conformado.

El panel se complementa con un vidrio fotovoltaico fijado mecánicamente a la capa exterior de hormigón, contribuyendo a la transformación de la fachada en un elemento activo.

El panel está en fase de desarrollo para obtener mejores resultados mecánicos. Se está desarrollando en STAM, entidad tecnológica que trabaja en el ámbito de la innovación industrial.

3.4 Envolventes solares térmicas activas,

El sistema de Solarwall es una fachada metálica perforada y conectada al sistema de climatización. Tiene un diseño optimizado para maximizar el aporte energético mediante la acumulación de calor en su cámara de aire, produciendo una corriente de aire interior que se recoge en los colectores del sistema.

El volumen de la cámara de aire depende de los condicionantes del edificio y su entorno. La solución de Solarwall requiere revisar y adaptar el diseño y características de la solución técnica en cada implementación.

Consiste en elementos industrializados convencionales de sistemas de fachada metálicas, obteniendo así una solución de bajo coste y gran aporte energético.

3.5 Ventana dinámica con persiana automática y controlada

La ventana dinámica consiste en un módulo integrado en el sistema BRESAER que regula la radiación solar, aporte lumínico y aislamiento mediante unas lamas inteligentes. La persiana se recoge en un marco de aluminio, y tiene capacidad de rotación para adecuarse a las necesidades interiores.

Las lamas de la persiana son unos paneles sándwich con un acabado de chapa de aluminio y un eje interior de espuma fenólica de altas prestacio-

This panel is under development in order to get the best mechanical results. STAM, technology entity that works on the industrial innovation field, is developing the product.

3.4 Solar thermal active envelopes

Solarwall system is a perforated metal sheet façade connected to the Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) system. The design has been optimized in order to maximize the energy contribution through the heat accumulation in the air chamber, producing an air stream that travels to the inlet of the system collectors.

The volume of the air chamber depends on the building and environment conditions. The Solarwall solution requires reviewing and adapting the design and the features of the technical solution in each implementation.

The system is composed by element of traditional industrialized lightweight ventilated façades, having a cheap solution with high energy contribution.

3.5 Dynamic window with automatically controlled solar blinds

Dynamic window is an integrated module in the BRESAER system, which controls the sun radiation, lighting contribution and the insulation by intelligent louvres. The blind has an aluminium perimeter frame, and can rotate the louvres to better adapt to internal needs.

The louvres of the blinds are made by sandwich panels with external layer of aluminium sheet and internal layer of high performance phenolic foam. This type of sandwich panel is not yet in the market. Therefore, it has been produced specifically for the blind development.

The window system is being developed by Eurecat, a Catalonian Research Centre.

3.6 Photocatalytic coatings on the external surfaces

The nanocoating is the last element of the system, which improves the energy efficiency. It is applied over the ULMA panels, STAM and EURECAT louvres. The role of a coating on the BRESAER is multifunctional: Apart from the aesthetic part combined with durability against weathering, the coating should reflect a great percentage of incident heat and at the same time exhibit photocatalytic, self-cleaning properties.

The coating or paint is composed by two layers. Firstly, a water repellent primer and, secondly, an exterior coating that protects from the pollution, formation of mould and other harmful environmental effects.

nes aislantes. Este conformado del panel no existe en el mercado y ha sido específicamente producido para la persiana del sistema.

El sistema de ventana dinámica se está desarrollando en las instalaciones de Eurecat, Centro tecnológico de Cataluña.

3.6 Recubrimiento fotocatalítico para superficies exteriores

La pintura de nanopartículas es el último elemento que dota al sistema de capacidad de mejora energética y se aplica sobre los paneles de ULMA, STAM y lamas de EURECAT. Se trata de un ***"cool paint"*** que aporta capacidades de reflectancia a los rayos infrarrojos para la disipación del calor, aspectos de auto-limpieza y conservación de las propiedades para mejorar la durabilidad de los paneles, así como un aspecto final decorativo.

Consta de dos capas, una primera capa de imprimación repelente al agua y la segunda que protege de la polución, aparición de moho, y demás agentes nocivos del entorno.

Este producto se ha desarrollado en Nanophos, empresa que incorpora soluciones de nanotecnología en sus productos de acabados.

3.7 Sistema de gestión energética del edificio

BRESAER se completa y gestiona mediante una tecnología TIC capaz de optimizar el uso de la energía. La clave está en convertir la envolvente no sólo en un sistema activo, sino reactivo, capaz de equilibrar los flujos energéticos del edificio de manera instantánea.

El sistema de gestión energética del edificio (BEMS por sus siglas en inglés) es capaz de medir y controlar tanto los elementos activos de la envolvente como las instalaciones energéticas del edificio. Se basa en la integración de técnicas predictivas de control mediante simulación para automatizar la optimización de los planes de operación. BEMS controla y monitoriza los sistemas de climatización del edificio, la envolvente térmica activa, la producción y almacenamiento de energía producida por paneles fotovoltaicos y la ventana dinámica con persiana automática y controlada, para maximizar la eficiencia energética del edificio.

Este producto se está desarrollando de manera conjunta por Cartif, Centro tecnológico de Valladolid, y el Centro tecnológico de Acciona Construcción.

4. Conclusiones

La clave del sistema de BRESAER es poder aplicar soluciones industrializados para la rehabilitación

This product has been developed by Nanophos, company that included nanotechnology in its coatings.

3.7 Building Energy Management System

BREASER is controlled by an ICT technology able to optimize the use or energy. The key is to transform the envelope not only in an active element, but also in a reactive element, which can balance the energy flows instantly.

The Building Energy Management System (BEMS) can measure and control both active elements of the envelope and building energy services. It is based on the combination of simulation-based control predictive methods for the optimization of the operation plans. BEMS controls and monitors building's HVAC systems, the active thermal envelope, the production and storage of the energy produced by the photovoltaic panels, and the dynamic window with automatic controlled blind, in order to maximize the energy efficiency of the building.

This product is being developed jointly by Cartif, Technological Research Centre in Valladolid and the Technological Centre of Acciona Construction.

4. Conclusions

The key issue of the BRESAER system is the possibility of applying industrialized solutions for the energy efficient renovation by the combination of passive and active elements. Thus, in addition to improving the aesthetic of the building, the energy efficiency, the indoor air quality and thermal-hydrometric, acoustic and lighting performance, the system presents high versatility and lightness incorporating energy collecting systems and an efficient energy management.

Different envelope solutions can be added to the system by a metal mesh substructure anchored to the structure of the existing building. This substructure is scalable and adjustable to ensure a quick and systemic installation and allow the maintenance of the envelope elements.

The project is currently finishing the design development of the envelope. Once the last modifications are defined and tested, the real demonstrator will be designed. The aim of the demonstrator is to validate all the mechanical, energy, economic and comfort aspects the BRESAR system offers.

The demonstrator will be governed by an innovative Building Energy Management System, which controls the elements of the envelope and the energy consumption of the building, in order

energética integrando elementos activos y pasivos. Así, además de mejorar el acabado, la eficiencia energética, calidad del aire y prestaciones higrotérmicas, acústicas y lumínicas, se obtiene un sistema que presenta versatilidad y ligereza aportando sistemas de captación de energía y una gestión energética inteligente.

El desarrollo constructivo permite integrar diversas soluciones de envolvente mediante una malla metálica anclada a la estructura del edificio existente. Esta subestructura es modulable y regulable para garantizar una instalación rápida y sistemática y permitir el mantenimiento y de los elementos de la envolvente.

Actualmente el proyecto se encuentra en la finalización del desarrollo constructivo de la envolvente. Una vez definidas y testadas las últimas modificaciones, se procederá a diseñar el demostrador real. El objetivo del demostrador es validar todos los aspectos mecánicos, energéticos, económicos y de confort que ofrece el sistema BRESAER.

El demostrador estará gobernado con un innovador sistema de Gestión Energética en los Edificios, sensorización y monitorización, que controla los componentes de la envolvente y el consumo energético del edificio, para poder así cuantificar y comparar los ahorros energéticos con las simulaciones previamente realizadas. Estos ahorros se suman al análisis de ciclo de vida y cálculo de retorno de inversión.

to quantify and compare the real energy savings with the previous simulations. These savings are added to the Life Cycle Assessment and the Payback calculation.

REFERENCIAS

[1] Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición)

[2] European Commission. Energy Efficiency- Buildings. 2015; Disponible en:
http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings. Accedido en junio 2017.

[3] Boonyatikarn S. Impact of Building Envelopes on Energy Consumption and Energy Design Guidelines. Impact of Building Envelopes on Energy Consumption and Energy Design Guidelines. Buildings II Conference - DOE Conference on the Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings; August 1982; Las Vegas: ASHRAE; 1983.

[4] Aste N, Del Pero C; Energy retrofit of commercial buildings: case study and applied methodology. Energy Efficiency 2012(2):407-23.

[5] Meefs Project, http://www.meefs-retrofitting.eu/

[6] Kobler, R. et al., IEA ECBCS Annex 50 Report, Retrofit Module Design Guide, 2011

REFERENCES

[1] Directive 2010/31/UE of the European Parliament and the Council of 19th May related to building energy efficiency.

[2] European Commission. Energy Efficiency- Buildings. 2015; Available in:
http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings.

[3] Boonyatikarn S. Impact of Building Envelopes on Energy Consumption and Energy Design Guidelines. Impact of Building Envelopes on Energy Consumption and Energy Design Guidelines. Buildings II Conference - DOE Conference on the Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings; August 1982; Las Vegas: ASHRAE; 1983.

[4] Aste N, Del Pero C; Energy retrofit of commercial buildings: case study and applied methodology. Energy Efficiency 2012(2):407-23.

[5] Meefs Project, http://www.meefs-retrofitting.eu/

[6] Kobler, R. et al., IEA ECBCS Annex 50 Report, Retrofit Module Design Guide, 2011

REnnovates: Flexibilidad en distritos energía cero

REnnovates: Flexibility activated zero energy districts

Imanol Aguirre Peña[1], Ane Miren Altuna Aranzasti[2] , Javier Rodríguez Zarza[2], Felix Larrinaga Barrenechea[3], Ander Goikoetxea Arana[3]

ABSTRACT

El concepto REnnovates se centra en la rehabilitación de parques de vivienda social energéticamente ineficientes y con dificultades de financiación para mejorar la eficiencia energética y reducir emisiones CO_2. El concepto interviene tanto en la **rehabilitación integral** de la envolvente, como en la integración de un **módulo energético industrializado, monitorizado y con sistemas de control**. El proyecto de Innovación se recoge en el marco europeo Horizon 2020 entorno a edificios energéticamente eficientes del topic "Enfoque Integral para la Rehabilitación de Edificios Residenciales" EeB-08-2015. El **link**.

Se plantea la replicabilidad del sistema en 3 localizaciones europeas con diferentes características climáticas, culturales y legislativas: Países Bajos, Polonia y España. El caso holandés, consiste en rehabilitar el exterior de viviendas sociales exterior (fachada, cubierta, solera y carpinterías) y su interior (cocinas, baños y sistemas de ventilación y calefacción) utilizando sistemas prefabricados, minimizando el tiempo y coste de la instalación, así como el realojamiento de los habitantes. El módulo energético consta de aerotermia, sistemas de agua caliente sanitaria (ACS), climatización y ventilación, generación fotovoltaica y sistemas de monitorización y control que mejoran el rendimiento y reducen el consumo eléctrico.

El siguiente paso busca la eficiencia energética a nivel de distrito controlando la oferta y la demanda de energía mediante el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) y el almacenamiento con baterías. Una plataforma en la nube permite la agregación y análisis de datos y la aplicación de algoritmos de optimización que comunicarán escenarios energéticos optimizados que luego son ejecutados a nivel de edificio y/o distrito.La clave del proyecto está en las posibilidades de financiación al mantener una cuota de factura eléctrica anterior a la intervención. La reducción de la demanda causada por la rehabilitación de la envolvente, la optimización y control energético del edificio y la gestión energética del distrito permiten reducir el consumo real un 90%.

El reto del demostrador español es adaptar el sistema holandés a las condiciones locales. No es posible su replicación automática debido a las características del contexto local. En consecuencia ha sido necesario replantear el módulo y medir la viabilidad del concepto. Se han obtenido las siguientes conclusiones: • El sistema es más eficiente en viviendas anteriores al código técnico de 1979, donde se comienza a valorar la necesidad de aislar las edificaciones. • Los bloques hasta 3-4 alturas permiten obtener un mayor rendimiento de las placas fotovoltaicas limitadas a 10kW. • La vivienda social de propietario único de las características mencionadas no es común en este mercado y tampoco el de tipología adosada con problemas energéticos significativos. • Un módulo energético centralizado dará servicio a múltiples viviendas.

En definitiva, el proyecto aplica unas estrategias de rehabilitación más allá de solucionar la envolvente del edificio. La solución integra instalaciones de alta eficiencia junto con la aportación de renovables.Con ese fin, la monitorización y el control se configuran como tareas clave en todo el proceso, así como la integración de nuevos agentes (agregadores o gestores energéticos). Esta metodología tiene como objetivo reducir la factura energética utilizando las tecnologías apropiadas con una excelente gestión de la información.

Key Words: Distritos-energía-cero, Rehabilitación energética, Módulo Energía, Demostrador, Flexibilidad)Zero-energy-districts, .deep renovation, Energy Module, Domostrator, Flexibility

(1) LKS Ingeniería S.Coop. +34 616 51 97 83. iagirre@lksgroup.com. (2) LKS Ingeniería S.Coop. (3) MGEP.

1. Introducción

Después de un próspero periodo de crecimiento de nuevas construcciones y mercados en expansión en las últimas décadas, la burbuja inmobiliaria estalló en 2008 paralizando la nueva edificación masiva y cuestionando el mercado especulativo que sobrealimentó el sector de la construcción. Conociendo la realidad actual, la rehabilitación y mantenimiento de los edificios parece ser inevitablemente una vía de desarrollo predominante para los profesionales del sector, reactivando mediante intervenciones de mejora de la eficiencia energética e integración de nuevas tecnologías las actuaciones de los próximos años.

A finales de la década de los 70, se aprobó la primera Norma Básica de la edificación, "NBE-CT-79" [1] sobre Condiciones Térmicas en los Edificios. Es a partir de este momento cuando comenzó a exigirse el aislamiento térmico en las envolventes de los nuevos edificios. Por tanto, la edificación anterior a dicha normativa, construida bajo ningún estándar de confort, tiene una envolvente muy poco eficiente desde el punto de vista térmico. Respecto al parque de viviendas construido, se calcula que existen 14 millones de viviendas a nivel nacional y 600.000 a nivel autonómico [2] previos a 1980.

Estas medidas energéticas se reforzaron en 2006 cuando entró en vigor el Código Técnico de la Edificación (CTE) [3], unificando la normativa sobre la eficiencia energética introducida previamente en la Ley de Ordenación de la Edificación en 1999 [4]. Posteriormente, se introdujo la normativa para la Certificación Energética en Edificios, que una vez adaptada a las exigencias europeas, es obligatorio para construir, alquilar o vender un inmueble. Asimismo, la nueva actualización del CTE de 2013 estableció medidas más estrictas relativas al documento DB-HE para nueva construcción y obliga a mejorar la demanda de la vivienda rehabilitada si se actúa en más del 25% de la envolvente.

El aumento de la eficiencia en el parque edificado es la única fuente de reducción de emisiones, puesto que la eficiencia energética en la nueva edificación sólo coadyuva a reducir el incremento de emisiones en el sector, pero no a disminuirlo [5]. Por ello, el reto de los próximos años es dar a conocer y concienciar a la sociedad sobre los beneficios directos e indirectos que conlleva adoptar medidas sostenibles y eficientes en lo relativo a nuestras viviendas. El confort de los residentes no conlleva asumir consumos ni gastos elevados, sino invertir en medidas de rehabilitación energética, utilizar electrodomésticos de bajo consumo y adoptar hábitos de consumo sostenible que compensarán económicamente a medio plazo.

Este proyecto de Innovación se recoge en el marco europeo Horizon 2020 entorno a edificios energéticamente eficientes del topic "Enfoque Integral para

1. Introduction

after a thriving period of new construction boom and market expansion in the last decades, the housing bubble collapsed in 2008, paralysing the massive building construction and casting doubts on speculative market which over nourished the building sector. Knowing the present reality, it seems that rehabilitation and maintenance projects are a solid way for evolving in the upcoming years through energy efficiency interventions and integrating new technologies in the building industry.

The first building code referring to thermal conditions in construction was adopted in the late 1970s, named "NBS-CT-79" [1], introducing thermal insulation requirements in the envelope of the new buildings. Therefore, it can be stated that no comfort standards were applied before 1979, meaning poor energy efficiency performance. Referring to the building stock it is estimated there are 14 million dwellings at national level and 600.000 at Autonomous Community level previous to 1980 [2].

The energy efficiency measures were reinforced when the Spanish Building Technical Code (CTE) entered into force in 2006 [3], unifying energy efficiency measures previously introduced in the Law on Building Directives [4]. The next step was to apply the Energy Certification in buildings, which became compulsory for building sale and rental contracts once updated to the European requirements. Moreover, a further updated version of the CTE DB-HE established additional requirements for new buildings regarding the retrofitted dwelling demands when the intervention takes place in more than the 25% of the envelope.

The increase of the energy efficiency is necessary to reduce CO_2 emissions, knowing that these measures help to reduce the rise of emissions in the building industry but not to decrease it [4]. This is why the challenge of upcoming years is to make known and educate the society over the direct and indirect benefits from adopting sustainable and efficient measures regarding our homes., but investing in retrofitting measures, using low consumption appliances and adopting sustainable consumption habits that will compensated the investment in a midterm period.

This Innovation project is gathered in the European framework Horizon 2020. The programme is about energy efficiency in buildings under the top "Integrated approach to retrofitting of residential buildings" EeB-08-2015 G.A. 680603, which promotes retrofitting strategies through attractive and feasible business models for the inhabitants and other stakeholders. Reconvert-

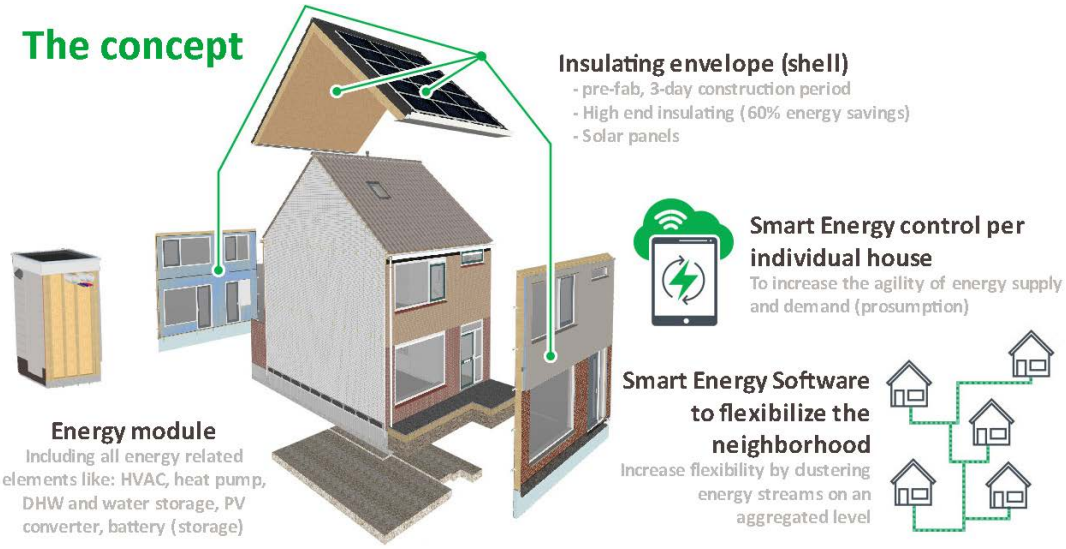


Fig. 1

la Rehabilitación de Edificios Residenciales" EeB-08-2015, el cual pretende traccionar estrategias y el fomento de rehabilitación energética mediante un modelo de negocio atractivo y viable para los residentes. Reconvertir el stock de edificaciones obsoletas y energéticamente ineficientes es una es una de las apuestas firmes de la Comisión Europea.

2. El concepto rennovates

El concepto de REnnovates (ver Fig.1) engloba en 4 pasos la intervención de rehabilitación energética, dotando de valor añadido por su solución integral y flexible que aportan las nuevas tecnologías:

• **La rehabilitación de la envolvente**, incluyendo fachadas, cubiertas, soleras y carpinterías. El primer paso consiste en reducir la demanda del edificio, consiguiendo así un mayor ahorro cuando el edificio carece de aislamiento térmico. La envolvente integra soluciones fotovoltaicas para la generación eléctrica que será utilizada para el abastecimiento energético de la vivienda o módulo energético.

• **Instalación de un módulo energético,** integrando sistemas de climatización y ventilación, agua caliente sanitaria y almacenamiento de energía en baterías, bomba de calor, placas y conversores fotovoltaicos.

• **Control a nivel edificio** para optimizar el rendimiento del módulo y el aprovechamiento de la generación fotovoltaica.

• **Control a nivel distrito** para aumentar la flexibilidad combinando la producción y consumos de diferentes viviendas de un vecindario. Para ello se utilizan baterías de distrito que puedan almacenar, repartir y proporcionar energía para usos comunales junto con las herramientas TIC proporcionadas por la plataforma cloud (análisis de datos y algoritmos de optimización energética). Además, se establecen

ing the obsolete and energy inefficient stock of buildings is one of the firm stake of the European Commission.

2. El rennovates concept

the REnnovates concept (see Fig.1) is based on a four step holistic approach retrofitting intervention, obtaining added value from the integral solution and new technology contributions in flexibility:

• **Envelope Refurbishment**, including façades, roofs, concrete slab and carpentries. The first phase consists on reducing the demand of the building, obtaining further savings when the existing building lacks thermal insulation. Moreover, the envelope integrates photovoltaic solutions in order to produce electricity used for the energy supply of the building of the energy module.

• **The installation of an energy module,** integrating ventilation and spatial heating and cooling systems, domestic hot water, energy storage in batteries, heat pump and photovoltaic panels and inverters.

• **Building level control** to optimize the usage of the photovoltaic production/generation and the energy performance of the energy module.

• **District level control** so as to increase the flexibility complementing energy production and consumptions from different dwellings in the neighbourhood. For that purpose, district level batteries and ICT cloud platforms, which combines data analysis and energy optimisation algorithms, will manage the enhanced consumptions for individual and common needs. Additionally, supply/demand agreements are stablished with the energy distributor (DSO).

acuerdos de oferta y demanda energética con el distribuidor energético (DSO).

Durante el proceso de cálculo y diseño se utilizan herramientas BIM para mejorar la productividad y comunicación entre las soluciones a desarrollar. Se integran sistemas de control inteligente que gestionan el funcionamiento del módulo, anticipándose a predicciones de usos y recursos, y recogiendo datos reales mediante sensores y contadores instalados en la vivienda que regulan las órdenes del módulo.

Los objetivos del concepto tratan los siguientes puntos:

• **Mejorar la eficiencia energética de los edificios residenciales**, con el objetivo de convertirse en edificios de energía cero (EEC) combinando medidas pasivas y activas.

• **Revalorizar la vivienda** no sólo por su aspecto actualizado sino por la mejora de instalaciones y rendimiento energético.

• **Gestión de las energías renovables**. Tal como se prevé en las directrices europeas, de conversión a energía eléctrica que pueden estar comunicadas a plataformas inteligentes y fuentes de energía renovables.

• **Diseñar una financiación atractiva** mediante un modelo de negocio viable para el usuario y rentable para los agentes implicados.

Para conseguir abaratar la intervención se opta por estandarizar soluciones de envolvente, módulo energético y plataforma inteligente. Para la instalación tanto de soluciones para el exterior como el interior, se establecen sistemas de fácil y rápida implementación, a modo "***plug-and-play***", con la misma idea de reducir costes de mano de obra, realojamientos y materiales.

Sin embargo, la aportación de energía renovable producida por las placas fotovoltaicas produce un aumento de coste al distribuidor de energía. La contribución fotovoltaica genera altibajos de picos de energía que repercute en la calidad y carga de la red. Por ello, se aplican soluciones inteligentes de gestión y control energético a nivel de edificio y distrito. A este respecto la gestión energética de la plataforma inteligente es clave. La plataforma se encarga de recoger las medidas de los hogares, ejecutar estrategias de optimización y comunicar las mismas a los dispositivos desplegados en los hogares/distritos (módulos energéticos, baterías y depósitos para el almacenaje de energía).

La metodología para aplicar el concepto REnnovates consta de tres fases. Primeramente, se adapta el concepto REnnovates a las características propias del lugar de implementación. Posteriormente, se

During the calculation and design process BIM tools are used in order to enhance the communication and productivity of the solutions, as well as integrating smart control systems which recognize and manage the operation of the module, anticipating consumptions and resources, and gathering real data through installed sensors and counter devices that are connected to the energy module.

The objectives of the concept are the following:

• **Enhance the energy efficiency of residential buildings**, aiming to turn them into Zero-Energy building (ZNE) by combining passive and active measures.

• **The increase of value comes** not only for its updated aesthetics but also for the optimized installations and energy performance.

• **Renewable energy management**. As it is foreseen in European guidelines regarding the electric energy conversion, communicating renewable resources with smart control IT platforms.

• **Designing an attractive financing scheme** through feasible and cost effective business model for both inhabitants and other stakeholders.

In order to make the installation cheaper, envelopment, energy module and smart platform solutions are standards. Easy and fast installing systems such as plug-and-play methods are implemented so as to reduce the cost of labour costs, relocations and materials. º

Nonetheless, the energy production from the photovoltaic panels can cause a cost increase to the energy distributor. The photovoltaic contribution generates energy peaks that can affect the quality and overload the grid. This is why smart energy management and control solutions are implemented at building and district level. The IT platform gathers dwelling energy consumption and production information, executing optimization strategies and commands to the energy modules and district batteries.

The REnnovates methodology is settled in three phases: Firstly, the REnnovates concept has to adapt to the implementation context and characteristics. Later, once the local case study is defined, basic key performance indicators (KPI) are determined in order to obtain the results of the projects, and finally, the demonstrator implementation and IT architecture is designed. The aim of the concept is to invest the energy savings acquired in the energy retrofitting including the envelope, the energy module and control system.

determinan los indicadores necesarios para obtener los objetivos del proyecto, y finalmente, se diseña la implementación y tecnologías a aplicar en el demostrador. El objetivo se basa en invertir los ahorros energéticos obtenidos en la rehabilitación energética, incluyendo la envolvente, el módulo energético y los sistemas de control.

3. Modelo holandés

"Stroomversnelling" [6] es la cooperación holandesa formada por seis asociaciones sociales y cuatro constructoras, junto con la ayuda del gobierno, para impulsar la rehabilitación energética a escala masiva. La implantación se centra en viviendas de alquiler de los años 50-70, propiedad de asociaciones de vivienda social con una tipología de módulos adosados y pobre aislamiento térmico. El proyecto alcanza un mercado potencial de 111.000 viviendas que se estima convertir en edificios de energía cero (EEC) antes de 2020.

La clave es diseñar un modelo de negocio para financiar la rehabilitación energética mediante los ahorros energéticos obtenidos después de la intervención. El usuario mantiene una tarifa de alquiler de vivienda y consumos anteriores a la reforma, mientras que el agregador gestiona la rehabilitación y aprovechamiento energético de la vivienda y el distrito.

"Stroomversnelling" es el comienzo del proyecto REnnovates. Comienza con proyectos piloto en marcha, con el objetivo de replicar la intervención a gran escala y conectar la red a nivel distrito (ver Fig.2).

Más allá de la envolvente, el demostrador holandés rehabilita también el interior de las viviendas, consiguiendo así una reforma integral y prolongar la vida útil de los edificios residenciales.

Actualmente los últimos avances se centran en la comunicación y afinación de la plataforma inteligente. Se están obteniendo ya los datos individuales y comunales a nivel distrito. La comunicación mediante los protocolos EEBus [7] y USEF [8] permiten la interoperabilidad de datos, el entendimiento entre dispositivos heterogéneos y la negociación de los parámetros de oferta y demanda energética. El reto principal consiste en conectar dispositivos y edificios en red, adaptar los algoritmos y soluciones tecnológicas a los datos obtenidos e incorporar baterías con el objetivo de optimizar los flujos energéticos a nivel de distrito.

4. Adaptación modelo local

Como en la mayoría de los proyectos Horizonte 2020, el proyecto trata de adaptar las tecnologías y procedimientos del modelo holandés, contrastando los resultados en diversas regiones con condiciones climatológicas, normativas y tipológicas diferentes.



Fig. 2

3. The netherlands model

"Stroomversnelling" [6] is a Dutch cooperation project composed by six social associations and four building companies, along with the government assistance in order to promote energy retrofitting in a massive scale. The implementation is focused on rental buildings from the 50-70s, owned by housing associations and poorly insulated detached housing typology. The aforementioned features scope up to 111.000 residential buildings in the Netherlands, which are expected to turn into Zero-Energy building (ZNE) before 2020.

They key element is to design a business model financed by energy savings obtained after the four step holistic approach retrofitting project. The end user maintains an energy tariff previous to the intervention while the energy aggregator copes with the building refurbishment project and building and district energy management. Beyond the envelope retrofitting, the Dutch demonstrator rehabilitates the interior installation and furniture and thus achieves an integral solution as well as extending the lifecycle of the obsolete residential dwellings.

"Stroomversnelling" is the beginning of the REnnovates project, where some pilot projects are already ongoing and aiming to achieve a massive scale dimension and district level connectivity (see Fig.2).

The last advances are related to the communication and smart platform enhancement. EEBus [7] and USEF [8] communication protocols permit the interoperability of the data, diverse device communication and the optimal respond to energy demand/supply parameters. The main challenge is to connect devices and buildings in network,

Por un lado, se adapta a las oportunidades del modelo de negocio y se desarrolla un demostrador para verificar y contrastar los resultados.

Como ya se menciona en la sección anterior, el concepto REnnovates se ha desarrollado en Holanda. Polonia y España son los países que replican y adaptan su modelo de negocio y demostrador propios a las características de su entorno. En los siguientes puntos se desarrolla el caso del consorcio de Mondragón, formado por la Corporación Mondragón, Mondragón Goi Eskola Politeknikoa (MGEP) y LKS Ingeniería.

4.1 Modelo de negocio

Se ha analizado el mercado actual para la implantación del concepto REnnovates. Tal como se indica en la introducción, se estima que existe un elevado número de viviendas con necesidad de rehabilitación de envolvente a nivel nacional y local, por lo que hay un mercado potencial. Tomando en cuenta los 14 millones de viviendas anteriores a 1979, y aplicando el filtro de viviendas de altura igual o menor a 3 plantas, por razones de aprovechamiento fotovoltaico, se estima que hay 3 millones de viviendas sin aislamiento térmico, de los cuales el 60% no tiene instalación de calefacción [1].

Sin embargo, se han encontrado otros factores que limitan la aplicación del concepto REnnovates. Por un lado, los habitantes de las viviendas son de un perfil de población con recursos bajos y no predispuestos a invertir en la rehabilitación de la vivienda. Por otro lado, la normativa energética ha sido restrictiva e inestable sobre el autoabastecimiento fotovoltaico, limitando la potencia instalada de generación a 10kW. En el último periodo se han derogado artículos claves de la ley del impuesto al sol RD 900/2015, por lo que se analizarán las interpretaciones y nuevas oportunidades que pueda generar un aporte de energía renovable.

Como se ha podido ver en el desarrollo de los últimos años, la factura eléctrica ha aumentado considerablemente a pesar de haberse reducido el consumo. Esto se debe a los costes regulados (aproximadamente el 40% del total) que incluye las ayudas a las renovables, el transporte y distribución de la energía, los costes extrapeninsulares y la amortización del déficit eléctrico que ha ido en aumento, el consumo de electricidad (alrededor del 35%), con un precio mayorista variable cada momento en función de la demanda y oferta con récords nunca vistos, y finalmente, los impuestos (25%) nacionales, autonómicos y municipales.

Además, no se ha encontrado una tipología repetitiva de edificios donde aplicar masivamente el concepto de REnnovates. La casuística de tipología de

adapt the algorithms and technological solutions to data requirements and integrate batteries optimizing energy consumption at district level.

4. Local adaptation model

as it is already mentioned, the REnnovates concept was developed in the Netherlands, and Poland and Spain are the partner countries that replicate and adapt the original strategies. As in the majority of Horizon 2020 projects, REnnovates aims to adapt and contrast Dutch strategies into diverse climate, legislative and typology contexts, adjusting the business model and demonstrators in order to verify the final results. In the following section the Mondragon consortium case is developed, comprised of the Mondragon Corporation, Mondragon Goi Eskola Politeknikoa (MGEP) and LKS Ingeniería.

4.1 Business model

The first approach consists of analysing the current market for the REnnovates concept implementation. As stated in the introduction, a potential energy retrofitting existing market has been estimated. Starting from the 14 million dwellings prior to 1979, and considering only three story buildings due to photovoltaic exploitation, it is quantified there are 3 million homes, 60% of them without any heating installation [1].

However, there are other aspects that bound the direct implementation of the REnnovates concept. On the one hand, the target buildings are inhabited by low-income residents not prone to invest in retrofitting. On the other hand, the energy regulation is restrictive and unstable regarding photovoltaic self-consumption limited to 10kW production power. In the last period, key articles of the RD 900/2015 have been repealed, opening new opportunities that can enhance the renewable energy contribution.

The electric bill has increased considerably in the last years in spite of having reduced the consumption. This is due to regulated costs (approximately 40% of the total), which includes the grants of aid to renewable energies, the transport and distribution of energy, extra-peninsular costs and the amortization of the electricity deficit that has been increasing, electricity consumption (around 35%), with a variable sale price depending on demand/supply, and finally national, regional and municipal taxes (25%).

The casuistry of the typology along with the surrounding space of private property housing does not help a direct application of the Dutch model. Taking these aspects into consideration, the local model have the features below:

- The target buildings are prior to NBE-CT-79 norm and limited to 3 floor blocks.



Fig. 3

edificio, la relación y espacio del entorno y la propiedad privada no ayudan a una aplicación directa del modelo holandés. Se opta por utilizar sistemas de envolvente adaptables y de uso extendido para optimizar los tiempos y coste de la envolvente.

Tomando en cuenta los factores mencionados anteriormente, las características del concepto adaptado al contexto local de REnnovates son las siguientes:

• Los bloques a rehabilitar serán **anteriores a la Norma NBE-CT-79** y de una **altura máxima de 3** plantas.

• Las viviendas con sistemas de **calefacción eléctrica o carente de instalación** tienen un mayor potencial de ahorro energético y mejora de confort.

• Se aplicará el **sistema SATE** (Sistema de Aislamiento Térmico Exterior) para la rehabilitación de envolvente, combinado con otras soluciones de rápida y económica instalación.

• Se desarrollará un **módulo energético centralizado** que responde a la tipología de bloques de vivienda más común y de mayor potencial de mejora de eficiencia a menor inversión. Este módulo regula el consumo de diferentes viviendas con un solo módulo compartido, con un mayor aprovechamiento de los elementos del módulo y el espacio ocupado.

• Se estudiarán las oportunidades de mercado sobre la **flexibilidad** mediante control inteligente y baterías a nivel de distrito.

Se estima que, aplicando estas variables, las ayudas de financiación locales para energías renovables y rehabilitación y el potencial de construcción en serie, el periodo de retorno de inversión es de 13,5 años.

- Houses with electrical heating systems or without any heating are targeted for selection.
- Façade retrofitting will consider External Thermal Insulation Composite System (ETICS) as a general solution for main parts with ventilated façade in specific areas.
- A Centralized energy module will be developed, controlling several dwelling consumptions and enhancing the profitability and energy performance.
- Flexibility opportunities will be studied through smart control and battery interoperability.

It is estimated that taking these variables, renewable energy local grants, retrofitting savings and potential for replication, the return of investment is 13.5 years.

Once the case study and the market are established in the local context, the next step is to identify the indicators and design the implementation and architecture to be applied in the local demonstrator.

4.2 Demonstrator

Up to now, two demonstration models have been studied: a housing block in Oñati that adapts the REnnovates concept in building level, and the Abadiño municipal facility to analyze the application of energy flexibility by means of simulation at district level.

The demonstrator in **Oñati** consists of a block comprised of two dwellings and two recreation spaces for neighbors and is property of the municipality (see Fig.3), having the following singularities:

4.2 Demostrador

Hasta el momento, se están estudiando dos modelos de demostradores: un bloque de viviendas en Oñati que adaptará el concepto de REnnovates a nivel de edificio y la instalación municipal de Abadiano para analizar la aplicación de REnnovates a nivel de municipalidad simulando la flexibilidad a nivel distrito.

El demostrador de **Oñati** consiste en un bloque conformado por dos viviendas y dos locales de uso recreativo para los vecinos y es de propiedad del ayuntamiento (ver Fig.3). Tomando la referencia del caso holandés y aplicando las características del lugar, el demostrador tiene las siguientes singularidades:

• **La rehabilitación de la envolvente** no puede realizarse con sistemas prefabricados por su difícil replicabilidad. Combina sistemas de aislamiento térmico exterior (SATE), sistemas de fachada ventilada, y acabados metálicos, integrando doce placas fotovoltaicas.

• **El módulo energético** se ha diseñado para dar servicio a más de una vivienda. El módulo centralizado tiene como objetivo responder a una tipología de bloque de vivienda, mejorando el rendimiento y optimizando los elementos y espacio requeridos.

• **El control a nivel edificio** asume los indicadores propios del caso de estudio y combina la interacción del módulo centralizado, más complejo que el desarrollado en el caso holandés.

Los indicadores que se han considerado en las simulaciones son los siguientes, comparando el estado actual, la rehabilitación energética y la optimización mediante el control inteligente:

• La demanda y consumo del edificio.

• Producción y aprovechamiento fotovoltaico.

• Parámetros de confort de temperatura de ambiente y agua caliente sanitaria.

• Datos climáticos.

• Valor del mercado de la vivienda y la prolongación de la vida útil del edificio.

Estos valores se comparan mediante datos energéticos y económicos. Una vez realizada la rehabilitación energética del demostrador de Oñati, se sensorizarán y monitorizarán estos parámetros para el correcto funcionamiento del módulo y poder así validar y cuantificar también los ahorros estimados en las simulaciones. La misma plataforma inteligente utilizada en el modelo holandés se utilizará en el demostrador Oñati. Como se ha indicado con anterioridad la plataforma permite la agregación y análisis de

• **The envelope retrofitting** cannot be done with prefabricated systems because of replicability difficulties. It combines exterior thermal insulation composite systems (ETICS), ventilated façade systems and metal finishing, integrating twelve photovoltaic panels on the roof.

• **The centralized energy module** responds to a block typology, improving the energy performance and required resources.

• **The control at building level** adapts the local KPIs of the case study and combines the interaction of the centralized module, more complex than the reference case.

The indicators considered in the simulations are the following, comparing the current state, the retrofitting and the optimization through the intelligent control:

• Demand and consumption of the building

• Photovoltaic production and exploitation.

• Comfort parameters of space temperature and domestic hot water.

• Climate data

• Value of the house and lifetime extension.

These values are compared with energy and economic values. Once the retrofitting of the Oñati demonstration has been carried out, these parameters will be sensed and monitored for energy module control and simulation validation.

The flexibility capacity will be studied in the **Abadiño** demonstrator, monitoring sensor-equipped existing photovoltaic installation and analyzing the energy optimization possibilities. The energy production and consumption of the facility will be connected to the IT platform, which calculates the feasibility of the energy aggregator figure considering real market prices. The aggregator would register the photovoltaic production facility as an energy supplier.

Conclusions

as it was mentioned along the document, each demonstrator is currently in a different phase:

The Dutch case is focusing on REnnovates concept optimization. Having implemented more than 200 deep retrofitting interventions, the current objective is to enhance the energy performance of the building and the flexibility through district batteries and smart control.

The local model is developing the implementation, facing the adaptation difficulties due to

datos y la aplicación de algoritmos de optimización que comunicarán escenarios optimizados de flujos de energía al edificio para que este tome medidas de control energético.

Alineado con la estrategia de investigar las posibilidades de optimización energética a nivel de distrito, el demostrador de **Abadiano** tratará de estudiar la capacidad y flexibilidad energética de una serie de instalaciones de renovables existentes en el ayuntamiento (varias instalaciones de fotovoltaica). La flexibilidad se investigará instalando sensores que recogerán datos de producción y consumo energético de esas instalaciones y los enviarán a la plataforma inteligente. Se simularán situaciones de oferta-demanda energética considerando el precio de la energía en cada instante para validar la figura del agregador energético en el estado (con la regulación actual y considerando marcos más favorables). El agregador se encargará de registrar las instalaciones de renovables como instalaciones productoras e intervendrá en el mercado energético como un comercializador energético.

Conclusiones

Cada demostrador se encuentra en una fase de desarrollo diferente.

El modelo holandés trata de optimizar la implantación del concepto REnnovates. Habiendo intervenido ya en más de 200 viviendas, su objetivo en este momento es optimizar el rendimiento del módulo y la flexibilidad que ofrecen las baterías de distrito.

El modelo local está en fase de desarrollo de la implementación. Las dificultades principales de adaptación del concepto de REnnovates son debidas a la tipología de viviendas de propiedad privada y una normativa exigente en lo relativo al autoconsumo. Partiendo del análisis del mercado, el caso estudio y una vez definidos los objetivos e indicadores clave, se está desarrollando la parte tecnológica que permitirá alcanzar los valores estimados en las simulaciones energéticas. A día de hoy, las últimas noticias sobre la derogación de los artículos del RD 900/2015 abren oportunidades para nuevas interpretaciones que puedan potenciar el modelo local de autoconsumo.

block typology, private ownership and energy self-consumption legal boundaries. Having determined the required key performance indicators (KPIs), and having simulated diverse scenarios, the project is focused on the technological development. At district level, the monitoring of an existing photovoltaic facility will provide the feasibility of the aggregator. Finally, the last news about the repealed articles could trade opportunities to promote energy self-consumption measures which enables a more flexible REnnovates implementation.

REFERENCIAS

1 RD 2429/79, de 6 de julio, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación "NBE-CT-79", sobre Condiciones Térmicas en los edificios.

2 INE. Instituto Nacional de Estadística. Censo de Población y Viviendas 2011.

3 RD 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

4 Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación

5 Cuchí, A. y Pagès, A., 2007. Sobre una estrategia para dirigir al sector de la edificación hacia la eficiencia de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI)

6 http://stroomversnelling.nl/

7 Protocolo EEBus https://www.eebus.org/en/about-us/

8 Protocolo USEF http://www.usef.energy/

REFERENCES

1 RD 2429/79, 6th of July, establishing the Basic Building Regulations "NBE-CT-79", related to Thermal Conditions in buildings.

2 INE. National Statistical Institute. Population and Housing Census 2011.

3 RD 314/2006, 17th of March, establishing the Spanish Technical Building Code.

4 Law 38/1999, 5th of November, Directives in Construction.

5 Cuchí, A. y Pagès, A., 2007. Strategy to lead the building sector towards efficiency of greenhouse gas emissions (GHG)

6 http://stroomversnelling.nl/

7 Protocol EEBus https://www.eebus.org/en/about-us/

8 Protocol USEF http://www.usef.energy/

Aprendiendo de la 1ª generación de Edificios de Energía Casi Nula. Un caso de estudio en el País Vasco

Learning from the first generation of NZEB. A case study in the Basque Country

Xabier Barrutieta[1]

ABSTRACT

La directiva 2010/31/UE definió de forma genérica los aspectos básicos de un nuevo tipo de edificio de bajo consumo energético con el objetivo de adaptar de forma paulatina el sector de la construcción hacia un menor consumo energético y de reducción drástica de emisiones de gases de efecto invernadero. En síntesis, estos principios son: la limitación de la demanda energética del edificio, maximizar el uso de energías renovables y la generación próxima al edificio de dicha energía.

Durante los primeros años del siglo y especialmente a partir de su segunda década, se han construido una serie de edificios en todo el mundo, y especialmente en Europa, que han querido ir más allá de la regulación normativa del momento y adelantarse a su tiempo. Estos años de experiencia los podemos considerar como la primera generación de los EECN tras su definición por la normativa europea. Durante este tiempo se han proyectado, construido y puesto en funcionamiento un número importante de edificios guiados por este paradigma y se han etiquetado bajo un amplio número de adjetivos como sostenibles, bioclimáticos, de alta eficiencia energética, verdes, pasivos, de cero emisiones, ecotecnológicos etc., que responden a una serie de objetivos comunes en el sentido amplio, aunque con matices en cada caso. Muchos de estos proyectos fueron anunciados y presentados como verdaderamente revolucionarios y paradigmáticos, con ahorros energéticos insólitos y extraordinarios.

La investigación parte del hecho de la curiosidad de contrastar si en la realidad se han cumplido las expectativas anunciadas, en aprender de las estrategias más exitosas y también de los posibles errores, ya que al fin y al cabo el objetivo de los EECN parte de la capacidad para implementar mejoras graduales basadas en el conocimiento y las posibilidades tecnológicas de cada tiempo.

El presente artículo presenta el estado del arte de los edificios EECN y de alta eficiencia energética, analizando los diferentes tipos y criterios que se manejan actualmente.

Tomando como referencia los estudios internacionales más relevantes realizados hasta la fecha se propone un método para la comparación de EECN y su evaluación basada en criterios recogidos en la literatura científica. Se presentan las particularidades y el estado del arte de los edificios con usos de oficina y corporativos EECN.

En aplicación de este método de análisis de EECN aplicado a un clima y uso concreto, se presenta el caso de estudio del edificio Zero de Orona Ideo. Se hace especial mención a las medidas de diseño pasivo y bioclimático adoptadas para la reducción de la demanda y a la integración de las instalaciones energéticas. Se presentan y analizan los datos reales y de funcionamiento obtenidos durante los años 2014-16, durante los cuales se ha ido optimizando el funcionamiento del edificio y se ido discriminando los diferentes consumos que en él se producen.

Keywords. EECN, caso de estudio, datos reales, edificio Zero, NZEB, case study, real data, Zero building.

1. Arquitecto. Doctorando de la Universidad del Pais Vasco. xabier.barrutieta@ehu.eus

1. Introducción

1.1. Paradigma y marco normativo

Normativas Europeas

Las directivas europeas sobre la eficiencia energética en edificación marcan la necesidad de reducir las emisiones de CO2 producidas por el sector de la construcción de forma cada vez más estricta.

La directiva 2010/31/UE definió de forma genérica los aspectos básicos de un nuevo tipo de edificio de bajo consumo energético con el objetivo de adaptar de forma paulatina el sector de la construcción hacia un menor consumo energético y de reducción drástica de emisiones de gases de efecto invernadero. En síntesis, estos principios son la limitación de la demanda energética del edificio, maximizar el uso de energías renovables y la generación próxima al edificio de dicha energía.

Según la Directiva 2010/31/UE serán los edificios públicos los primeros en tener que adoptar esta regulación de manera ejemplarizante. Los estados miembros deben reducir la demanda de calefacción y refrigeración de sus edificios, tanto los de nueva construcción como los existentes para conseguir llegar al estándar EECN con un objetivo temporal concreto: 2019 para los edificios en propiedad u ocupados por la administración pública y 2021 para todos los nuevos edificios.

A nivel nacional cada uno de los estados miembros debe transponer las directivas a la normativa nacional. En el caso español se ha transpuesto a través del Código Técnico de la Edificación y de los sucesivos decretos. La última modificación fue en el año 2013 y se espera una nueva modificación para el año 2017, que deberá marcar las pautas definitivas para alcanzar el objetivo de los Edificios de Energía Casi Nula. La gran diferencia respecto de otros estados miembros es que no se ha definido un estándar con parámetros concretos de EECN. No faltan motivos para no haberlo hecho, ya que la diversidad climática de la geografía estatal hace difícil establecer un solo umbral de demanda para todos los edificios. Ello conlleva, entre otros, a que la demanda de calor en los edificios en general no resulta en un porcentaje tan relevante del consumo energía final como es el caso de otros países más septentrionales de Europa.

1.2. Motivación

Estos primeros años de experiencia los podemos considerar como la primera generación de los EECN tras su definición por la normativa europea. Durante este tiempo se han proyectado, construido y puesto en funcionamiento un número importante de edificios guiados por este paradigma. Estos edificios se han etiquetado bajo un amplio número de adjetivos como sostenibles, bioclimáticos, de alta eficiencia energéti-

1. Introduction

1.1. Paradigm and regulatory framework

European regulations

The European directives on the energy efficiency in building mark the need to reduce the emissions of CO2 produced by the construction sector in an increasingly strict way.

Directive 2010/31 / EU defined in general terms the basic aspects of a new type of low energy building with the aim of gradually adapting the construction sector towards a lower energy consumption and a drastic reduction of gas emissions Of greenhouse effect. In summary, these principles are the limitation of the energy demand of the building, to maximize the use of renewable energies and the generation next to the building of this energy.

According to Directive 2010/31 / EU public buildings are the first to have to adopt this regulation in an exemplary way. Member States should reduce heating and cooling demand for their new and existing buildings in order to achieve the EECN standard with a specific time objective: 2019 for buildings owned or occupied by the public administration and 2021 for All new buildings.

At the national level, each of the member states must transpose the directives into national legislation. In the Spanish case it has been transposed through the Technical Building Code and successive decrees. The last modification was in 2013 and a new modification is expected for the year 2017, which should set the final guidelines to reach the goal of Almost Null Energy Buildings. The big difference with respect to other member states is that no standard has been defined with concrete parameters of EECN. There is no shortage of reasons for not doing so, since the climatic diversity of the state geography makes it difficult to establish a single demand threshold for all buildings. This implies, among others, that the demand for heat in buildings in general does not result in a relevant percentage of final energy consumption, as is the case in other more northern European countries.

1.2. Motivation

These first years of experience can be considered as the first generation of the NZEB after its definition by the European norm. During this time a significant number of buildings guided by this paradigm have been projected, constructed and put into operation. These buildings have been labeled under a large number of adjectives such as sustainable, bioclimatic, high energy efficiency, green, passive, zero emissions, ecotechnology etc., which respond to a series of common

ca, verdes, pasivos, de cero emisiones, ecotecnológicos etc., que responden a una serie de objetivos comunes en el sentido amplio, aunque con matices en cada caso. Muchos de estos proyectos fueron anunciados y presentados como verdaderamente revolucionarios y paradigmáticos, con ahorros energéticos insólitos y extraordinarios.

La investigación parte del hecho de la curiosidad de contrastar si en la realidad se han cumplido las expectativas anunciadas, en aprender de las estrategias más exitosas y también de los posibles errores. Al fin y al cabo no hay milagros, y el objetivo de los EECN parte de la capacidad para implementar mejoras graduales basadas en el conocimiento y las posibilidades tecnológicas de cada tiempo.

Primera generación EECN

En los últimos años son cada vez más los edificios EECN que se han construido por el mundo, en multitud de climas, entornos culturales y sociales diversos. Especialmente a partir de la segunda década del siglo XXI, se han construido una serie de edificios en todo el mundo, que han querido ir más allá de la regulación normativa del momento y adelantarse a su tiempo implementando a su situación el concepto EECN y desarrollando sus posibilidades de forma integral.

El término de "Primera generación de EECN" se acuña para denominar a los edificios construidos en la etapa correspondiente desde 2010 a 2018, es decir, desde la publicación de la primera Directiva Europea de referencia en este campo hasta la primera fecha propuesta para la consecución de este objetivo gradual de EECN.

Simulación y realidad

Existen numerosas publicaciones sobre la temática de los EECN, pero la mayoría de esos estudios se basan en teoría y simulaciones. En este contexto, se echa de menos una lectura crítica sobre la fase de operaciones de esos edificios que presente el grado de satisfacción de las soluciones de diseño adoptadas y su eficacia[1].

En cada edificio la literatura destaca ciertos aspectos relativos a su diseño pasivo, indicadores energéticos, fuentes renovables de energía etc. pero no resulta fácil obtener la visión de conjunto del planteamiento del edificio.

Aunque existen varios estudios comparativos con metodologías propias en este campo, se echa en falta una metodología común para poder evaluar los edificios de forma transversal, sobre unos criterios claros en cuanto al modelo de EECN que se persigue.

1 Zhou, Z., Feng, L., Zhang, S., Wang, C., Chen, G., Du, T., . . . Zuo, J. (2016). The operational performance of "net zero energy building": A study in china. ***Applied Energy, 177***, 716-728. doi:10.1016/j.apenergy.2016.05.093

objectives in the broad sense, although with nuances in each case. Many of these projects were announced and presented as truly revolutionary and paradigmatic, with unusual and extraordinary energy savings.

The investigation starts from the fact of the curiosity to contrast if in reality the announced expectations have been fulfilled, in learning of the most successful strategies and also of the possible errors. After all, there are no miracles, and the objective of the EECN is based on the ability to implement gradual improvements based on the knowledge and technological possibilities of each time.

First NZEB generation

In recent years, more and more ZEB buildings have been built around the world, in many climates, diverse cultural and social environments. Especially since the second decade of the 21st century, a series of buildings have been built all over the world, which have tried to go beyond the normative regulation of the moment and to anticipate their time by implementing the NZEB concept and developing their Possibilities in an integral way.

The term "First generation of NZEB" is coined to denote buildings constructed in the corresponding stage from 2010 to 2018, ie from the publication of the first European Directive in this field until the first proposed date for the achievement of this gradual goal of NZEB.

Simulation and reality

There are numerous publications on the subject of NZEB, but most of these studies are based on theory and simulations. In this context, a critical reading of the operational phase of these buildings is lacking, showing the degree of satisfaction of the design solutions adopted and their effectiveness. [1]

In each building the literature highlights certain aspects related to its passive design, energy indicators, renewable energy sources etc. But it is not easy to obtain the overall view of the building's approach.

Although there are several comparative studies with their own methodologies in this field, a common methodology is lacking in order to be able to evaluate the buildings in a transversal way, on clear criteria regarding the NZEB model that is pursued.

1 Zhou, Z., Feng, L., Zhang, S., Wang, C., Chen, G., Du, T., . . . Zuo, J. (2016). The operational performance of "net zero energy building": A study in china. Applied Energy, 177, 716-728. doi:10.1016/j.apenergy.2016.05.093

Selección de casos de estudio comparables

En los edificios de Energía Casi Nula la demanda energética del edificio está estrechamente ligada a su situación geográfica y climática. Existen varios factores relevantes como las soluciones tanto de diseño pasivo como activo, el mix energético instalado y las soluciones constructivas, que deben ser estudiadas y comparadas en el marco de unas condiciones climáticas concretas.

En el caso del clima del Pais Vasco es un aspecto que necesita ser investigado más en profundidad porque la documentación sobre casos de estudio documentados es muy escasa. En este sentido, también sería deseable contar con casos de estudio EECN, que estando en otras latitudes geográficas, pudieran ser comparables por su similar demanda y prestaciones en base a ciertas tipologías concretas de edificios.

3. Estado del arte EECN. Edificios corporativos

3.1. Tipos de EECN

En la actualidad se nombran de forma habitual muchos tipos de edificios EECN con adjetivos similares que hacen referencia a una filosofía de edificio respetuoso con el medio ambiente, pero que en el detalle pueden ser muy diferentes. Existen publicaciones de referencia que aclaran estos conceptos y definiciones[2] pero cada organismo, país o entidad tiende a tomar como referencia diferentes modelos bajo una misma etiqueta global EECN, lo cual hace complicado poder comparar casos de estudio de forma equilibrada sin entrar en el detalle. A continuación se hace una breve descripción de los más habituales:

Net Zero Energy Buildings
Los Net Zero Energy Buildings se refieren a edificios que son capaces de crear toda la energía que consumen durante un periodo de tiempo concreto. Este periodo de medición puede ser mensual, semanal, horario, etc.[3] pero se considera habitualmente de un año solar, ya que este balance permite compensar la demanda de energía no cubierta durante el periodo invernal con energía de exceso generada durante los periodos de mayor radiación solar. Para poder realizar este balance neto, es condición necesaria la existencia de una conexión a la red eléctrica contra la cual poder establecer el vertido de la energía sobrante y consumir energía eléctrica en los periodos de demanda. Por tanto, un edificio Net ZEB es aquél que demanda anualmente la misma energía o me-

2 Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourrelle, J. S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I., & Napolitano, A. (2011). Zero energy building – A review of definitions and calculation methodologies. ***Energy & Buildings, 43***(4), 971-979. doi:10.1016/j.enbuild.2010.12.022

3 Aelenei, L., & Gonçalves, H. (2014). From solar building design to net zero energy buildings: Performance insights of an office building. ***Energy Procedia, 48***, 1236-1243. doi://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.02.140

Selection of comparable case studies

In nearly zero energy buildings energy demand of the building it is closely linked to its geographical and climatic situation. There are several relevant factors such as the passive and active design solutions, the installed energy mix and the constructive solutions that must be studied and compared in the context of specific climatic conditions.

In the case of the Basque Country climate is an aspect that needs to be investigated more in depth because the documentation on documented case studies is very scarce. In this sense, it would also be desirable to have NZEB case studies, which, being in other geographic latitudes, could be comparable by their similar demand and performance based on certain concrete typologies of buildings.

3. NZEB state of the art. Corporate buildings

3.1. Types of NZEB

Currently, many types of NZEB buildings with similar adjectives refer to an environmentally friendly building philosophy, but in detail they can be very different. There are reference publications that clarify these concepts and definitions, but each agency, country or entity tends to refer to different models under the same global NZEB label, making it difficult to compare case studies in a balanced way without going into detail. Below is a brief description of the most common:

Net Zero Energy Buildings
Net Zero Energy Buildings refer to buildings that are able to create all the energy they consume over a given period of time. This measurement period can be monthly, weekly, hours, etc. But is usually considered a solar year, since this balance allows to compensate the demand of uncovered energy during the winter period with excess energy generated during the periods of greater solar radiation. To be able to realize this net balance, it is necessary condition the existence of a connection to the electrical network against which to be able to establish the discharge of the surplus energy and to consume electrical energy in the periods of demand. Therefore, a Net ZEB building is one that requires annually the same or less energy than it is able to produce locally through renewable energy.

In some calculation methods, absolutely all energy entering the building is considered, while others are subtracted from the energy of appliances and other elements of use that are outside the operation of the building itself. It can also be the case that the building produces in this balance more energy than it consumes, so it would become a Positive Energy Building.

nos de la que es capaz de producir localmente a través de energías renovables.

En algunos métodos de cálculo se considera absolutamente toda la energía que entra en el edificio, mientras que otros se resta la energía de los electrodomésticos y otros elementos de uso ajenos al funcionamiento del propio edificio. También se puede dar el caso de que el edificio produzca en este balance más energía de la que consume, por lo que pasaría a ser un Edificio de Energía Positiva.

Net Zero Emission Buildings
Este tipo de edificios priorizan la no emisión de gases de efecto invernadero por combustión de fósiles en la propia parcela. Habitualmente se pueden considerar "All Electric Buildings", ya que toda la energía demandada proviene de la red. Son edificios adecuados en lugares donde se dispone de mucha energía eléctrica de origen renovable, ya que si esa energía proviene de fuentes no renovables su efectividad medioambiental sería más que cuestionable. Se podrían tomar en consideración también otra serie de cuestiones como que el calentamiento de espacios habitables utilizando la electricidad como fuente principal presenta la ventaja de evitar emisiones en el edificio, pero hace que la energía primaria necesaria sea alta por los costes de transformación implícitos. De todas formas, sistemas de acondicionamiento como la aerotermia han conseguido que esta tipología sea tomada cada vez más en consideración.

Nearly Zero Energy Buildings
Los Nearly Zero Energy buildings o EECN se definen a través de unos criterios más cualitativos:
- Tener una muy baja demanda energética, lo que incluye un adecuado diseño bioclimático del edificio y de la envolvente.
- Cubrir con energías renovables la mayor demanda posible del edificio.
- Producir esta energía lo más cerca posible del edificio. Esto implica la necesidad de buscar formas de integración efectiva de renovables en el propio edificio o parcela.

Esta definición deja la puerta abierta a que en el caso de Europa cada estado miembro pueda definir sus objetivos a nivel nacional y así buscar la manera más adecuada de conseguir los objetivos propuestos. En este sentido el "cost-optimal balance" entre los costes de energía y las inversiones son un elemento importante a tener en cuenta, ya que la situación de partida y los recursos energéticos disponibles pueden ser muy dispares.

3.2. Edificios Corporativos EECN

Consideraciones sobre su tipología

Los casos de estudio seleccionados para esta investigación son edificios de uso no residencial, dedicados al uso de oficinas o corporativo. Estos edificios

Net Zero Emission Buildings
These types of buildings prioritize the non-emission of greenhouse gases by burning fossils in the plot itself. Usually they can be considered "All Electric Buildings", since all the energy demanded comes from the network. They are suitable buildings in places where there is much electrical energy of renewable origin, since if that energy comes from nonrenewable sources their environmental effectiveness would be more than questionable. A number of other issues could also be taken into account, such as that the heating of living spaces using electricity as the main source has the advantage of avoiding emissions in the building but makes the necessary primary energy high because of the implicit transformation costs. However, conditioning systems such as air-thermics have succeeded in making this typology increasingly taken into consideration.

Nearly Zero Energy Buildings
Nearly Zero Energy buildings are defined through more qualitative criteria:
- They have a very low energy demand, which includes an adequate bioclimatic design of the building and the envelope.
- They cover with renewable energies the greater possible demand of the building.
- They produce this energy as close to the building as possible. This implies the need to look for forms of effective integration of renewables in the building or plot.

This definition leaves the door open so that in the case of Europe each member state can define its objectives at national level and thus find the most appropriate way to achieve the proposed objectives. In this sense the "cost-optimal balance" between energy costs and investments are an important element to take into account, since the starting situation and available energy resources can be very different.

3.2. NZEB corporative buildings

Considerations about its typology

The case studies selected for this research are non-residential buildings, dedicated to office or corporate use. These buildings have the singularity of being the most energy consuming together with educational and educational buildings.

Its use is mainly daytime and coincides with periods of solar radiation. This fact represents a substantial difference with respect to other typologies, since it allows to couple the hours availability of solar radiation to the hours of greater demand of thermal and electrical energy of the building. The deferred demand that occurs in residential buildings in the night periods is not a problem in this case. This factor means, a priori,

tienen la singularidad de ser los que más energía consumen junto con los edificios educativos y docentes.

Su uso es principalmente de día y coincide con los periodos de radiación solar. Este hecho representa una diferencia sustancial respecto a otras tipologías, ya que permite acoplar las horas disponibilidad de radiación solar a las horas de mayor demanda de energía térmica y eléctrica del edificio. La demanda diferida que se produce en los edificios residenciales en los periodos nocturnos no es un problema en este caso. Este factor significa, a priori, que la energía proveniente de fuentes solares renovables es más fácilmente integrable que en otro tipo de edificios.

Selección de casos de estudio de referencia para el País Vasco

Los casos de estudio disponibles en la literatura son mayoritariamente de climas del norte de Europa, donde la demanda de calefacción es la dominante. Hoy en día también existen unos cuantos ejemplos documentados de edificios en la zona sur de Europa donde se disfruta de un clima más templado, como es la región mediterránea. En estos países dominados por la necesidad de refrigeración frente a otras demandas deben tener en cuenta otras estrategias como la inercia, la masa y los efectos de retardo temporal en el comportamiento de la envolvente del edificio.[4]

Existe una zona intermedia, donde se sitúa el País Vasco, con un clima atlántico que es diferente a los climas del norte de Europa y al clima mediterráneo cálido. Este clima mixto hace que las estrategias de diseño pasivo y bioclimático, así como los sistemas energéticos empleados sean diferentes a los anteriores casos.

Para poder realizar una segmentación de los casos de estudio según su zona climática algunos estudios como el Towards Zero Energy Solar Buildings[5] que ha identificado más de 200 casos de estudio de EECNs y los ha geoposicionado en un mapa global[6]. Resulta interesante observar que su clasificación no ha sido estrictamente en base a su zona climática geográfica, sino que han optado por hacerlo en referencia al % de demanda entre calefacción y refrigeración. De esta forma los proyectos se identifican en cuanto a si están dominados por la refrigeración, por la calefacción o por la combinación de ambos. Estos casos de estudio se agrupan en cuanto a su uso contemplando si son de uso residencial o no, de tal forma que los de referencia

4 Ascione, F., Bianco, N., Böttcher, O., Kaltenbrunner, R., & Vanoli, G. P. (2016). ***Net zero-energy buildings in germany: Design, model calibration and lessons learned from a case-study in berlin*** doi:10.1016/j.enbuild.2016.10.019

5 Definition of common principles, & under the, E.***Towards nearly zero- energy buildings***

6 Elke Mussal.Net zero energy buildings - worldwide. Retrieved from ‹a href='http://batchgeo.com/map/net-zero-energy-buildings' target='_blank'›http://batchgeo.com/map/net-zero-energy-buildings‹/a›

that energy from renewable solar sources is more easily integrated than in other types of buildings.

Selection of reference case studies for the Basque Country

The case studies available in the literature are mostly from northern European climates, where the demand for heating is dominant. Today there are also a few documented examples of buildings in southern Europe where you can enjoy a more temperate climate, such as the Mediterranean region. In these countries dominated by the need for cooling versus other demands must take into account other strategies such as inertia, mass and effects of temporary delay in the behavior of the building envelope.

There is an intermediate zone, where the Basque Country is situated, with an Atlantic climate that is different to the climates of northern Europe and the warm Mediterranean climate. This mixed climate makes the strategies of passive and bioclimatic design, as well as the energy systems employed, different from previous cases.

In order to segment the case studies according to their climatic zone, some studies, such as the Towards Zero Energy Solar Buildings[2] which has identified more than 200 NZEBs case studies and has mapped them on a global map [3]. It is interesting to note that their classification has not been strictly based on their geographical climatic zone, but they have chosen to do so in reference to the% demand between heating and cooling. In this way projects are identified as to whether they are dominated by refrigeration, heating or the combination of both. These case studies are grouped in terms of their use contemplating whether they are of residential use or not, so that the reference for this research concerning corporate buildings turn out to be non-residential. In this case they are valid as a reference:

1- Pixel Building, AU
2- Eithis Tower, FR
3- Green Office, FR
4- Meridian, NZ
5- Solar XXI, PT
6- Circe, ES

Life cycle and operation phase

From the point of view of the life cycle analysis, the NZEB aims to reduce energy demand to the maximum and therefore it can be hypothesized

2 Definition of common principles, & under the, E.***Towards nearly zero- energy buildings***

3 Elke Mussal.Net zero energy buildings - worldwide. Retrieved from ‹a href='http://batchgeo.com/map/net-zero-energy-buildings' target='_blank'›http://batchgeo.com/map/net-zero-energy-buildings‹/a›

rencia para esta investigación relativa a los edificios corporativos resultan ser los no residenciales. En este caso son válidos como referencia:

1- Pixel Building, AU
2- Eithis Tower, FR
3- Green Office, FR
4- Meridian, NZ
5- Solar XXI, PT
6- Circe, ES

Ciclo de vida y fase de operación

Desde el punto de vista del análisis del ciclo de vida, los EECN tienen como objetivo reducir al máximo la demanda de energía y por lo tanto se puede plantear la hipótesis de que considerando el ciclo de vida completo del edificio la parte de la operación pierde peso frente a la energía embebida en el edificio. Sin embargo el estudio realizado sobre 60 edificios tanto convencionales como EECN corrobora que la fase de operación de los edificios sigue siendo la que tiene mayor impacto considerando todo el ciclo de vida del edificio.[7]

4. Caso de estudio en el País Vasco. Edificio Zero

4.1. Un edificio integrado en un conjunto. Célula Urbana.

El edificio Zero se sitúa el campus Orona Ideo, que es el proyecto tractor de la ampliación del Parque Tecnológico de San Sebastián en Hernani (Spain. El conjunto de edificios destaca por ser un espacio de fusión entre diferentes actividades sinérgicas: la empresa, los centros tecnológicos y las universidades.

Orona Ideo es un referente en cuanto a la puesta en práctica de la filosofía de los EECN (Nearly Zero Energy Building) ya que aborda el diseño conjunto de varios edificios, infraestructuras y espacios urbanos para crear un Campus integrado bajo la filosofía, que consiste en buscar la máxima eficiencia energética en los edificios, abastecerse de energías renovables y generar estas energías dentro de su propio entorno. Se han potenciado al máximo las estrategias pasivas de diseño arquitectónico como las cubiertas y fachadas verdes, el uso de las aguas pluviales, la generación local de energía renovable y la integración de las superficies captadoras de energía solar en el diseño de los edificios.

4.2. Diseño arquitectónico bioclimático y energéticamente eficiente

Este edificio alberga la sede corporativa de la empresa y su centro de investigación. Su forma se inspira en

7 Sartori, I., & Hestnes, A. G. (2007). Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. ***Energy and Buildings, 39***(3), 249-257. doi://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.07.001

that considering the complete life cycle of the building the part of the operation loses weight In front of the energy embedded in the building. However, the study of 60 conventional buildings and NZEB corroborates that the phase of operation of buildings remains the one that has the greatest impact considering the entire life cycle of the building.[4]

4. Case study in the Basque Country. Zero Building

4.1. A building as part of an ensemble. Urban Cell

The Zero building is the Orona Ideo campus, which is the project to expand the San Sebastián Technological Park in Hernani (Spain). The complex of buildings stands out as a space of fusion between different synergistic activities: the company, the centers And universities.

Orona Ideo is a benchmark in the implementation of the philosophy of the Nearly Zero Energy Building (NZEB) as it addresses the joint design of various buildings, infrastructures and urban spaces to create an integrated Campus under the philosophy, consisting of To seek the maximum energy efficiency in the buildings, to obtain of renewable energies and to generate these energies within its own surroundings. Passive strategies of architectural design such as green roofs and facades, the use of rainwater, the local generation of renewable energy and the integration of the solar energy collecting surfaces in the design of the buildings have been maximized.

4.2. Bioclimatic and energy efficient architectural design

This building houses the corporate headquarters of the company and its research center. Its shape is inspired by the circle, a constant in the brand image of the company, and its symbolic image seeks to convey elegance, strength and elevation through an abstract formal gesture: a hollow cylinder 90m in diameter and 16 meters high , Inclined 15ºs on the horizontal.

The fit of the program of uses of the building is closely linked with the bioclimatic concepts taken into account in its architectural design and in particular the orientation of the same. The Zero building is mainly dedicated to offices, and therefore has large internal loads produced by its occupants and the density of electronic equipment that dissipates heat. The workspaces are located

4 Sartori, I., & Hestnes, A. G. (2007). Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. ***Energy and Buildings, 39***(3), 249-257. doi://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.07.001

el círculo, una constante en la imagen de marca de la empresa, y su imagen simbólica busca transmitir elegancia, fortaleza y elevación a través de un gesto formal abstracto: un cilindro hueco de 90m de diámetro y 16 metros de altura, inclinado 15ºs sobre la horizontal.

El encaje del **programa de usos del edificio** está estrechamente ligado con los conceptos bioclimáticos tenidos en cuenta en su diseño arquitectónico y en particular a la orientación del mismo. El edificio Zero es está dedicado principalmente a oficinas, y por tanto, tiene grandes cargas internas producidas por sus ocupantes y por la densidad de equipamiento electrónico que disipa calor. Los espacios de trabajo se sitúan próximos a la fachada exterior del edificio, que es principalmente orientación norte, con el objetivo de permitir una generosa entrada de luz natural a la zona de las oficinas y minimizar las ganancias por radiación solar, que en este lugar resultan poco confortables porque producen deslumbramientos y aumentan la demanda de refrigeración.

En la fachada interior del cilindro se sitúa galería en forma de anillo que distribuye los flujos de las personas y mira sobre el vacío central de edificio. Este es un espacio de carácter más social donde se producen las principales circulaciones dentro del edificio y la captación solar es bienvenida. La radiación incidente en esta fachada sur es más directa durante el invierno y hace que este espacio se comporte como un gran captador térmico que comunica todas las plantas y llega hasta la zona superior del edificio.

Envolvente

La fachada curva está compuesta por pixeles triangulares que caracterizan la imagen del edificio. A través de la aplicación de un patrón bioclimático paramétrico se ha estudiado la radiación incidente en las diversas fachadas del edificio, con la singularidad de que, al no disponer de fachadas planas, se generan unos gradientes de situación ante los cuales el diseño de la envolvente debe adaptarse en cada punto.

A través del ejercicio de superposición de estas variantes sobre el desarrollo de la fachada, y teniendo en cuanta la transmitancia global y un umbral de referencia para las pérdidas térmicas, se genera un diseño global donde no hay ningún patrón repetitivo para las fachadas exterior e interior, cada una con un ratio diferente de huecos y opacos. En el cómputo global se dispone de aproximadamente un 40% de triángulos transparentes, 40% de opacos y 20% de translúcidos. Los módulos opacos disponen de un aislamiento térmico adicional que permite mejorar la transmitancia térmica del conjunto del sistema, que llega a un valor U de 1,2 W/m2K.

Su forma cilíndrica se orienta al sur disponiendo su cubierta como una fachada captadora de energía que genera el edificio con su inclinación de 15º.

near the exterior facade of the building, which is mainly north orientation, with the aim of allowing a generous entrance of natural light to the office area and minimizing the gains by solar radiation, which in this place result Uncomfortable because they produce glare and increase the demand for refrigeration.

On the inner façade of the cylinder stands a ring-shaped gallery that distributes the flows of people and looks at the central void of the building. This is a space of more social character where the main circulations are produced inside the building and the solar reception is welcome. The radiation incident on this southern façade is more direct during the winter and makes this space behave like a large thermal sensor that communicates all the plants and reaches the upper area of the building.

Envelope

The curved facade is composed of triangular pixels that characterize the image of the building. Through the application of a parametric bioclimatic pattern has been studied the incident radiation in the various facades of the building, with the singularity that, due to the lack of flat façades, situational gradients are generated before which the design of the envelope Must be adapted at each point.

Through the exercise of superimposition of these variants on the development of the facade, and taking into account the global transmittance and a reference threshold for thermal losses, a global design is generated where there is no repetitive pattern for the exterior and interior façades , Each with a different ratio of voids and opaque. In the global computation there are approximately 40% transparent triangles, 40% opaque and 20% translucent. The opaque modules have an additional thermal insulation that improves the thermal transmittance of the whole system, which reaches a value U of 1.2 W / m2K.

Its cylindrical shape is oriented to the south, having its roof as an energy collecting facade that generates the building with its inclination of 15º. This allows radiation to penetrate the pedestrian central space of the patio and reduce work areas exposed to direct radiation that are located on the exterior facade. In the plane of the roof an optimum integration of the photovoltaic panels is achieved in terms of their angle of incidence and also the main view of the south façade of the building is configured through these elements.

4.3. Energy generation

In Orona Ideo, the energy concept is based on the premise of making the most of District Heat-

Esto permite que la radiación penetre al espacio central peatonal del patio y reduce las zonas de trabajo expuestas a la radiación directa que se sitúan en la fachada exterior. En el plano de la cubierta se consigue una óptima **integración de las placas fotovoltaicas** en cuanto a su ángulo de incidencia y además se configura la vista principal de la fachada sur del edificio a través de estos elementos.

4.3. Generación de energía

En Orona Ideo el concepto energético se asienta sobre la premisa de aprovechar al máximo la instalación de District Heating-Cooling del conjunto, que se alimenta de varias fuentes de energía 100% renovables situadas en la propia parcela y que tienen la siguiente potencia instalada:

Calefacción:
- Calderas de biomasa 2x 600 kW
- Bombas de calor geotermia: 194 kW
- Instalación solar térmica: 90 kW

Refrigeración:
- Bombas de frío geotermia: 154 kW
- Máquina de frío por absorción: 176 kW

El dimensionamiento de los sistemas renovables se ha realizado con el objetivo de que el número de horas en las que estas energías sean efectivas sea máximo; dando prioridad a la geotermia, después la solar térmica y finalmente la biomasa.

En esta central térmica centraliza la producción de Frío y Calor que se distribuye a cada uno de los edificios. Los accesos peatonales, los de combustible para el suministro de la biomasa y el trazado de las chimeneas se diseñan conjuntamente con los edificios existentes logrando integrarlos en el diseño global.

Anillo térmico de baja temperatura

El anillo de calor es a media temperatura (45-55C) y permite dar servicio al suelo radiante y a los fancoils. La decisión de optar por un suelo radiante y refrescante como solución para aprovechar la energía renovable obtenida tiene un impacto directo en el diseño arquitectónico, por ejemplo, en la manera de acondicionar térmicamente los espacios de oficinas, que habitualmente cuentan con un suelo técnico elevado. En estos casos se ha optado por realizar unas espinas técnicas que a su pautan la organización de las superficies de suelo radiante y refrescante. La distribución de los espacios y los ámbitos de regulación climática se han diseñado de manera integrada con las instalaciones de los edificios. Los espacios de trabajo pueden funcionar cómo células de forma autónoma, ajustando y regulando sus áreas climatizadas, su iluminación etc.

ing-Cooling's installation, which is powered by several 100% renewable energy sources located on the plot and with the following installed power:

Heating:
- Biomass boilers 2x 600 kW
- Geothermal heat pumps: 194 kW
- Solar thermal installation: 90 kW

Refrigeration:
- Geothermal coolers: 154 kW
- Absorption cooler: 176 kW

The sizing of renewable systems has been done with the aim that the number of hours in which these energies are effective is maximum; giving priority to the geothermal, then the solar thermal and finally the biomass.

In this thermal power station it centralizes the production of Cold and Heat that is distributed to each one of the buildings. The pedestrian accesses, the fuels for the biomass supply and the layout of the chimneys are designed in conjunction with the existing buildings and integrated into the overall design.

Low temperature thermal ring

The heat ring is at medium temperature (45-55C) and allows service to the radiant floor and fancoils. The decision to opt for a radiant and refreshing floor as a solution to take advantage of the renewable energy obtained has a direct impact on the architectural design, for example, in the way of thermally conditioning the office spaces, which usually have a high technical floor. In these cases it has been opted to make a few technical thorns that to his plan the organization of surfaces of radiant and refreshing floor. The distribution of spaces and the areas of climate regulation have been designed in an integrated way with the facilities of the buildings. Workspaces can function as cells autonomously, adjusting and regulating their heated areas, their lighting etc.

Photovoltaic solar energy

Regarding the production of electricity inside the plot, the strategy has been to specialize one of the buildings, the Zero, as a solar energy collector through a well-oriented roof where the photovoltaic panels with an installed power of 230 KWp.

4.4. Energy performance data

The objective of carrying out this study with its own resources by the architectural design team of the project and the facility managers is to obtain applied and real knowledge about the adopt-

Energía solar fotovoltaica

En cuanto a la producción de electricidad dentro de la parcela, la estrategia ha consistido en especializar uno de los edificios, el Zero, como captador de energía solar a través de una cubierta bien orientada donde se integran los paneles fotovoltaicos con una potencia instalada de 230 kWp .

4.4 Datos de funcionamiento energético

El objetivo de realizar este estudio con medios propios por parte del equipo de diseño arquitectónico del proyecto y los facility managers es obtener conocimiento aplicado y real sobre las decisiones de proyecto adoptadas. Las conclusiones obtenidas servirán para la aplicación crítica de soluciones similares o evolucionadas en futuros proyectos donde el uso del edificio y sus condicionantes climáticos sean similares.

Este edificio forma parte de un conjunto de varios edificios diseñados de forma conjunta bajo un solo proyecto bajo un concepto de Campus.El conjunto de edificios entraron en funcionamiento en el año 2014 y ya se empezaron a obtener datos reales de su funcionamiento. A día de hoy ya se dispone de información sobre el funcionamiento del año 2015.

Central térmica de calor y frío

El proyecto se encuentra ubicado geográficamente en una zona templada que en la que tenemos una demanda de calor y frío en esta tipología de uso del edificio.

La humedad relativa juega un papel determinante a la hora de optar por la instalación de un suelo refrescante. En zonas más al sur de la península o el mediterráneo, donde la humedad relativa en épocas estivales no es alta tiene un muy buen comportamiento. En el País Vasco es necesario un control exhaustivo de la humedad para evitar condensaciones al alcanzar el punto de rocío. Por eso el País Vasco es una zona comprometida que no se sitúa en la zona fría del norte de Europa ni en la cálida del sur.

El dimensionamiento de los sistemas renovables se ha realizado con criterio de eficiencia económica en la generación de energía, dando prioridad a la geotermia, después la solar térmica y finalmente la biomasa.

Calor
En la producción de calor la biomasa es la fuente de generación de energía dominante con un 88% del total. La solar térmica con tubos de vacío representa un 5% de total y la geotermia un 7%. (Fig.1)

Frío
La geotermia tiene un peso muy importante a la hora de cubrir la demanda de frío. A través de este sistema se ha cubierto el **80%** del consumo total anual de frío y un 16% restante se cubre casi com-

ed project decisions. The conclusions obtained will serve for the critical application of similar or evolved solutions in future projects where the use of the building and its climatic conditions are similar.

This building is part of a set of several buildings designed jointly under a single project under a Campus concept.The set of buildings went into operation in the year 2014 and already began to obtain real data of its operation. To date, information on the functioning of the year 2015 is already available.

Heating and cooling station

The project is located geographically in a temperate zone where we have a demand for heat and cold in this typology of building use.

Relative humidity plays a decisive role when choosing to install a cooling floor. In areas further south of the peninsula or the Mediterranean, where relative humidity in summer is not high has a very good behavior. In the Basque Country an exhaustive control of the humidity is necessary to avoid condensation when reaching the dew point. That is why the Basque Country is a compromised area that is not located in the cold north of europe nor in the warm south.

The sizing of renewable systems has been made with criteria of economic efficiency in the generation of energy, giving priority to the geothermal, then the solar thermal and finally the biomass.

Heating
In the production of heat biomass is the dominant power generation source with 88% of the total. The solar thermal with tubes of vacuum represents 5% of total and the geothermal one 7%. (Fig. 1)

Cooling
Geothermal energy plays a very important role in meeting the demand for cold. Through this system has covered 80% of the total annual consumption of cold and a remaining 16% is covered almost completely by an absorption machine that allows to produce cold in summer from a supply of hot water produced by the solar panels Thermal. The chiller was only needed to cover 4% of the total cold demand. (Fig. 2)

Photovoltaic roof
Renewable electrical energy is produced through the integrated solar panels on the roof of the Zero building. The power installed the photovoltaic cover is 230 Kwp of polycrystalline plates. The annual energy output of the photovoltaic roof is 229,000 kWh and represents ap-

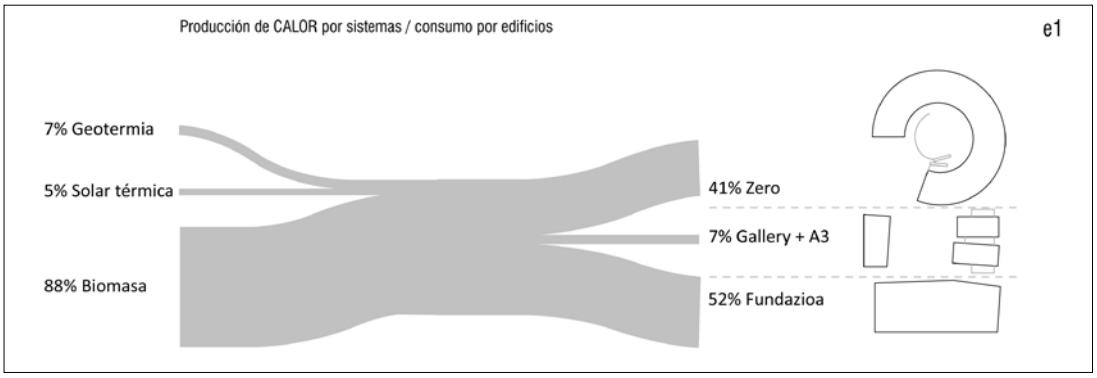


Fig. 1. Producción de calor por sistemas y consumos por edificios.
Production of heat by systems and consumption by buildings.

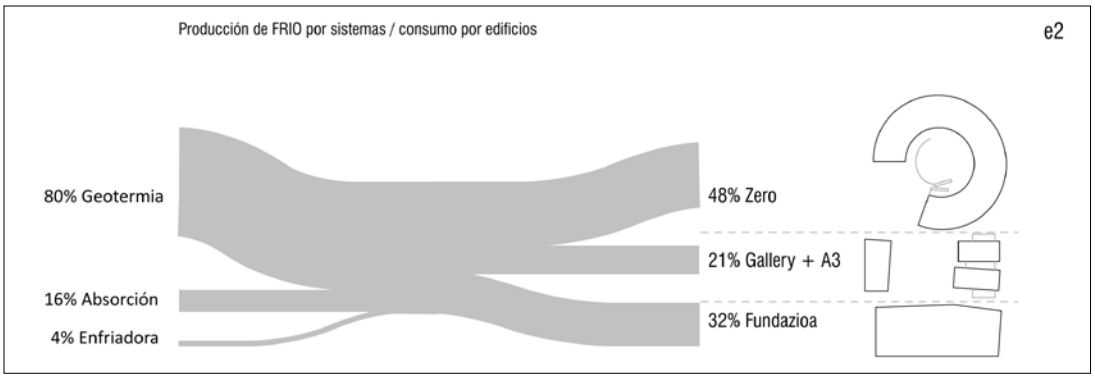


Fig. 2. Producción de frío por sistemas y consumos por edificios.
Cooling production by systems and consumption by buildings.

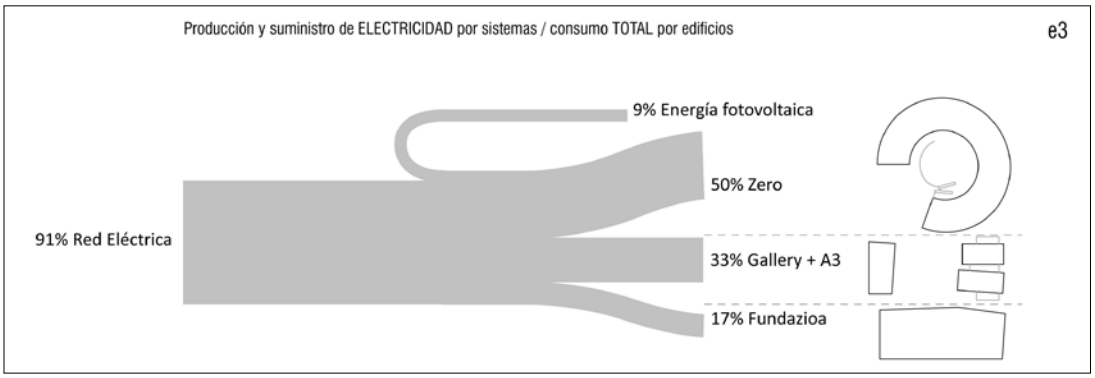


Fig. 3. Fuentes de generación y producción de electricidad y consumo total por edificios.
Sources of electricity generation and production and total consumption by buildings.

pletamente mediante una máquina de absorción que permite producir frío en verano a partir de un suministro del agua caliente que producen los paneles solares térmicos. La enfriadora ha sido necesaria solamente para cubrir el **4%** del frío total de la demanda. (Fig. 2)

Cubierta fotovoltaica

La energía eléctrica renovable se produce a través de las placas solar integradas en la cubierta del edificio Zero. La potencia instalada la cubierta fotovoltaica es de 230 Kwp de placas policristalinas. La producción anual de energía de la cubierta fotovoltaica es de 229.000 kWh y representa aproximadamente un 9% de la demanda total de energía de todo el Campus, que contempla todos los equipos consumidores de energía en un balance anual.

La demanda total anual de energía eléctrica para su acondicionamiento siguiendo las directrices de la directiva europea que considera (calefacción, refrigeración y ACS e iluminación en el caso de edificios de

proximately 9% of the total energy demand of the whole Campus, which contemplates all the equipment consuming energy in an annual balance.

The total annual demand for electrical energy for conditioning according to the directives of the European directive that considers (heating, cooling and ACS and illumination in the case of office buildings) of the Zero building is produced through the plates installed in its inclined roof, We can conclude that the energy produced through the sun means 130% of consumption, so Zero would be a building of positive energy. (Fig. 3)

4.5. Indicators of total energy consumption

In this part of the study has added all the energy consumption in kWh that has been during 2015 in Orona Ideo. It should be noted that the electric energy consumed represents 62% of all the energy consumed. This is due in large measure to the



Fig. 4. Total de energía anual consumida en Orona Ideo y consumos por tipos de energía por m^2 y año.
Total annual energy consumed in Orona Ideo and consumptions by energy type per m^2 and year.

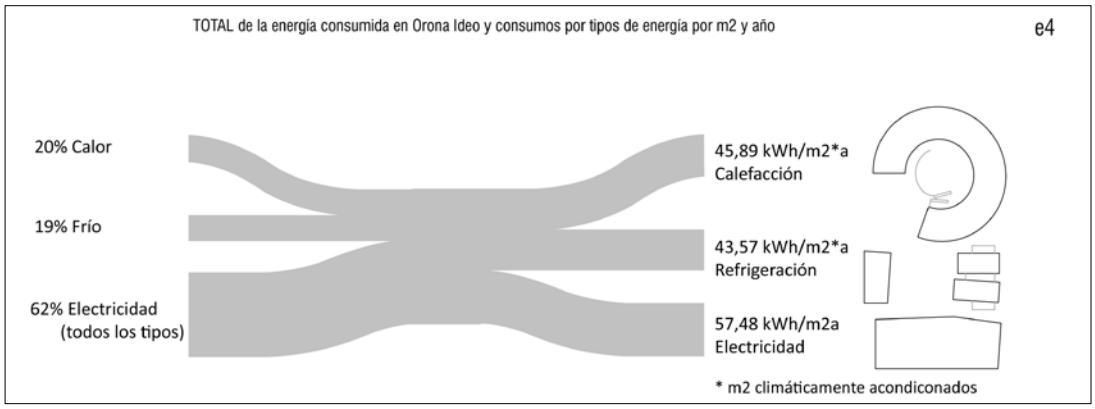


Fig. 5. Energía térmica total calor/frío generada, y la consumida por los edificios Zero y Fundazioa por m^2 y año.
Total thermal energy generated / heat generated, and that consumed by the Zero and Fundazioa buildings per m^2 and year.

oficinas)[1] del edificio Zero se produce a través de las placas instaladas en su cubierta inclinada, podemos concluir que la energía producida a través del sol significa el 130% del consumo, por lo que Zero sería un **edificio de energía positiva**. (Fig. 3)

4.5. Indicadores de consumo total de energía

En esta parte del estudio se ha sumado todos los consumos de energía en kWh que ha habido durante 2015 en Orona Ideo. Como dato cabe destacar que la energía eléctrica consumida representa el 62% de toda la energía consumida. Esto se debe en gran medida a la singularidad de las instalaciones de laboratorios, centro de control de datos etc. del propio proyecto.

Respecto a la energía térmica, el consumo medio total para el conjunto de toda la superficie climatizada de los edificios Orona Ideo ha sido de 45,89 kWh/m2a para calefacción y de 43,57 kWh/m2a para refrigeración. (Fig. 4)

Atendiendo al consumo por edificios resulta interesante realizar la comparativa entre Zero y Fundazioa. Se observa que Zero consume solo 35,74 kWh/m2a para calefacción frente a los 64,78 kWh/m2a de Fundazioa. Esta diferencia se debe en gran medida al aporte térmico como **captador solar pasivo** de la fachada sur del patio de Zero, y en cambio, el edificio no parece penalizado por el hecho de tener gran superficie de muro cortina con orientación norte. Ambos edificios

uniqueness of laboratory facilities, data control center etc. Of the project itself.

With respect to thermal energy, the total average consumption for the whole of the heated area of the Orona Ideo buildings was 45.89 kWh / m2a for heating and 43.57 kWh / m2a for cooling. (Fig. 4)

Considering the consumption by buildings is interesting to perform the comparison between Zero and Fundazioa. It is observed that Zero consumes only 35.74 kWh / m2a for heating compared to 64.78 kWh / m2a of Fundazioa. This difference is largely due to the thermal input as a passive solar collector of the southern façade of the Zero courtyard, and in contrast, the building does not seem penalized by the fact that it has a large north-facing curtain wall. Both buildings have a similar cold energy consumption of 39.91 and 37.17 kWh / m2a for Zero and Fundazioa respectively. (Fig. 5)

4.6. CO_2 emissions

Considering the entire energy generation mix, the only CO_2 emissions produced in Orona Ideo are those corresponding to the electricity consumption of the District Heating-Cooling facility itself. If the contribution of the Zero photovoltaic roof is taken into account, the emissions of the rest of the electric energy to cover the demand for Base Energy (heating, cooling, DHW and lighting) have been only 0.29 $kgCO_2$ / m^2 during the year 2015. (Fig. 6)

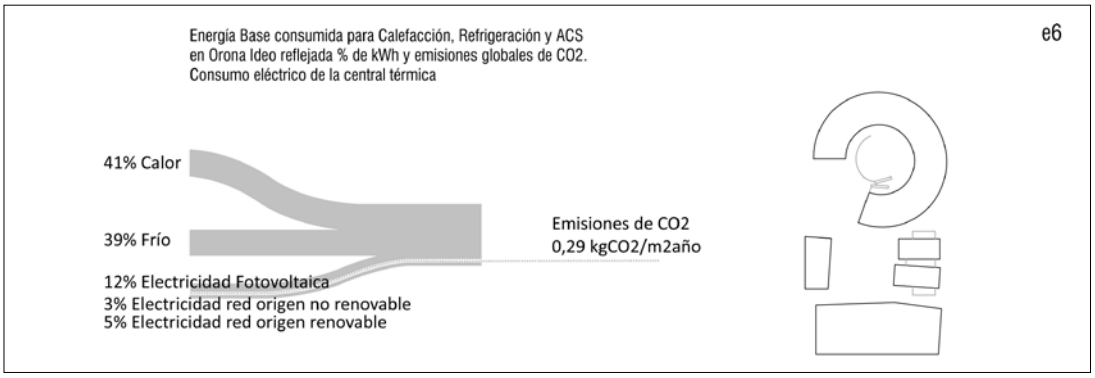


Fig. 6. Energía Base consumida en Orona Ideo reflejada en % de kWh y emisiones globales de CO_2.
Energy consumed in Orona Ideo reflected in% of kWh and global CO_2 emissions.

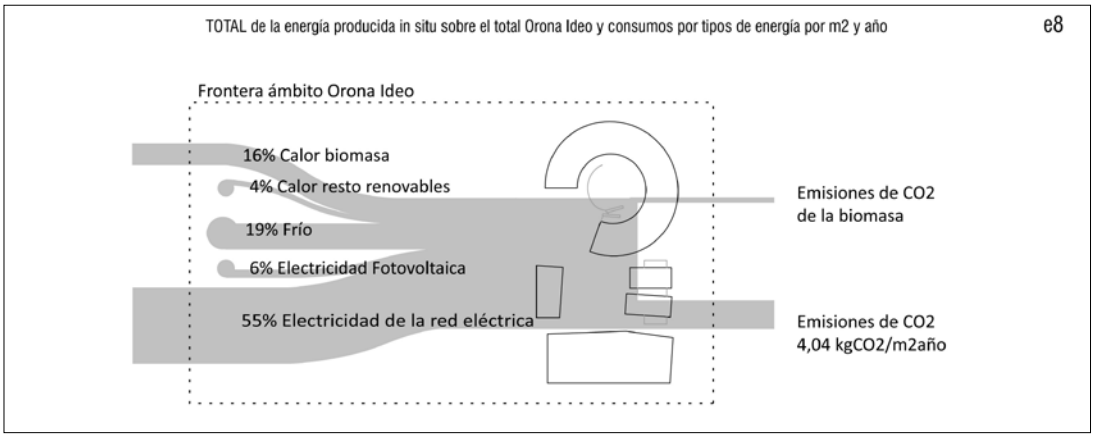


Fig. 7. Flujos de energía considerando la frontera del ámbito del proyecto.
Energy flows considering the boundary of the project scope.

tienen un consumo de energía similar de frío de 39,91 y 37,17 kWh/m2a para Zero y Fundazioa respectivamente. (Fig. 5)

4.6. Emisiones de CO_2

Considerando todo el mix de generación de energía, las únicas emisiones de CO2 que se producen en Orona Ideo son las correspondientes al consumo eléctrico de la propia instalación del District Heating-Cooling. Si se tiene en cuenta la aportación de la cubierta fotovoltaica de Zero, las emisiones del resto de energía eléctrica para cubrir la demanda de Energía Base (calefacción, refrigeración, ACS e iluminación) han sido de tan solo **0,29** kgCO2/m2 durante el año 2015. (Fig. 6)

Si ampliamos la frontera del estudio a la escala global del proyecto de **Célula Urbana**, como inputs

energéticos están el combustible de biomasa y la electricidad de la red. Como emisiones de CO2 figuran las emisiones producidas por la combustión de la biomasa, aunque hasta hace poco se podrían considerar cero, y las emisiones debidas al mix de generación de la energía eléctrica que se consume de la red[2]. En caso de optar por un suministrador de energía eléctrica de origen 100% renovable las emisiones de CO2 de Orona Ideo serían **cero**. (Fig. 7)

Conclusiones

Como conclusiones más relevantes de este primer estudio con datos reales sobre un edificio corporativo

If we expand the boundary of the study to the global scale of the Urban Cell project, energy inputs include biomass fuel and grid electricity. CO_2 emissions include the emissions produced by the combustion of biomass, although until recently they could be considered zero, and the emissions due to the generation mix of the electric energy that is consumed of the network. If you opt for a supplier of 100% renewable energy, CO_2 emissions from Orona Ideo would be zero. (Fig. 7)

Conclusions

As the most relevant conclusions of this first study with real data on a corporate building in the Basque Country's climate after the first year of occupation we can highlight the following:

• The start-up and calibration phase of all systems requires a longer period in order to obtain all the discrimination that is perfectly discriminated.

• In the Orona Ideo project you can see the comparison of buildings of similar use with different architectural configurations, which allows to draw some preliminary conclusions about the passive systems in each case. In the Zero building the demand for heat is less than estimated, so that the gallery of the inner ring seems to have an important effect. More detailed research is also required on the rest of the Orona Ideo buildings.

en el clima del País Vasco tras el primer año de ocupación podemos resaltar los siguientes:

• La fase de puesta en funcionamiento y calibración de todos los sistemas requiere aun de periodo más largo para poder obtener toda la discriminación perfectamente discriminada.

• En el proyecto Orona Ideo se puede observar la comparativa de edificios de uso similar con diferentes configuraciones arquitectónicas, lo que permite sacar alguna conclusión preliminar sobre los sistemas pasivos en cada caso. En el edificio Zero la demanda de calor es menor a la estimada, por lo que la galería captadora del anillo interior parece tener un efecto importante. Se requiere una investigación con datos más detallados también sobre el resto de los edificios de Orona Ideo.

• El edificio Zero es un edificio de energía positiva en referencia al estándar marcado por la directiva europea de referencia.

• The Zero building is a building of positive energy in reference to the standard marked by the European directive of reference.

AGRADECIMIENTOS / ACKNOWLEDGMENTS

A la empresa Orona y a su equipo de Facilities por compartir los datos de funcionamiento de los edificios con fines científicos y divulgativos.

To the company Orona and its Facilities team for sharing the operation data of the buildings for scientific and informative purposes.

END NOTES

1 En este balance no se ha incorporado la parte de iluminación por no disponer aun de datos desagregados.

2 Estos cálculos se realizan para el mix energético que proporciona el suministrador de electricidad actual que cuenta con un 35,6% de energía procedente de fuentes no renovables.

Casa Pasiva en el Anillo Verde de Vitoria

Passive House at the Green Belt of Vitoria

Javier Crespo Ruiz de Gauna[1]

ABSTRACT

El Anillo Verde es un conjunto de parques periurbanos de alto valor ecológico y paisajístico enlazados mediante corredores verdes entorno a la ciudad de Vitoria. En su cierre Sur se encuentra el pueblo de Lasarte donde se sitúa la casa, a 4 km del centro de la ciudad.

OBJETIVOS

El objetivo de los clientes era conseguir la máxima eficiencia energética, a un coste asequible, en un entorno natural junto a la ciudad.

PLANTEAMIENTO

La vivienda tiene una sola planta y se ha diseñado para captar la máxima RADIACIÓN SOLAR en invierno y para favorecer la ventilación cruzada en las noches de verano con estores y persianas para la PROTECCIÓN SOLAR y el control lumínico de las estancias. La casa se apoya en una losa de cimentación aislada sobre la que se levantan muros de termo-arcilla sobre los que a su vez descansa la estructura de madera de la cubierta. Los muros se trasdosan al exterior con un SATE de 160 mm con revoco de mortero y al interior con aislamiento de 60 mm, cámara de aire y PYL. La cubierta se aisla con mantas de fibra de madera de 320 mm de espesor colocada entre los cabios y con paneles rígidos de fibra de madera de 35 mm como soporte del doble enrastrelado y la teja. El aislamiento de losa, fachada y cubierta se dispone en continuidad para eliminar los PUENTES TÉRMICOS y la envolvente queda tan solo atravesada por las vigas pBeltcipales de madera de la estructura de cubierta. La HERMETICIDAD se ha llevado a cabo mediante láminas reguladoras de vapor con valor SD variable. Se han hecho ensayos de hermeticidad obteniéndose un resultado satisfactorio de 0.6 r/h, dentro de los límites establecidos por Passivhaus. El elevado nivel de aislamiento y de hermeticidad hacen que la casa requiere un pequeño aporte de calor (15 kWh/m2año), que se obtiene mediante una estufa de pellets en el salón y radiadores eléctricos de baja potencia en los dormitorios y en los baños. El gasto anual en calefacción de la vivienda se sitúa por debajo de los 400 €. En el cuarto de INSTALACIONES se sitúan una bomba de calor aerotérmica que aporta ACS a la vivienda y un recuperador de alta eficiencia (95%), con conductos principales de ADMISIÓN / EXPULSIÓN e IMPULSIÓN /EXTRACCIÓN de polipropileno y con conductos de impulsión a los dormitorios y estancias comunes y de extracción de los baños, aseo, oficio y cocina de polietileno.

CONCLUSIONES

Estas consideraciones hacen que la vivienda disponga unas condiciones de confort, de calidad de aire y de eficiencia energética muy elevadas, adelantándose a lo que serán los ECECN que la UE se ha marcado como objetivo para el año 2020. La GARANTÍA de que estas condiciones de confort y eficiencia se cumplen se consigue a través de la certificación como Casa Pasiva / Passivhaus en la que tanto el Proyecto como la puesta en Obra adquieren igual importancia. Esta casa es una de las 40 viviendas certificadas Passivhaus en España.

Key Words: confort, eficiencia, ECECN, casa pasiva, energía. Comfort, efficiency, NZEB, passive house, energy

(1) ARKE arquitectos, javiercrespo@arkearquitectos.com

Introduction

Vitoria, Capital Verde Europea 2012, basa su éxito como ciudad comprometida con la sostenibilidad y el medio ambiente en el consenso político y ciudadano que se ha venido consiguiendo desde hace ya más de 20 años.

El Anillo Verde es un conjunto de parques periurbanos de alto valor ecológico y paisajístico enlazados mediante corredores verdes entorno a la ciudad de Vitoria. En su cierre Sur se encuentra el pueblo de Lasarte donde se sitúa la casa, a 4 km del centro de la ciudad. (Fig. 1)

Un edificio pasivo busca alcanzar el máximo confort con la mínima energía. Esto se consigue



Fig. 1. Anillo Verde de Vitoria-Gasteiz. Green Belt of Vitoria-Gasteiz.



Fig. 2. Situación de la casa en la ciudad. Situation of the house in the city.

Introduction

Vitoria, European Green Capital 2012, bases its success as a city committed to sustainability and the environment in the political and citizen consensus that has been achieved for more than 20 years.

The Green Belt is a set of peri-urban parks of high ecological value and landscape linked by green corridors around the city of Vitoria. In its South closing is the town of Lasarte where the house is located, 4 km from the center of the city. (Fig. 1)

A passive building seeks to achieve maximum comfort with minimal energy. This is achieved by making the most of solar radiation, isolating the building in its entire envelope, without thermal bridges, with high performance carpentry, even with triple glazing, without undesired air infiltration, in order to achieve a homogeneity of the temperatures of interior surfaces never inferior, even in the coldest days, of 17º K. The windows are the weakest zones of the envelope with thermal transmittances of the order of 6 ... 8 times greater than those of the facade walls so that it is very important that their performance is optimal. (Fig. 2)

With this approach was designed the passive house LYNAM, in the Green Belt of Vitoria. The clients already had a Basic Project of another architecture study that we had to take back, adapting it to the new proposed requirements.

Passivhaus is a way of designing and building that seeks the comfort of people with maximum energy efficiency at an affordable cost. Its basic principles are:
- Make the most of the sun's energy
- Super-insulation and control of thermal bridges
- High performance of carpentry and glass
- Air tightness
- Ventilation with heat recovery
- PHPP

Energy flows between the interior and exterior of the building mainly by two physical mechanisms: the transmittance through the envelope and the infiltrations of air through the encounters of the building elements. The Passivhaus standard addresses this by paying special attention to Isolation And Airtightness.

Isolation

The insulation is arranged as if it were a wrapping of a gift: it extends on the ground, isolating the floor, and it is ascending by the facades and the cover. Thermal bridges are avoided or minimized.

The "breathing" of the building is guaranteed through the Ventilation System with Heat Recovery and "transpiration" is achieved by natural insulation open to the diffusion of steam in the roof.

aprovechando al máximo la radiación solar, aislando muy bien el edificio en toda su envolvente, sin puentes térmicos, con unas carpinterías de altas prestaciones, incluso con vidrios triples, sin infiltraciones de aire indeseadas, con el fin de conseguir una homogeneidad de las temperaturas de las superficies interiores nunca inferior, incluso en los días más fríos, de 17º K. Las ventanas son las zonas más débiles de la envolvente con transmitancias térmicas del orden de 6...8 veces mayores que las de los muros de fachada por lo que es muy importante que sus prestaciones sean óptimas. (Fig. 2)

Con este planteamiento se diseñó la casa pasiva LYNAM, en el anillo verde de Vitoria. Los clientes disponían ya de un Proyecto Básico de otro estudio de arquitectura que tuvimos que retomar, adaptándolo a los nuevos requisitos propuestos.

Passivhaus es una forma de diseñar y construir que busca el confort de las personas con la máxima eficiencia energética a un coste asequible. Sus pBeltcipios básicos son los siguientes:
- Aprovechar al máximo la energía del sol
- Super-aislamiento y control de puentes térmicos
- Carpinterías y vidrios de altas prestaciones
- Hermeticidad
- Ventilación con recuperación de calor
- PHPP

La energía fluye entre el interior y el exterior del edificio pBeltcipalmente por dos mecanismos físicos: la transmitancia a través de la envolvente y las infiltraciones de aire a través de los encuentros de los elementos constructivos. El estándar Passivhaus afronta esto poniendo especial atención en el Aislamiento y en la Hemeticidad.

Aislamiento

El aislamiento se dispone como si se tratara de envolver un regalo: se extiende sobre el terreno, aislando el suelo, y se va ascendiendo por las fachadas y la cubierta. Se evitan o reducen al máximo los puentes térmicos.

La "respiración" del edificio se garantiza a través del sistema de Ventilación con Recuperación de Calor y la "transpiración" se consigue mediante aislamientos naturales abiertos a la difusión de vapor en la cubierta.

Hermeticidad: sin infiltraciones de aire indeseadas

En las casas convencionales el aire que se respira en las estancias proviene de las infiltraciones que se producen entre los elementos constructivos (perímetros de los huecos y encuentros entre los distintos planos de la envolvente). De este modo el aire contaminado de la calle del centro de una ciudad es el que respiramos en el interior del edificio al que además se le añade la contaminación

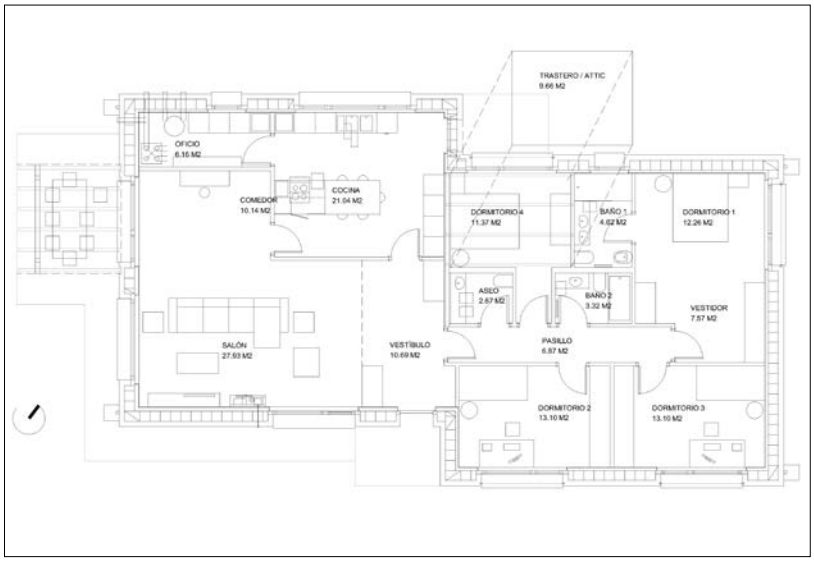


Fig. 3. Plano de planta. Plan of plant

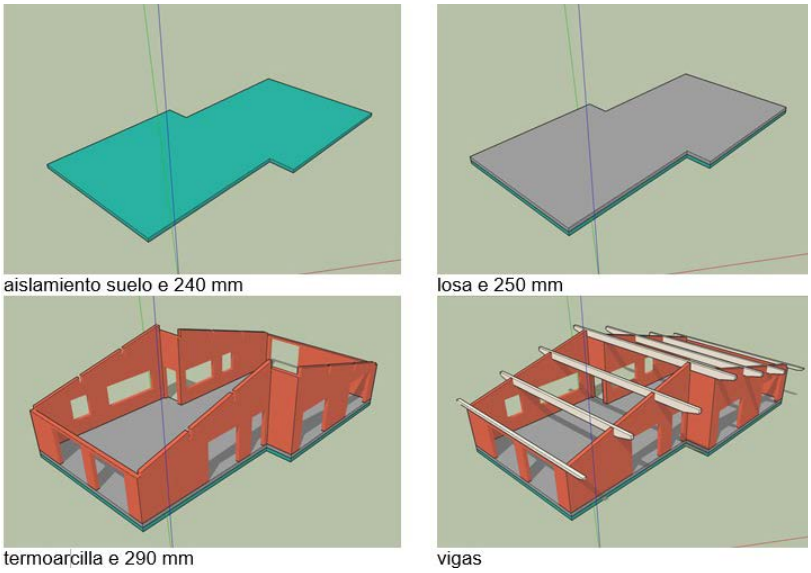


Fig. 4. fases constructivas 1 a 4. Construction phases 1 to 4.

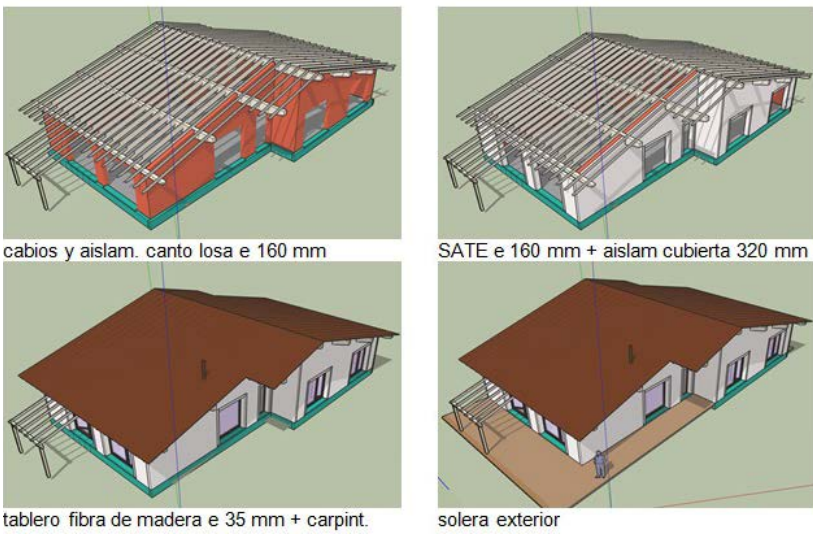


Fig. 5. fases constructivas 5 a 8. Construction phases 5 to 8.



Fig. 6. Ensayo de hermeticidad. Tightness test.



Fig. 7. Recuperador y aerotermo. Heat recovery and air heat pump.

interior proveniente de la propia respiración de las personas, los Compuestos Orgánicos Volátiles que emanan de disolventes de pinturas y barnices del mobiliario, aerosoles, etc.

(Fig. 6) Para evitar esto las casas pasivas ponen especial atención en la hermeticidad del edificio con el fin de aprovechar la energía al máximo y garantizar la calidad del aire interior. Durante la ejecución de la vivienda, en dos momentos distintos, se llevan a cabo ensayos de hermeticidad a presión y depresión de 50 pascales (lo que equivale a un fuerte vendaval) para comprobar que se obtienen los valores límite fijados por el estándar (0.6 y 1.0 renovaciones / hora).

Los edificios convencionales sometidos a ensayos de hermeticidad en similares circunstancias arrojan valores de renovaciones / hora de entre 2.0 y 5.0 en obra nueva y de 10.0 o más (r/h) en edificios antiguos. Esto hace que sea imposible cuantificar con precisión la demanda de energía de los edificios en los que no se ha tenido en cuenta el control de la hermeticidad en su construcción ya que la energía se escapa de forma incontrolada.

Ventilación

Controlar la hermeticidad de una forma tan exigente hace necesario recurrir a un sistema de ventilación controlado que garantice el aire fresco en las estancias. Este aire se coge del exterior y se cruza en el recuperador con el aire viciado interior donde se transfiere el calor del aire viciado al aire fresco recuperándose entorno al 90% de la energía: aire a 0º en el exterior se impulsa en la vivienda a 18º. El recuperador dispone de unos filtros que recogen las partículas contaminantes y garantizan así una calidad de aire interior óptima. (Fig. 7)

Airtightness: without undesired air infiltration

In conventional houses the air that is breathed in the rooms comes from the infiltrations that occur between the construction elements (perimeters of the gaps and encounters between the different planes of the envelope). In this way the polluted air of the street in the center of a city is the one we breathe inside the building which is also added to the internal pollution from people's own breathing, Volatile Organic Compounds emanating from solvents of paints and varnishes of furniture, aerosols, etc.

(Fig. 6) To avoid this passive houses pay special attention to the tightness of the building in order to take full advantage of the energy and guarantee indoor air quality. During the execution of the house, in two different moments, Blower Door tests at pressure and depression of 50 pascals (equivalent to a strong gale) are carried out to verify that the limit values set by the standard are obtained (0.6 and 1.0 renewals / hour).

Conventional buildings subjected to tests in similar circumstances yield renewal / hour values of between 2.0 and 5.0 in new construction and 10.0 or more (r / h) in old buildings. This makes it impossible to accurately quantify the energy demand of buildings in which the control of the tightness in their construction has not been taken into account since the energy escapes uncontrollably.

Ventilation

Controlling the tightness in such a demanding way makes it necessary to use a controlled ventilation system that guarantees fresh air in the rooms. This air is taken from the outside and crosses in the recuperador with the interior addict air where the heat of the vitiated air is transferred to the fresh air recovering around 90% of the energy: air at 0º in the outside it is



Fig. 8. Casa LYNAM en Lasarte. LYNAM house in Lasarte

Aunque es difícil de cuantificar, este sistema contribuye a mejorar las condiciones de salubridad interiores reduciendo el número de afecciones respiratorias y alergias.

Confort

El confort se garantiza, por un lado, con una muy buena envolvente que asegure temperaturas de las superficies interiores por encima de los 17º los días más fríos del año, y por otro a través del aire de renovación filtrado, a muy baja velocidad, y a temperatura y humedad controladas.

Estos criterios de confort determinan el espesor del aislamiento en los distintos climas y el recurrir a vidrios, dobles, triples e incluso cuádruples como se hace necesario en climas como el de Moscú.

Con estos planteamientos la demanda de calefacción de la casa es inferior a 0.15 kWh/(m2 año) límite establecido por passivhaus para conseguir máxima eficiencia y confort.

Aportes de calor

Para conseguir este aporte de energía las casas pasivas recurren al calor del sol, al calor de las personas, la iluminación, los electrodomésticos, los ordenadores, etc. y en el caso de la casa LYNAM, como sistemas ACTIVOS, a una estufa de pellets en el salón y pequeños focos de calor eléctricos en los dormitorios y los baños.

Estrategias frente al calor en verano

Aislamiento y hermeticidad son también necesarios frente al calor si bien hay que recurrir a distintas estrategias para evitar el sobrecalentamiento en verano:

- Protecciones solares
- Ventilación cruzada nocturna
- Pozos canadienses para atemperar el aire exterior

propelled in the house to 18º . The heat recovery has filters that collect the contaminating particles and thus guarantee an optimum indoor air quality. (Fig. 7)

Although difficult to quantify, this system contributes to improving indoor health conditions by reducing the number of respiratory conditions and allergies.

Comfort

The comfort is guaranteed, on the one hand, with a very good envelope that ensures temperatures of the interior surfaces above the 17th on the coldest days of the year, and on the other hand through filtered renewal air, at very low speed, and temperature and humidity.

These comfort criteria determine the thickness of the insulation in different climates and the use of glass, double, triple and even quadruple as is necessary in climates such as Moscow.

With these approaches the heating demand of the house is less than 0.15 kWh / (m2 year) limit established by passivhaus for maximum efficiency and comfort.

Heat contributions

in order to obtain this contribution of energy passive houses resort to the heat of the sun, to the heat of the people, the lighting, the appliances, the computers, etc. And in the case of the LYNAM house, such as ACTIVE systems, a pellet stove in the living room and small electrical heaters in bedrooms and bathrooms.

Strategies against heat in summer

insulation and hermeticity are also necessary in the face of heat, although different strategies must be used to avoid overheating in summer:

• Cubiertas vegetales
• Disipación del calor a través del terreno (en climas cálidos es mejor no disponer aislamiento en el suelo)
• Colores claros de los edificios
• Incremento de aislamiento en las cubiertas, con elementos reflexivos y favoreciendo la ventilación bajo las tejas

Cuando no sea posible recurrir a estas estrategias o en climas extremos será necesario recurrir a la refrigeración activa, dentro de los parámetros establecidos por passivhaus (15 kWh/(m2 año) en refrigeración; 120 kWh/(m2 año) de demanda de energía total del edificio).

La casa pasiva LYNAM se construyó en 10 meses entre enero y octubre. Es uno de los 40 edificios certificados passivhaus en España. (Fig.8)

• Solar protection
• Night cross ventilation
• Canadian wells to temper outdoor air
• Green roofs
• Dissipation of heat through the soil (in hot climates it is better not to have insulation in the soil)
• Light colors of buildings
• Increased insulation in the roofs, with reflective elements and favoring the ventilation under the tiles

When it is not possible to resort to these strategies or in extreme climates it will be necessary to resort to active cooling, within the parameters established by passivhaus (15 kWh / (m2 year) in refrigeration, 120 kWh / (m2 year) of total energy demand of the building).

The LYNAM passive house was built in 10 months between January and October. It is one of the 40 passivhaus certified buildings in Spain. (Fig.8)

Rehafica: Estudio técnico y viabilidad económica de rehabilitación mediante la redensificación con sistemas industrializados y sostenibles

Rehafica: Technical study and economic feasibility of rehabilitation through re-densification with industrialized and sustainable systems

Marta Epelde[1], Xabier P.Arenaza[2], Juana Otxoa[3], Peter Albretch[3]

ABSTRACT

El proyecto REHAFICA, iniciado en diciembre 2016 y que está dentro del programa de ayudas del Gobierno Vasco Eraikal, se basa en la realización de un estudio sobre las opciones reales que existen para plantear la densificación de nuestras zonas urbanas consolidadas mediante intervenciones industrializadas, NZEB y replicables como mecanismo de tracción para la rehabilitación energética de los edificios.

El sector de la edificación ha vivido una transformación absoluta durante los años de crisis, la obra de nueva planta se ha reducido considerablemente, la baja demanda de nueva vivienda y la oferta aún vigente de viviendas nuevas de la época anterior a la crisis hacen que hoy en día, el sector de la edificación esté concentrado y traccionado por la rehabilitación

Rehabilitar energéticamente es una estrategia de gran valor en los objetivos 2020 y sin embargo, no está teniendo el impacto, el volumen, ni la mejora energética deseada. Al reto técnico y legal que supone, la mayor parte de las veces se suma la realidad económica de las familias y administraciones: la crisis ha azotado a toda la población en general, y por lo tanto, la disminución de ingresos ha hecho que muchas familias y entidades no puedan afrontar costes de inversión en la rehabilitación energética de su vivienda o edificio. En los mejores casos, donde sí se puede llevar a cabo algún tipo de intervención, estás se ven a menudo con limitaciones y dificultades o directamente se chocan con la imposibilidad de plantear rehabilitaciones que lleguen a objetivos de Consumo Casi Nulo (nZEB).

Ante esta situación, en algunas grandes capitales europeas se han activado mecanismos para afrontar esta realidad con nuevos enfoques. La trama irregular de las zonas urbanas consolidadas durante la época anterior a 1980, y sobre todo a la anterior a 1960 ha dejado un perfil de calles irregular, que ofrecen la posibilidad de densificar y así valorar opciones de financiación para las comunidades y familias.

Estas operaciones, sin embargo, además de una complejidad legal considerable, suponen un reto técnico desde el punto de vista tanto estructural como funcional de los edificios. Junto a la propia viabilidad económica, en este proyecto se pretende realizar un estudio riguroso sobre las posibilidades reales que existen en nuestro entorno para poder llevar a cabo operaciones de este tipo.

Para ello, se analizará, por una parte, el volumen disponible en los principales núcleos urbanos de nuestro territorio, por tipología, superficie y calidad constructiva, la normativa que rodea la rehabilitación y las posibles barreras que puede encontrar esta estrategia. Por otro lado, se estudiarán posibles propuestas técnicas industrializadas en madera a casos tipo que sean de interés, por replicabilidad, alta eficiencia (nZEB) y posibilidad de extrapolación.

Key Words: Investigación, Rehabilitación Energética, Redensificación industrializada, Financiación, Consumo Casi Nulo.

(1) Kursaal Green, Dpto de Eficiencia y Sostenibilidad de Kursaal Rehabilitaciones. (2) Habic: Cluster del equipamiento, madera y diseño del País Vasco. (3) A+O Arquitectos d.eficiencia@prkursaal.com

1. Antecedentes

El sector de la edificación ha vivido una transformación absoluta durante los años de la crisis. La obra de nueva planta se ha reducido considerablemente y la baja demanda de nueva vivienda, junto con la oferta aún vigente de viviendas nuevas de la época anterior a la crisis, hacen que hoy en día el sector de la edificación esté centrado en la rehabilitación e impulsado por ella.

Más del 70% de las viviendas existentes en Euskadi datan de antes de 1980, cuando no había ninguna limitación de demandas de climatización. Se calcula que cerca de 1/3 del total de la energía consumida en Europa se debe a la edificación, y en las políticas energéticas Europeas se ha definido a este sector como aquél en el que se pueden obtener mayores avances con la menor dificultad técnica y en menores plazos de tiempo.

Para poder valorar las estrategias adecuadas para afrontar las rehabilitaciones, sin embargo, es necesaria una comprensión integral del comportamiento energético del edificio, ya que la ejecución de las posibles medidas resulta mucho más compleja que en una obra nueva.

A estos factores, debemos añadir que la crisis ha afectado a toda la población en general, y que por lo tanto, la disminución de ingresos ha hecho que muchas familias no puedan afrontar los costes de inversión en la rehabilitación energética de su vivienda o edificio.

La rehabilitación de los edificios existentes es un sector en auge, que sin embargo, no termina de desarrollarse del todo debido a que se encuentra con barreras que trascienden el propio desarrollo técnico, lo que en suma, ralentiza la reducción de gases de efecto invernadero por parte del sector de la construcción.

Las edificaciones existentes, en general, cuentan con una propiedad dividida en muchos propietarios, que pueden tener realidades sociales, culturales y económicas distintas; lo que hace necesario, de cara a afrontar una intervención con garantías, que la mayoría estén de acuerdo con los cambios a realizar.

Ante esta situación, en algunas grandes capitales europeas se han activado mecanismos para afrontar esta realidad desde nuevos enfoques. La trama irregular de las zonas urbanas consolidadas durante la época anterior a 1980, y sobre todo la anterior a 1960, ha dejado un perfil de calles irregular, que ofrecen la posibilidad de densificar y así valorar opciones de financiación para las comunidades y familias.

Estas operaciones, sin embargo, además de una complejidad legal considerable, suponen un reto técnico desde el punto de vista tanto estructural como funcional de los edificios.

1. Background

The building sector has experienced an absolute transformation during the crisis period. The construction of new buildings was considerably reduced, and at the same time, the low demand for new housing and the still existing offer from the pre-crisis period, caused that the construction sector is mainly based and fostered by refurbishment nowadays.

More than 70% of the existing homes in Euskadi date back to 1980, where there was no limitation of air conditioning demands. It is estimated that about 1/3 of the total energy consumed in Europe is due to building, and European energy policies have defined the building sector as one in which greater advances could be obtained with the least technical difficulty and time limits.

However, a comprehensive understanding of the buildings energy performance is necessary in order to assess the appropriate refurbishment strategies. In addition, the implementation of the possible refurbishment measures is much more complex than in a new construction.

Furthermore, the crisis has affected the entire population, and therefore, the income decline meant that many families are not able to invest in the energy rehabilitation of their home or building.

The refurbishment of existing buildings is a flourishing sector that has not reach all its potential, as it encounters barriers that go beyond the technical development itself and that slow down the reduction of greenhouse gases caused by the construction sector.

Existing buildings, in general, are a property divided in many owners, that can have different social, cultural and economic circumstances. This means, that in order to face a guaranteed intervention, it is necessary to have an agreement between most of the owners.

To face this situation, some major European cities have activated different mechanisms using new approaches. The irregular pattern of urban areas during the pre-1980 period, and especially the pre-1960 period, has left an irregular street profile, which offers the possibility of densifying and thus assessing financing options for communities and families.

These interventions, however, besides considerable legal complexity, represent a technical challenge from the structural and functional point of view of the buildings.

2. Project objectives

This project aims to:

A. Drive the demand for efficient rehabilitation solutions aimed at industrialized and quality systems, as

2. Esquema de objetivos del proyecto

Mediante este proyecto se pretende:

A. Impulsar la demanda de soluciones de rehabilitación eficiente dirigidas a sistemas industrializados y de calidad, así como a la regeneración de zonas degradadas en su conjunto.

B. Cuantificar de una manera tangible las posibilidades de financiación para la rehabilitación energética de edificios mediante la ampliación de superficie construida, agotando la edificabilidad disponible en las principales ciudades de nuestro territorio.

C. Diseñar soluciones industrializadas para obras de rehabilitación que permitan realizar las intervenciones en plazos de ejecución cortos, reduciendo las molestias a los vecinos y abaratando los costes derivados de infraestructura auxiliar como andamios, grúas, cortes de tráfico, etc.

D. Crear redes de colaboración entre fabricantes de productos-componentes, y constructoras-arquitectos para optimizar el diseño y la ejecución de las soluciones planteadas.

E. En el sector de la madera, encontrar soluciones de mayor valor añadido para una materia prima abundante en nuestro territorio, que haga sostenible su explotación y que asegure en el tiempo los puestos de trabajo asociados a su industria, desde el bosque hasta los fabricantes de producto.

3. Descripción del proyecto y esquema de las fases

El proyecto REHAFICA está centrado en solucionar aspectos directamente relacionados con la rehabilitación de las edificaciones existentes, tratando este tema desde dos puntos de vista diferentes:

- La financiación mediante mecanismos de actuación alternativos, como puede ser el aprovechamiento de la edificabilidad, realizando cuantificaciones sobre edificabilidades y tipologías constructivas.

- La reducción de costes y aumento de la calidad mediante el uso de sistemas industrializados para la rehabilitación, reutilización y ampliación de edificios.

El proyecto trata de resolver también cuestiones relacionadas con la eficiencia energética de los edificios, las emisiones de CO_2 que emite el sector y el parque edificatorio en general. Por otro lado, el proyecto analizará posibles soluciones para aquellos edificios en los que por distintas circunstancias, no haya disponibilidad de capital para actuar de la manera habitual. Por tanto, el proyecto también trata de resolver situaciones complejas que se dan en las comunidades de vecinos, donde puede haber personas en situación de pobreza energética.

well as the regeneration of degraded areas as a whole.

B. Quantify in a tangible way the financing possibilities for buildings energy rehabilitation by enlarging the constructed area and exhausting the available buildability in the main cities of our territory.

C. Design industrialized solutions for rehabilitation works that allow interventions in short execution times, reducing inconvenience to the residents and reducing the costs derived from auxiliary infrastructure such as scaffolding, cranes, traffic cuts, etc.

D. Create networks of collaboration between product/components manufacturers and constructors/ architects to optimize the design and execution of the planned solutions.

E. Concerning the wood sector, our aim is to find solutions of greater added value for this rich raw material in our territory, to make sustainable exploitations and to ensure in time the jobs associated with this industry, from the forest to the manufacturers of the final products.

3. Project description and phases outline

The REHAFICA project is focused on solving aspects directly related to the rehabilitation of existing buildings. We deal with this issue from two different points of view:

- Financing through alternative mechanisms, such as the use of buildability, making a good quantification of edificabilities and constructive typologies.

- Reducing costs and increasing the quality through the use of industrialized systems for the refurbishment, reuse and enlargement of buildings.

The project also seeks to solve issues related to buildings energy efficiency, the CO2 emissions generated by this sector and the already existing constructions. On the other hand, the project will analyze possible solutions for those buildings where, due to different circumstances, there is not enough capital to act in the usual way. Therefore, the project also tries to solve complex situations that occur in the neighborhood communities, where there may be people in energy poverty situations.

To achieve the mentioned objectives, a rigorous study will be carried out on the economic viability and the real options our territory can offer for the densification of consolidated urban areas, in order to foster the energy rehabilitation of buildings.

Given the complexity of addressing the issue, the project has been divided into phases of study to simplify the tasks. On one hand, we will specifically analyse the available volume in the main urban

Para lograr los objetivos mencionados, se realizará un estudio riguroso sobre la viabilidad económica y las opciones reales que existen en nuestro territorio para plantear la densificación de zonas urbanas consolidadas como mecanismo de impulso en la rehabilitación energética de los edificios.

Ante la complejidad de abordar la temática, el proyecto se ha dividido en fases de estudio que permitan simplificar tareas. Por una parte se analizará el volumen disponible en los principales núcleos urbanos de nuestro territorio, según su tipología, superficie y calidad constructiva; así como la normativa que rodea la rehabilitación y las posibles barreras que puede encontrar esta estrategia. Por otro lado, se estudiarán posibles propuestas técnicas industrializadas en madera para casos tipo que sean de interés, por su replicabilidad y posibilidad de extrapolación.

Más específicamente, las fases arriba resumidas, se basarán en esta estructura y contenido:

Analizar la trama urbana de zonas consolidadas de Donostia y Bilbao

Cuantificar y calificar la edificabilidad disponible en zonas consolidadas de las principales ciudades de Euskadi. Se realizará un análisis de las zonas consolidadas de Donostia y Bilbao, sobre todo las áreas con mayor heterogeneidad como pueden ser los ensanches.

Análisis de la legislación

Analizar la viabilidad y recorrido legal que tienen este tipo de actuaciones. Se analizarán las normativas que pueden afectar a estas acciones de ampliación, tanto a nivel local como en ámbitos más generales.

Propuestas técnicas de ampliación de la edificabilidad

Realizar propuestas arquitectónicas compatibles con las tipologías edificatorias detectadas. El estudio incluirá la rehabilitación de las viviendas existentes más la nueva ampliación propuesta.

Análisis de costes y rentabilidad

Analizar la viabilidad económica de la intervención. Para ello se estudiarán los presupuestos para las distintas opciones, y las ventajas que puede dar la industrialización desde el punto de vista de plazos y ahorro económico en la fase de ejecución.

Análisis sobre posibles nuevas líneas de negocio

Analizar, junto a los agentes participantes y stakeholders detectados, posibles nuevas vías para la creación de nuevos modelos de negocio relacionados con la rehabilitación de los edificios residenciales existentes.

centers of our territory, studying their typology, surface and construction quality; as well as all the issues concerning refurbishment regulations and the possible barriers our strategy can find. On the other hand, industrialized wooden technical proposals will be studied in cases that might be of interest considering their replicability and extrapolation possibilities.

The above summarized phases will be based on this structure and content:

Analysis of the urban pattern of consolidated areas in Donostia and Bilbao

To quantify and qualify the available buildability in consolidated areas of the main cities of Euskadi. An analysis of the consolidated areas of Donostia and Bilbao will be carried out, especially where there is greater heterogeneity like in conurbations.

Legislation analysis

To analyze the feasibility and legal aspects that these types of actions can have, together with the regulations that can affect the expansion actions, both locally and broadly.

Technical proposals for buildability expansion

Make architectural proposals compatible with the building typologies detected. The study will include the refurbishment of existing housing plus the proposed new extension.

Cost and profitability analysis

We will analyze the economic viability of the intervention. The budgets for the different options will be studied to find the advantages the industrialization can carry in the execution phase, in terms of saving time and final costs

Analysis on possible new business lines

We will analyze, collaborating with other participants and stakeholders involved, the different possible ways to create new business models related to the refurbishment of existing residential buildings

4. Supports and team

The REHAFICA project is part of the "ERAIKAL 2016" program of the Basque Government to promote the implementation of management systems, to foster sustainability and to support innovation for companies that work in the residential building and urban habitat sector. The study is expected to be completed by the end of 2018.

This project has three main participants conforming a team that can offer different approaches and specialties, in order to deal with this complex issue from diverse perspectives. On one hand, Kursaal Rehabilitaciones Integrales leads the project. It is

4. Apoyos y equipo

El proyecto REHAFICA está integrado en el programa de ayudas "ERAIKAL 2016" del Gobierno Vasco para la promoción de la implantación de sistemas de gestión, fomento de la sostenibilidad y apoyo a la innovación de las empresas del sector de la edificación residencial y hábitat urbano. Se prevé terminar el estudio a finales de 2018.

Este proyecto cuenta con tres participantes principales que han buscado formar un equipo con diferentes enfoques y especialidades, de cara a poder tratar este tema tan complejo desde diversos ángulos. Por un lado, lidera el proyecto Kursaal Rehabilitaciones Integrales, empresa guipuzcoana experta en rehabilitaciones integrales de restauración y conservación de edificios, y sobre todo pionera en sistemas de aislamiento térmico y experta en Rehabilitaciones Energéticas, con más de una década de experiencia en este ámbito concreto.

Por otro lado, el equipo cuenta con el estudio de arquitectura A+O Arquitectos, que ha realizado tanto intervenciones integrales de casas del siglo XVII como construcciones nZEB; llevando a cabo proyectos de rehabilitación tratan de simultanear la preservación de patrimonio con las exigencias de confort y eficiencia energética. El tercer componente del equipo es Habic, el Cluster del equipamiento, madera y diseño del País Vasco. Se trata de una asociación sectorial reconocida que abarca a más de 100 empresas asociadas, con objetivos como poner en valor el uso de productos y sistemas industrializados en madera, además de fomentar soluciones con base-madera en la construcción y rehabilitación de edificios.

5. ¿Por qué madera?, ¿Por qué industrializar?

En los últimos tiempos, tanto la industria como diversos expertos internacionales han identificado como estratégico el uso de la madera para la edificación, incorporando al proceso sistemas y productos prefabricados que aumenten tanto la calidad como la eficiencia energética de los edificios, a la vez que se le da mayor valor a los bosques y a la explotación sostenible de la madera.

Por ello, en este proyecto se trabajarán las cuestiones relacionadas con la sostenibilidad desde el punto de vista técnico de los materiales, la industrialización, sistemas, etc., contando con el apoyo de la información veraz obtenida en el Cluster sobre los Análisis de Ciclo de Vida realizados en los distintos proyectos de sostenibilidad respecto a algunos productos.

Además, en el proyecto REHAFICA se van a estudiar las posibilidades que tiene la industrialización de sistemas constructivos para realizar rehabilitaciones y

a company from Guipuzcoa specialised in restoration and building maintenance, pioneer in thermal insulation systems and expert in Energy Rehabilitation, with over a decade of expertise in this field.

On the other hand, the team is formed by the architectural firm A + O Arquitectos, that has performed both comprehensive interventions on houses of the seventeenth century and nZEB constructions; having worked in rehabilitation projects that preserve the heritage and at the same time reach the actual comfort and energy efficiency demands. The third member of the team is Habic, the Basque Country's equipment, wood and design cluster. A recognized sectoral association covering more than 100 associated companies, with goals such as enhancing the use of industrialized products and systems in wood, as well as promoting wood-base solutions in the buildings construction and rehabilitation.

5. Why wood ?, Why industrialize?

In recent times, both industry and international experts have identified the use of wood as strategic for building, incorporating prefabricated systems and products that increase the quality and energy efficiency of buildings, while providing greater value to forests and the sustainable exploitation of timber.

Therefore, this project will work on issues related to sustainability from the technical point of view of materials, industrialisation and systems; counting with the truthful information gathered by the Cluster about Life Cycle Analysis of some products inside the different sustainability projects.

In addition, the project REHAFICA will study the possibilities the industrialization of construction systems have, in order to carry out renovations and extensions of existing residential buildings. This system is considered appropriate from the beginning, because it is the only one that can guarantee the compatibility between neighbors and expansion works. Regarding the systems to be analyzed, the structure-related issues and the protective structure will be studied and different solutions will also be tested concerning the interior finish or the equipment of the houses themselves.

Conclusions

This project seeks to have a potential impact on the construction sector and in the society. The following issues are seen as the more probable and beneficial consequences of the REHAFICA study:

- Generation of a new business line around rehabilitation, which will help reactivate the sector in Euskadi and will generate specialized and better quality jobs, since many phases of the work will

ampliaciones de edificaciones residenciales existentes. Se considera adecuado desde el primer momento este sistema, debido a que es el único que puede garantizar la compatibilidad entre vecinos y obras de ampliación. En cuanto a los sistemas que se analizaran, se trabajará sobre todo la parte relacionada con estructura y envolvente, pero se tantearán también soluciones orientadas a los acabados interiores o el equipamiento de las propias viviendas.

Conclusiones

Este proyecto persigue un impacto potencial tanto en el sector de la construcción como en la sociedad en general, siendo los siguientes puntos aquellas consecuencias del estudio REHAFICA que se observan como más beneficiosas y probables:

- Generación de una nueva línea de negocio en torno a la rehabilitación, que ayude a reactivar el sector en Euskadi y a generar empleo especializado y de mejor calidad, dado que muchas fases de obra pasan a realizarse en taller, con mayores niveles de seguridad laboral y control de la calidad.

- El resultado del proyecto puede ayudar a reducir las emisiones de CO2 que se asocian al sector de la construcción, alcanzando más rápidamente los objetivos del mandato 20/20/20 y mejorando así la imagen general que existe en la sociedad como sector contaminante y responsable de gran cantidad de estas emisiones.

- A nivel social, puede permitir a familias y hogares con pocos recursos realizar obras de rehabilitación en sus edificios, erradicando así posibles situaciones de pobreza energética.

- Generar una demanda de madera para construcción que afecte directamente al sector maderero local, donde trabajan cerca de 10.000 empleados. Asegurar el futuro de este sector pasa obligatoriamente por dar salida a este material a mercados donde el producto tenga un mayor valor añadido y se pague más por él. El sector de la construcción se prevé estratégico para el futuro de este material y su explotación de manera sostenible.

- Generar nuevas ideas que sirvan al tejido empresarial en el desarrollo y la innovación.

be carried out in a workshop, with higher levels of job security and quality control.

- The outcome of the project can help reduce CO2 emissions associated with the construction sector, achieving 20/20/20 mandate goals more quickly and thus improving the general image it has in the society as a polluting sector and responsible of a large number of these emissions.

- At a social level, it can allow families and households with few resources to carry out rehabilitation works in their buildings, thus eradicating possible situations of energy poverty, especially in old areas where pensioners and elderly people with low incomes live.

- Generate a demand for construction timber that directly affects the local timber sector, where about 10,000 employees work. In order to secure the future of the wood industry it is necessary that this material reaches new markets where the product can have a higher added value and is paid more for it. The construction sector is expected to be strategic for the future of this material and its exploitation in a sustainable way.

- Generate new and useful ideas for the business community in development and innovation.

BCORE: una herramienta de simulación y calibración energética automatizada para edificación

BCORE: an automated energy simulation and calibration software tool for buildings

Lara Febrero[1], Ana Ogando[1], Marta Fernández[1], Enrique Granada[1] and Aitor Erkoreka[2]

ABSTRACT

En las últimas décadas, la eficiencia energética en la edificación ha tomado un papel relevante en materia de ahorro energético, tanto a nivel nacional como europeo. De hecho, la certificación energética de edificios es actualmente una exigencia derivada de la Directiva 2010/31/UE y la Directiva 2012/27/UE relativas a la eficiencia energética de los edificios. En este campo, las herramientas informáticas resultan un gran avance y una gran ayuda para la gestión energética de los edificios.

En este trabajo se presenta BCORE, una nueva herramienta automatizada de simulación y calibración energética para edificación. Este software permite que cualquier usuario, sin necesidad de ser experto en el manejo de Tecnologías de la Información (TI), pueda realizar simulaciones energéticas de edificios en un entorno amigable y a través de una interfaz clara e intuitiva. Se trata de una solución innovadora, ya que a través de una aproximación holística este programa integra en una única herramienta, múltiples utilidades y aplicaciones que actualmente no se encuentran disponibles en ningún software comercial del mercado.

El punto de partida de BCORE es un modelo geométrico y constructivo que puede ser importado directamente a la herramienta en formato OpenStudio Model (OSM) o Green Building XML (gbXML). A continuación, el software permite la creación de un modelo energético del edificio completo, Building Energy Model (BEM), introduciendo los materiales, muros y huecos, así como las cargas térmicas y los sistemas de producción y distribución de energía del edificio. Una vez el modelo energético del edificio ha sido completado, simplemente aportando al programa un archivo meteorológico en formato EnergyPlus Weather (EPW) de la zona en la que se encuentra el edificio, se puede simular automáticamente el edificio. El motor de cálculo utilizado en la simulación es TRNSYS. Es prácticamente imposible que una primera simulación se acerque con exactitud al comportamiento real de un edificio. Es aquí donde el software desarrollado aporta un mayor avance e innovación en materia de simulación energética permitiendo la calibración automatizada del modelo. En la actualidad no existe ningún software en el mercado que permita calibrar automáticamente el modelo energético de un edificio. Esta calibración se realiza con GenOpt, un programa de optimización que minimiza la función de coste definida, y utilizando datos reales de monitorización, obteniendo resultados altamente realistas. Además, se están desarrollando nuevos métodos de calibración para ser implementados en dicha herramienta y conseguir así un modelo energético prácticamente idéntico a la realidad. Otro punto novedoso de la aplicación es la posibilidad de implementación de Medidas de Conservación de Energía (MCE) que permiten llevar a cabo la parametrización del modelo para simular cambios en la envolvente, la realidad de uso o los datos meteorológicos y de este modo mejorar el comportamiento energético del edificio. Finalmente, la aplicación permite mostrar los resultados de temperaturas, potencias y demandas, tanto del proyecto base como de las MCEs, permitiendo al usuario, a través de evaluaciones técnicas y económicas, gestionar eficientemente el edificio.

Key Words: (Software, simulation, calibration, energy efficiency, building | Software, simulación, calibración, eficiencia energética, edificio).

(1) Industrial Engineering School, University of Vigo, Lagoas-Marcosende s/n, 36310 Vigo (Spain). (2) ENEDI Research Group, Department of Thermal Engineering, University of the Basque Country (UPV/EHU), Alda, Urquijo s/n, 48013 Bilbao (Spain). Corresponding author: +34 986 81 86 24, marta.fernandez@uvigo.es

1. Introducción

La eficiencia energética se ha convertido en un tema clave para la Comisión Europea. Utilizando la energía de una manera más eficiente, no solamente se obtiene un ahorro de energía, sino que también se ayuda a proteger el medio ambiente y a reducir la dependencia de proveedores externos de combustibles fósiles. Por otra parte, los edificios son responsables del 40% del consumo energético y del 36% de las emisiones de CO_2 en la Unión Europea. Actualmente, el parque edificatorio europeo se caracteriza por su envejecimiento, donde alrededor del 35% de los edificios tienen más de 50 años. Estos edificios antiguos pueden consumir hasta 5 veces más energía que los edificios modernos diseñados y construidos de una manera mucho más eficiente. Se calcula que mejorando la eficiencia energética en el parque edificatorio actual, se podría reducir entre un 5 y un 6 % de la energía consumida y hasta un 5% de las emisiones de CO_2 a la atmósfera [1].

La principal directiva en materia de eficiencia energética en la edificación es la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios [2]. En noviembre de 2016, la Comisión Europea propuso una actualización de esta Directiva para ayudar a promover la utilización de tecnología inteligente en los edificios y simplificar las normas vigentes. Bajo esta directiva todos los edificios de la Unión Europea tienen la obligación de incluir un certificado de eficiencia energética cuando se proceda a anunciar su venta o alquiler. Además, todos los edificios deben ser "edificios de energía casi nula" el 31 de diciembre de 2020. Sin embargo, los edificios públicos ya deben cumplir esta medida desde el 31 de diciembre de 2018. También se establecen requerimientos mínimos de energía para nuevos edificios, para edificios a renovar y para la sustitución de elementos del edificio como los sistemas de calefacción y refrigeración, tejados, muros, etc.

Teniendo en cuenta que la normativa europea en materia de eficiencia energética en edificios es cada vez más exigente y restrictiva, todas las herramientas que faciliten el lograr estos objetivos resultan un gran avance. Así, las herramientas informáticas de simulación energética pueden ayudar en gran medida a mejorar la gestión energética de edificios existentes y a predecir el comportamiento energético de aquellos edificios en fase de diseño. Con respecto a esto, no debe confundirse BIM (Building Information Modeling) con BEM (Building Energy Modeling). Se define BIM como una representación digital compartida de las características físicas y funcionales de cualquier objeto construido que constituya una base fiable para la toma de decisiones [3]. Es una metodología de trabajo colaborativo para la creación y gestión de un modelo de construcción, que se compone de la fase de diseño, de la ejecución del proyecto y de todo el ciclo de vida del edificio. Esta filosofía BIM se extendió a la eficiencia energética y surgió el BEM.

1. Introduction

Energy efficiency has become a key topic for the European Commission. Using energy more efficiently not only saves energy, but also helps to protect the environment and reduce reliance on fossil fuel external suppliers. On the other hand, buildings are responsible for 40% of energy consumption and 36% of CO^2 emissions in the European Union. Currently, the European buildings are characterized by their aging, where about 35% of buildings are more than 50 years old. These old buildings can consume up to 5 times more energy than modern buildings designed and built in a much more efficient way. It is estimated that improving energy efficiency in the current building stock could reduce between 5 to 6% of the energy consumed and up to 5% of the CO^2 emissions into the atmosphere [1].

The main directive on energy efficiency in buildings is Directive 2010/31/EU on energy performance of buildings [2]. In November 2016, the European Commission proposed an update of this Directive to help promote the use of intelligent technology in buildings and simplify existing standards. Under this directive all buildings in the European Union are obliged to include an energy performance certificate when announcing their sale or rental. In addition, all buildings must be "nearly zero energy buildings" by December 31, 2020. However, public buildings must already comply with this measure in December 31, 2018. Minimum energy requirements are also established for new buildings, for renovations and for the replacement of building elements such as heating and cooling systems, roofs, walls, etc.

Considering that the European regulations on energy efficiency in buildings are becoming more stringent and restrictive, all the tools that facilitate achieving these objectives are a breakthrough. Thus, computer simulation tools can greatly help to improve the energy management of existing buildings and predict the energy performance of those buildings in the design phase. In this respect, BIM (Building Information Modeling) should not be confused with BEM (Building Energy Modeling). BIM is defined as a shared digital representation of the physical and functional characteristics of any constructed object that provides a reliable basis for decision making [3]. It is a collaborative work methodology for the creation and management of a construction model, which is composed of the design phase, the execution of the project and the entire life cycle of the building. This BIM philosophy was extended to energy efficiency and emerged the BEM. The BEM is the practice of using simulation software in the energy analysis

El BEM es la práctica de utilizar un software de simulación en el análisis energético de un edificio [4]. El software de simulación trabaja ejecutando un modelo matemático que proporciona una representación aproximada del edificio. Las herramientas BEM juegan un papel muy relevante en el diseño y en la optimización de edificios. El BEM puede ser utilizado para implementar medidas de ahorro energético o de rehabilitación, para certificación de edificios o para control y análisis de la eficiencia energética de un edificio. Además, el uso de herramientas BEM supone diversos beneficios como pueden ser la reducción de costes de operación en proyectos de nueva construcción y en proyectos de reacondicionamiento así como la mejora en la sensación de confort de los ocupantes del edificio.

Existen multitud de herramientas BEM cada una con capacidades y aplicaciones diferentes. Crawley et al. [5] publicó un informe completo ***"Comparing the capabilities of building energy performance simulation programs"*** comparando las características y capacidades de las 20 herramientas BEM más importantes: BLAST, BSim, DeST, DOE-2.1E, ECOTECT, Ener-Win, Energy Express, Energy-10, EnergyPlus, eQUEST, ESP-r, IDA ICE, IES ‹VE›, HAP, HEED, PowerDomus, SUNREL, Tas, TRACE y TRNSYS. Los autores concluyen que incluso las herramientas más maduras, no tienen un lenguaje común para describir qué es lo que pueden hacer y que existe mucha ambigüedad al respecto. Además, el grado de esfuerzo y conocimiento que requieren los usuarios para dominar el manejo de estas herramientas suele ser alto en la mayoría de los casos. Por otra parte, debido a la complejidad del entorno de un edificio y la influencia de múltiples variables independientes que interactúan entre sí, es difícil lograr una representación real del comportamiento del edificio. Ajustando los resultados del modelo con algunos datos medidos, podemos obtener resultados más precisos y fiables. Este ajuste de las salidas del modelo con los datos medidos se conoce como calibración [6]. Y en cuanto a la calibración en herramientas comerciales, se constata la patente falta de herramientas integradas y métodos automatizados que podrían ayudar a la calibración [6].

Tratando de suplir los dos puntos débiles más importantes observados en las herramientas de simulación energética, la dificultad de uso y la calibración de los modelos, surgió la herramienta BCORE, un software de desarrollo propio. Se trata de una nueva herramienta automatizada de simulación y calibración energética para edificación. Este software permite que cualquier usuario, sin necesidad de ser experto en el manejo de Tecnologías de la Información (TI), pueda realizar simulaciones energéticas de edificios en un entorno amigable y a través de una interfaz clara e intuitiva. Se trata de una solución innovadora, ya que a través de una aproximación holística este programa integra en una única herramienta, múltiples utilidades y aplicaciones que actualmen-

of a building [4]. The simulation software works by running a mathematical model that provides an approximate representation of the building. BEM tools play a very important role in building design and optimization. BEM can be used to implement energy saving or retrofitting measures, to certificate buildings or to control and analyse the building energy efficiency. In addition, the use of BEM tools entails several benefits such as the reduction of operating costs in new construction projects and in rehabilitation projects as well as the improvement of the comfort feeling of the building occupants.

There are many BEM tools each with different capabilities and applications. Crawley et al. [5] published a complete report ***"Comparing the capabilities of building energy performance simulation programs"*** comparing characteristics and capabilities of the 20 most important BEM tools: BLAST, BSim, DeST, DOE-2.1E, ECOTECT, Ener-Win, Energy Express, Energy-10, EnergyPlus, eQUEST, ESP-r, IDA ICE, IES ‹VE›, HAP, HEED, PowerDomus, SUNREL, Tas, TRACE and TRNSYS. The authors conclude that even the most mature tools do not have a common language to describe what they can do and that there is a lot of ambiguity about it. In addition, the effort and knowledge that users require to master the management of these tools is often high in most cases. On the other hand, due to the complexity of a building environment and the influence of multiple independent interacting variables, it is difficult to achieve a real representation of the building's behaviour. By adjusting the model results with some measured data, we can obtain more accurate and reliable results. This adjustment of the model outputs with the measured data is known as calibration [6]. And as for the calibration in commercial tools, it is verified the patent lack of integrated tools and automated methods that could help the calibration [6].

Trying to fill in the two most important weaknesses observed in the energy simulation tools, the difficulty of use and the calibration of the models, BCORE tool, an own development software was born. It is a new automated building energy simulation and calibration tool. This software allows any user, without having to be an expert in the management of Information Technology (IT), to perform building energy simulations in a friendly framework and through a clear and intuitive interface. This is an innovative solution, since through a holistic approach this program integrates into a single tool, multiple utilities and applications that are currently not available in any commercial software of the market. Among these software capabilities, the automated calibration of the simulations highlights, allowing to obtain highly realistic models.

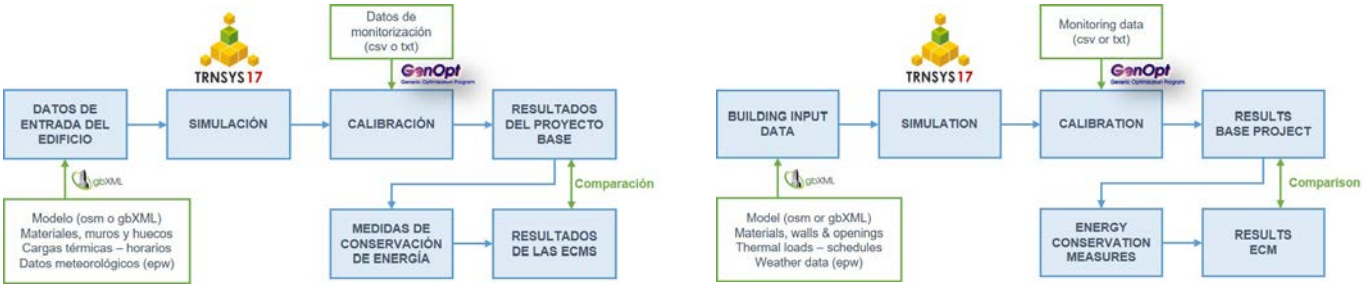


Fig. 1. Esquema general de funcionamiento del software BCORE
Overall operating scheme of BCORE software

te no se encuentran disponibles en ningún software comercial del mercado. Entre estas capacidades del software destaca la calibración automatizada de las simulaciones permitiendo obtener modelos altamente realistas.

2. Bcore: herramienta de simulación y calibración automatizada

2.1. Descripción general

BCORE es una herramienta BEM de desarrollo propio. Se presenta como una herramienta web y como tal solamente se necesita conexión a internet y un navegador web para utilizarla. Este software permite la simulación y calibración automatizadas de un edificio. Además, presenta un marco sencillo y fácilmente utilizable por cualquier usuario final sin necesidad de ser un experto en TI. Actualmente la herramienta se encuentra disponible en dos idiomas diferentes, inglés y español. El funcionamiento del programa se basa en la introducción del modelo del edificio, su geometría, su envolvente, sus cargas térmicas y sus sistemas de generación y distribución de energía. Estos datos del edificio así como datos meteorológicos del emplazamiento del edificio en formato EnergyPlus Weather (EPW) son necesarios para la realización de la simulación. Para la simulación se utiliza TRNSYS, un programa que simula el comportamiento de sistemas transitorios, como motor de cálculo. Normalmente, una primera simulación no genera resultados realistas, siempre hay discrepancias entre los resultados de la simulación y los datos reales y un modelo que no es realista resulta completamente inútil, no sirve para analizar el comportamiento energético de un edificio. En este punto, es donde el software presenta su principal contribución, que es la capacidad de calibrar automáticamente el modelo del edificio. Para ello, se utilizan datos de monitorización reales del edificio, de consumo, de temperatura y de humedad relativa. Esta calibración se realiza a través del software de optimización de GenOpt. Una vez simulado y calibrado el modelo, BCORE presenta resultados de temperatura, potencia y demanda en función del mes del año o de la zona térmica. Otra fortaleza del software radica en su capacidad para definir distintas Medidas de Conservación de Energía (MCE) que se pueden comparar con el proyecto

2. Bcore: automated simulation and calibration toolción automatizada

2.1. Overview

BCORE is an own development BEM tool. It is presented as a web application so only internet connection and a web browser is needed to use it. This software allows the automated simulation and calibration of a building. In addition, it presents a simple framework and easily usable by any end user without needing to be an IT expert. Currently the program is available in two different languages, English and Spanish. The operation of the program is based on the introduction of the building model, its geometry, enclosures, thermal loads and energy generation and distribution systems. This building data as well as weather data from the building site in EnergyPlus Weather (EPW) format are necessary for the simulation. To simulate, TRNSYS, a program that simulates the behaviour of transient systems, is used as calculation engine. Normally, a first simulation does not produce realistic results, there are always discrepancies between the results of the simulation and the real data. A model that is not realistic is completely useless, it is useless to analyse the building energy performance. At this point, it is where the software presents its main contribution, which is the ability to automatically calibrate the building model. For this, real building monitoring data, consumption, temperature and relative humidity are used. This calibration is done through GenOpt optimization software. Once simulated and calibrated the model, BCORE presents results of temperature, power and demand depending on the month of the year or the thermal zone. Another strength of the software lies in the ability to define different Energy Conservation Measures (ECM) that can be compared with the base project. In Figure 1 the general operation of BCORE software can be observed through a diagram.

2.2. Building model definition

The starting point of the BCORE software is a geometric and constructive model of the study building that can be imported directly into the

base. En la Figura 1 se puede observar a través de un esquema el funcionamiento general del software BCORE.

2.2. Definición del modelo del edificio

El punto de partida del software BCORE es un modelo geométrico y constructivo del edificio en estudio que puede ser importado directamente a la herramienta en formato OpenStudio Model (OSM) o Green Building XML (gbXML). El edificio debe estar dividido en zonas térmicas. Una zona térmica es la unidad básica en el modelo de un edificio, y se puede corresponder con un espacio o habitación o con varios espacios o habitaciones. Para abrir un nuevo proyecto en BCORE solamente es necesario arrastrar el archivo del modelo geométrico a la pantalla del navegador en el que se encuentre abierto el programa. A continuación, el software permite la creación de un modelo energético del edificio completo a través de la pestaña "Building" donde se pueden introducir el resto de datos necesarios previos a la simulación. Tal y como se observa en la Figura 2, en la pestaña del edificio se completan datos sobre parámetros generales del edificio, sobre materiales, muros y huecos, es decir, puertas y ventanas. También se introducen las cargas térmicas y los sistemas de generación y distribución de energía, y se pueden observar los elementos y los horarios del modelo. En los parámetros generales se puede introducir información sobre las plantas, sobre la orientación del edificio, en relación a las características del terreno y al modelo de cálculo de las infiltraciones que puede ser el modelo k1 k2 k3, el modelo Laurence Berkeley Laboratory (LBL) o el modelo Sherman-Grimsrud.

Además, tal y como se comentó anteriormente, se pueden definir todas y cada una de las cargas térmicas que soporta el edificio en estudio así como los horarios de las mismas en la pestaña "Thermal zones". En concreto, las infiltraciones, la ocupación, la iluminación, los equipos, la calefacción, la refrigeración, la ventilación y el confort, tal y como se puede observar en la Figura 3. Para cada una de las cargas térmicas es posible definir un horario concreto mediante un sistema gráfico muy intuitivo en el que el usuario puede establecer dentro de un mismo horario diferentes rangos en función de la época del año o por ejemplo si es fin de semana o un día festivo. Además, se pueden definir distintos horarios en las diferentes zonas térmicas en las que se divide el edificio. También es posible introducir los puentes térmicos en las superficies que se considere necesario. El proyecto completo se puede guardar y el archivo guardado tiene un formato .bcore propio de la aplicación.

2.3. Simulación y calibración del edificio

Una vez el modelo del edificio está completamente definido se puede proceder a su simulación. El motor de cálculo es TRNSYS [7], un software de simulación transitoria con una estructura modular formada por componentes denominados "Types".

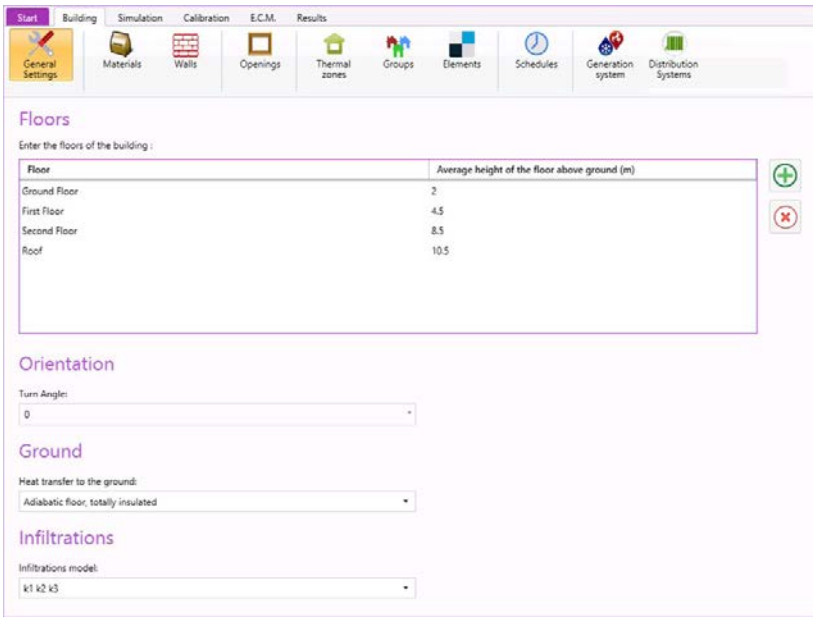


Fig. 2. Pestaña "Building" de BCORE
"Building" tab in BCORE

tool in OpenStudio Model (OSM) or Green Building XML (gbXML) format. The building must be divided into thermal zones. A thermal zone is the basic unit in the model of a building, and can correspond with a space or room or with several spaces or rooms. To open a new project in BCORE, it is only necessary to drag the file of the geometric model to the browser screen in which the program is open. Next, the software allows the creation of an energy model of the complete building through the tab "Building" where the user can enter the rest of the necessary data prior to the simulation. As shown in Figure 2, data on general parameters of the building, on materials, walls and openings, i.e. doors and windows, are completed in the tab of the building. Thermal loads and energy generation and distribution systems are also introduced, and the elements and schedules of the model can be observed. In general parameters information about the floors, the building orientation, characteristics of the ground and the model of infiltrations calculation can be completed. The infiltration models can be the k1 k2 k3 model, Laurence Berkeley Laboratory (LBL) model or the Sherman-Grimsrud model.

In addition, as discussed above, the user can define each thermal load that the building under study supports as well as their schedules in the "Thermal zones" tab. In particular, infiltrations, occupancy, lighting, equipment, heating, cooling, ventilation and comfort, as can be observed in Figure 3. For each of the thermal loads it is possible to define an specific schedule using of a very intuitive graphic system in which the user can establish within a same schedule different ranges depending on the time of the year or for example if it is weekend or holiday. In addition, different schedules can be defined in the different thermal zones in which the building is

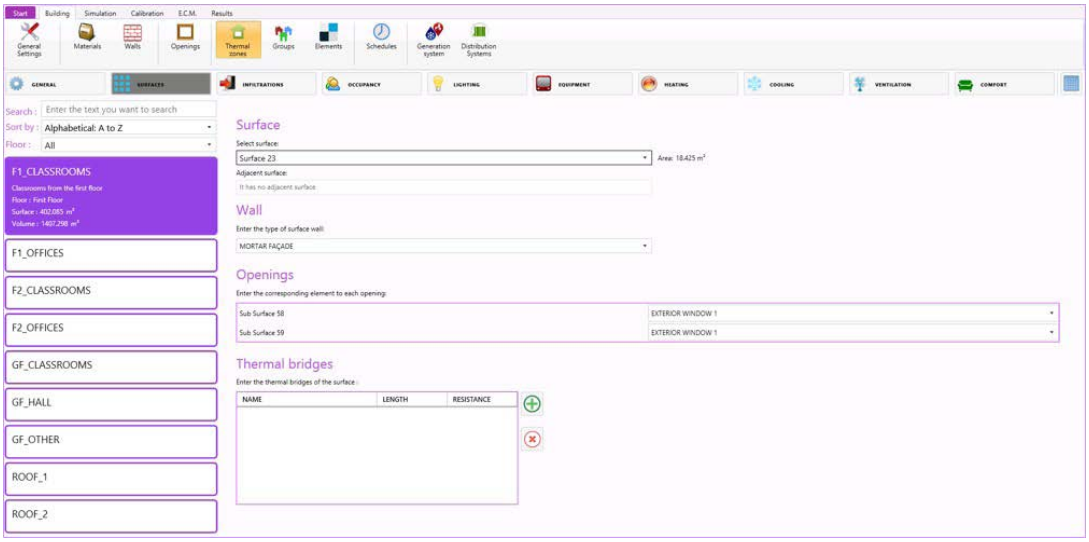


Fig. 3. Pestaña "Thermal zones" de BCORE
"Thermal zones" tab in BCORE

Los modelos de TRNSYS son de código abierto y los "Types" son utilizados para modelar las múltiples zonas de un edificio y los sistemas de climatización [8]. Estos componentes están organizados a través de una interfaz gráfica de usuario llamada TRNSYS Simulation Studio y la construcción del edificio puede realizarse con la introducción de datos en una interfaz visual conocida como TRNBuild [9]. Además, TRNSYS integra una librería conocida como librería TESS que incluye más de 500 "Types". El usuario de BCORE no necesita conocer el funcionamiento ni manejar TRNSYS, un programa muy preciso y completo pero muy complicado de utilizar.

Antes de comenzar la simulación se selecciona la carpeta de salida de los resultados, se introduce el archivo meteorológico en formato EPW del lugar dónde se encuentra el edificio, la duración de la simulación indicando fecha y hora de inicio y final de dicha simulación, el timestep de la simulación y las salidas de simulación que interesen. Estas salidas pueden ser temperatura, confort y balance de energía. En el caso de que se hayan seleccionados sistemas de generación y de distribución de energía, es posible marcar más salidas de resultados como consumo de combustible, consumo de potencia eléctrica, demanda del sistema de distribución, pérdidas del sistema de distribución y estado del equipo. También se puede indicar el calendario de vacaciones para que la simulación sea lo más exacta posible. La simulación se realiza automáticamente y el usuario puede observar el progreso de la simulación en la pantalla tal y como se observa en la Figura 4.

Tal y como se comentó anteriormente, lo habitual es que el edificio simulado no se comporte de la misma manera en que lo hace el edificio real. Existe diferencia entre el comportamiento real del edificio y el resultado de la simulación. Por lo tanto, el modelo del edificio necesita ser calibrado. La calibración es necesaria para reducir estas discrepancias entre los resultados de simulación y los datos reales. Muchos estudios han constatado esta diferencia entre los

divided. It is also possible to introduce thermal bridges on surfaces if necessary. The entire project can be saved and the saved file has .bcore format, an own format of the application.

2.3. Building simulation and calibration

Once the model of the building is completely defined the user can proceed to its simulation. The calculation engine is TRNSYS [7], a transient simulation software with a modular structure formed by components called "Types". The TRNSYS models are open source and the "Types" are used to model the multiple zones of a building and HVAC systems [8]. These components are organized through a graphical user interface called TRNSYS Simulation Studio and the construction of the building can be done with the introduction of data in a visual interface known as TRNBuild [9]. In addition, TRNSYS integrates a library known as TESS library that includes more than 500 "Types". The user of BCORE does not need to know the operation nor to handle TRNSYS, a program very precise and complete but very complicated to use.

Before starting the simulation, the output folder of the results is selected, the weather file of the place where the building is located is inserted in EPW format, the duration of the simulation indicating date and time of start and end of that simulation, the simulation timestep and the outputs of simulation. These outputs can be temperature, comfort and energy balance. If energy generation and distribution systems have been selected, it is possible to choose more outputs such as fuel consumption, electrical power consumption, distribution system demand, distribution system losses and equipment status. The user can also indicate the holiday schedule so that the simulation is as accurate as possible. The simulation is performed automatically and the user can observe the progress of the simulation on the screen as shown in Figure 4.

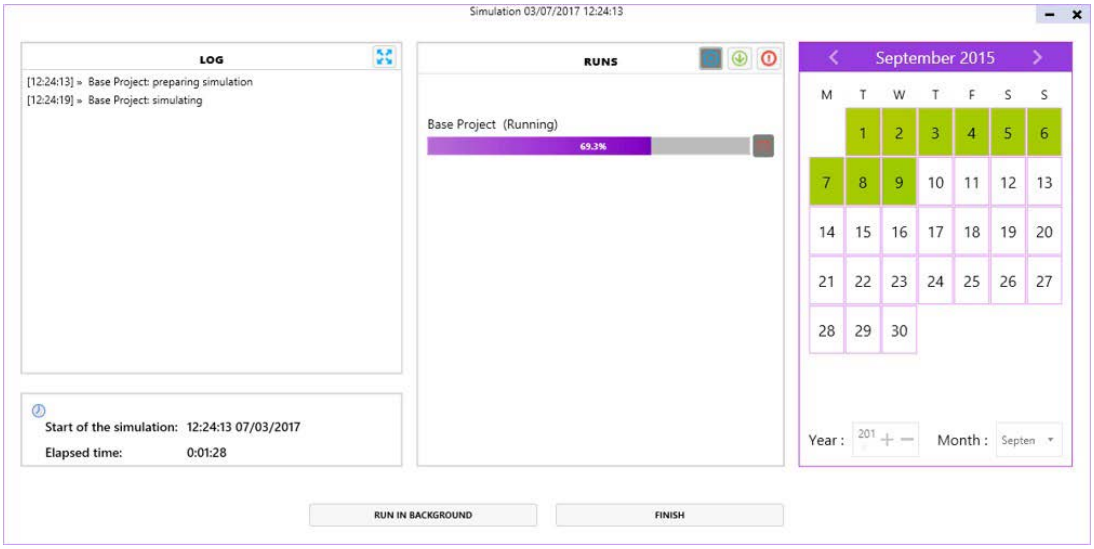


Fig. 4. Pantalla de progreso de una simulación
Progress screen of a simulation

resultados de modelos simulados y el consumo real de energía de un edificio, llegando a diferencias de hasta un 100% [10]. Esto socava la confianza en las predicciones del modelo y reduce la utilización de herramientas BEM durante el diseño, puesta en marcha y operación del edificio, ya que para que estas herramientas se utilicen con un cierto grado de confianza, es necesario que el modelo existente represente más adecuadamente el comportamiento real del edificio en estudio [6]. La calibración en BCORE está automatizada y se realiza utilizando la herramienta de optimización GenOpt, la cual mediante un algoritmo de búsqueda genera la opción de calibración óptima. El primer paso de la calibración es la introducción de los datos reales que pueden ser el consumo energético anual en kWh, las temperaturas o las humedades relativas de las distintas zonas térmicas del edificio. Los datos de temperatura y humedad relativa pueden ser introducidos en archivos de texto en formato Comma Separated Values (CSV) o TXT. Una vez los datos de monitorización disponibles han sido introducidos, se configura la calibración a realizar seleccionando los datos reales que se van a utilizar y los parámetros que van a ser calibrados. Estos parámetros pueden ser el espesor de capa, los horarios de cualquiera de las cargas térmicas del edificio, los vidrios o los puentes térmicos. La calibración se realiza de forma automática y el programa calcula y realiza las simulaciones necesarias variando los parámetros considerados hasta obtener una solución óptima. En este proceso se minimiza la función de coste variando los parámetros que se van a calibrar entre los valores especificados. El programa también calcula los errores obtenidos antes y después de la calibración. La Directriz 14 de la ASHRAE [11] establece que un edificio completo puede considerarse calibrado cuando el modelo tiene un Error Normalizado Medio (NMBE) menor o igual al 5 % y un Coeficiente de Variación del Error Cuadrático Medio (CV(RMSE)) menor o igual al 15% relativo a datos de calibración mensuales. Si los datos de muestreo son horarios, estos requerimientos deberán ser del 10% y del 30%, respectivamente. Por

As mentioned previously, usually the simulated building does not behave in the same way as the real building does. There is a difference between the actual behaviour of the building and the result of the simulation. Therefore, the building model needs to be calibrated. Calibration is necessary to reduce these discrepancies between simulation results and actual data. Many studies have found this difference between the results of simulated models and the actual energy consumption of a building, reaching differences of up to 100% [10]. This undermines confidence in the predictions of the model and reduces the use of BEM tools during the design, start-up and operation of the building, since for these tools to be used with a certain degree of confidence, it is necessary that the existing model represents more properly the actual behaviour of the building under study [6]. Calibration in BCORE is automated and performed using the GenOpt optimization tool, which uses a search algorithm to generate the optimum calibration option. The first step of the calibration is the introduction of the actual data that can be the annual energy consumption in kWh, the relative temperatures or humidities of the different thermal zones of the building. Temperature and relative humidity data can be entered into text files in Comma Separated Values (CSV) or TXT format. Once the available monitoring data has been entered, the calibration is set by selecting the actual data to be used and the parameters to be calibrated. These parameters can be the layer thickness, the schedules of any of the thermal loads of the building, the glasses or the thermal bridges. The calibration is performed automatically and the program calculates and performs the necessary simulations by varying the considered parameters until obtaining an optimal solution. In this process, the cost function is minimized by varying the parameters to be calibrated between the specified values. The program also calculates the errors obtained before and after the calibration.

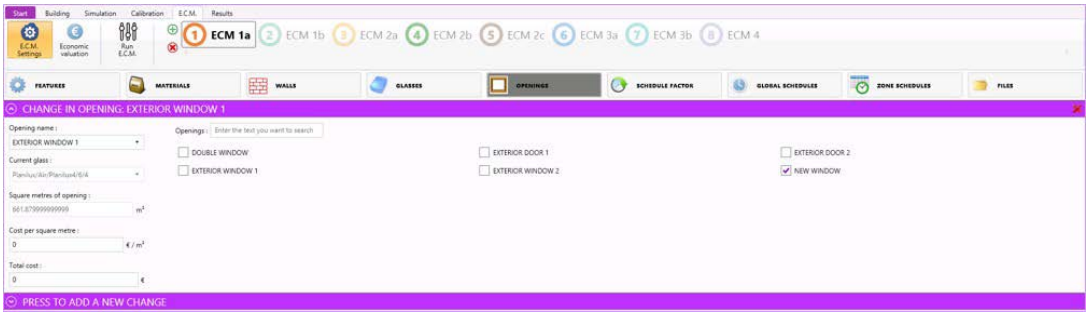


Fig. 5. Pestaña de MCE de BCORE
ECM tab in BCORE

otra parte, se están probando y desarrollando nuevos métodos de calibración para ser implementados en dicha herramienta y conseguir así un modelo energético prácticamente idéntico a la realidad.

2.4. Medidas de conservación de energía y presentación de resultados

Una vez el modelo del edificio está calibrado y se comporta como el edificio real ya se puede utilizar para implementar MCE. Estas MCE permiten llevar a cabo la parametrización del modelo y simular cambios tanto en la envolvente del edificio como en la realidad de uso o en los datos meteorológicos. El objetivo de simular estas MCE es mejorar el comportamiento del edificio y conseguir ahorros energéticos. Para este propósito, BCORE tiene una sección en la que el usuario puede introducir diferentes medidas y calcular el ahorro energético obtenido. En la siguiente Figura 5 se puede observar una visión general de las posibilidades de MCE que presenta el programa, y en concreto seleccionado un cambio de ventana. Además, se pueden implementar medidas modificando las características generales de construcción del edificio, su grado de estanqueidad, los materiales de cualquiera de los muros del edificio, los muros completos, las ventanas o únicamente los vidrios. También se pueden modificar los horarios de las cargas térmicas, el factor multiplicador del horario o el horario completo.

Una vez la simulación del proyecto base y de las simulaciones paramétricas de las MCE termina, se genera una carpeta con los archivos de salida del proyecto que luego se cargan en el programa. BCORE muestra los resultados en la pestaña "Results", que dependen de las salidas seleccionadas previamente en la simulación. Los resultados de temperatura, potencia y demanda se pueden mostrar de manera general, por planta o por zona térmica. Además, los resultados se representan en gráficos de barras, de líneas o circulares. El programa también permite la descarga de los resultados de demanda en un archivo independiente que luego puede ser tratado por el usuario.

3. Aplicación de BCORE: caso de estudio en un colegio

El grado de desarrollo de la herramienta BCORE es muy alto y su aplicación en el mercado puede ser inmediata. Para demostrar su potencial y vali-

The ASHRAE Guideline 14 [11] establishes that a complete building can be considered calibrated when the model has a Normalized Mean Bias Error (NMBE) of less than or equal to 5% and a Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error (CV(RMSE)) of less than or equal to 15% relative to monthly data. If the sampling data are hourly, these requirements should be 10% and 30%, respectively. On the other hand, new calibration methods are being tested and developed to be implemented in BCORE tool and thus to achieve an energy model practically identical to reality.

2.4. Energy conservation measures and results presentation

once the building model is calibrated and behaves as the actual building, it can already be used to implement ECM. These ECMs allow to carry out parameterization of the model and simulate changes in the enclosure of the building as well as in the reality of use or in the meteorological data. The objective of simulating these ECMs is to improve the building's behaviour and achieve energy savings. For this purpose, BCORE has a section in which the user can introduce different measures and calculate the energy savings obtained. In the following Figure 5 an overview of the possibilities of ECM that the program presents, and in particular a change of window can be observed. In addition, measures can be implemented by modifying the building's general construction characteristics, its degree of tightness, the materials of any of the building's walls, complete walls, windows or only the glass. The user can also modify the schedules of the thermal loads, the multiplier factor of the schedule or the complete schedule.

Once the simulation of the base project and the parametric simulations of the ECMs is finished, a folder is generated with the output files of the project that are then loaded into the program. BCORE displays the results in the "Results" tab, which depend on the outputs previously selected in the simulation. The results of temperature, power and demand can be shown in general, by floor or by thermal zone. In addition, the results are represented in bar, line or circular graphs. The program also allows the download of the demand results in a separate file that can then be processed by the user.

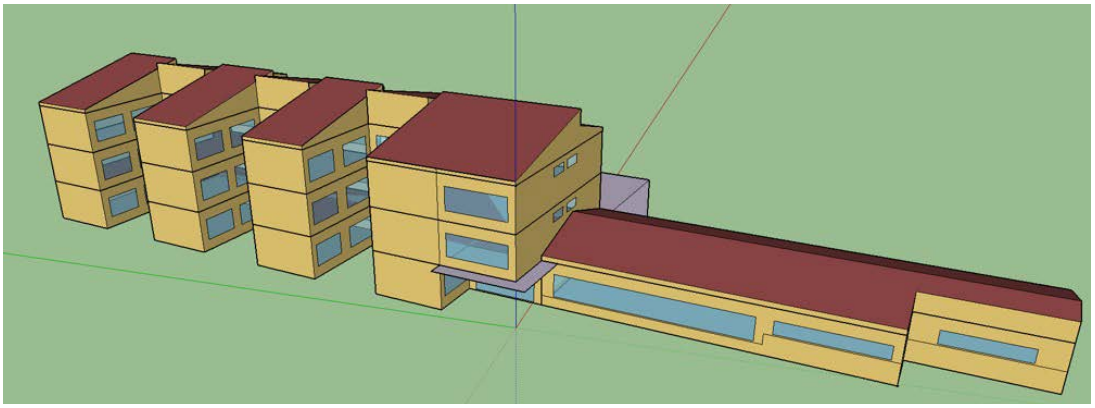


Fig. 6. Modelo geométrico del edificio de estudio realizado en SketchUp con el plug-in de OpenStudio
Geometric model of the building done using SketchUp and the OpenStudio plug-in

dar su funcionamiento se expone a continuación un ejemplo completo aplicado a un colegio de A Coruña, Galicia, España. El colegio se modela, se simula, se calibra y se le aplican MCE tal y como se muestra a continuación. El objetivo del caso de estudio también es mostrar la facilidad de manejo del programa y el aspecto de la interfaz.

El primer paso es generar el modelo geométrico del edificio de estudio para poder introducirlo en el programa. El modelo geométrico del colegio se realiza en SketchUp con el plug-in de OpenStudio tal y como se puede observar en la Figura 6. El archivo generado es un OSM y para poder abrirlo con BCORE solo es necesario arrastrarlo a la ventana del navegador, ya que BCORE es una aplicación web. El modelo se trata de un edificio formado por 9 zonas térmicas, con 192 superficies y 120 sub-superficies, es decir puertas y ventanas.

A continuación se completa el modelo del edificio comenzando por los parámetros generales en los que se determina la transferencia de calor con el terreno, en concreto se establece suelo adiabático totalmente aislado y se establece el modelo k1, k2, k3 para el cálculo de las infiltraciones. Este modelo de cálculo consiste en un método empírico que estima el intercambio de aire por hora dependiendo del nivel de estanqueidad del edificio, de la temperatura ambiente, de la temperatura interior y de la velocidad del viento. Seguidamente se establecen los materiales. El modelo geométrico suele traer unos materiales por defecto definidos en el diseño del edificio, pero también pueden definirse nuevos materiales o importarlos de librerías predefinidas disponibles para el usuario de BCORE. Para definir un nuevo material se necesitan conocer sus propiedades, en concreto su capacidad calorífica (J/kg), su conductividad (W/m·K) y su densidad (kg/m^3). También se necesita conocer su resistencia térmica (m^2·K/W) en el caso de que sea un material sin masa. El programa permite la definición de los muros y de los huecos del edificio. En la Tabla 1 se muestran los tipos de superficies que forman el colegio y en la Tabla 2 el tipo de sub-superficies presentes en el colegio.

3. Bcore application: case study in a school

The degree of development of the BCORE tool is very high and its application in the market can be immediate. To demonstrate its potential and to validate its operation a complete example applied to a school in A Coruña, Galicia, Spain, is presented below. The school is modelled, simulated, calibrated and ECM are applied to it as explain next. The purpose of the case study is also to show the ease of use of the program and interface appearance.

The first step is to generate the geometric model of the building to be able to enter it into the program. The geometric model of the school is made in SketchUp with the OpenStudio plug-in as shown in Figure 6. The generated file is an OSM and in order to open it with BCORE, it is only necessary to drag it to the web browser window, as BCORE is a web application. The model is a building formed by 9 thermal zones, with 192 surfaces and 120 sub-surfaces, i.e. doors and windows.

Next, the model of the building is completed, starting with the general parameters in which the heat transfer with the ground is determined, in particular a totally isolated adiabatic ground is established and the model k1, k2, k3 for the infiltrations calculation is set. This model of calculation consists of an empirical method that estimates the exchange of air per hour depending on the level of tightness of the building, the ambient temperature, the room temperature and the wind speed. The materials are then established. The geometric model usually brings some predefined materials defined in the building design, but new materials can also be defined or imported from predefined libraries available to the BCORE user. In order to define a new material it is necessary to know its properties, namely its heat capacity (J/kg), its conductivity (W/m·K) and its density (kg/m^3). It is also necessary to know its thermal resistance (m^2·K/W) if it is a material without mass. The program allows the definition of the walls and openings of the building. Table 1 shows the types of surfaces that make up the school and in Table 2 the type of sub-surfaces present in the school.

Tabla 1: Características de los muros que forman el edificio en estudio

NOMBRE	U (W/m²K)	ESPESOR TOTAL (m)	MATERIAL	ESPESOR DE CAPA (m)
Cubierta vertical de ladrillo	3.14	0.17	Mortero cemento densidad 1900	0.015
			Fábrica ladrillo cerámico LH simple	0.04
			Cámara aire ligeramente ventilada vertical	0
			Fábrica ladrillo cerámico LH doble	0.08
			Mortero cemento densidad 1900	0.015
			Plaqueta o baldosa cerámica	0.02
Cubierta vertical	3.35	0.15	Mortero cemento densidad 1900	0.015
			Fábrica ladrillo cerámico LH simple	0.04
			Cámara aire ligeramente ventilada vertical	0
			Fábrica ladrillo cerámico LH doble	0.08
			Mortero cemento densidad 1900	0.015
Cubierta	31.33	0.015	Placa de fibrocemento	0.015
Forjado cubierta	3.63	0.25	FU_Entrevigado cerámico	0.25
Fachada mortero	3.35	0.15	Mortero cemento densidad 1900	0.015
			Fábrica ladrillo cerámico LH simple	0.04
			Cámara aire ligeramente ventilada vertical	0
			Fábrica ladrillo cerámico LH doble	0.08
			Mortero cemento densidad 1900	0.015
Fachada ladrillo	3.14	0.17	Mortero cemento densidad 1900	0.015
			Fábrica ladrillo cerámico LH simple	0.04
			Cámara aire ligeramente ventilada vertical	0
			Fábrica ladrillo cerámico LH doble	0.08
			Mortero cemento densidad 1900	0.015
			Plaqueta o baldosa cerámica	0.02
Forjado	3.19	0.30	Gres cuarzoso 2600 d 2800	0.02
			Mortero cemento 1400 d 1600	0.03
			FU_Entrevigado cerámico	0.25
Solera	20	0.1	Hormigón en masa 2300 d 2600	0.1
Tabique	4.80	0.11	Mortero cemento densidad 1900	0.015
			Fábrica ladrillo cerámico LH doble	0.08
			Mortero cemento densidad 1900	0.015
Forjado aire	2.91	0.33	Gres cuarzoso 2600 d 2800	0.02
			Mortero cemento 1400 d 1600	0.03
			FU_Entrevigado cerámico	0.25
			Mortero cemento 1400 d 1600	0.03

Tabla 2: Características de las puertas y ventanas que forman el edificio en estudio

NOMBRE	VIDRIO	MARCO (%)
Puerta exterior 1	Planilux6mm	60
Puerta exterior 2	Planilux6mm	30
Ventana exterior 1	Planilux/Air/Planilux4/6/4	25
Ventana exterior 2	Planilux6mm	25

A continuación, tal y como se explicó anteriormente, se completan todas y cada una de las cargas térmicas conocidas del edificio así como los horarios de dichas cargas en infiltraciones, ocupación, iluminación, equipos, calefacción, refrigeración, ventilación y confort. En este caso los colegios no disponen de refrigeración y la demanda de calefacción se calcula como un sistema ideal. El programa permite utilizar sistemas de generación y distribución de energía o calcular la demanda ideal de calefacción, en este último caso no se calcula un sistema de calefacción sino que se mantiene la temperatura deseada en cada zona térmica indicada en el horario.

Next, as explained above, each thermal load of the building is completed as well as the schedules of such loads in infiltrations, occupancy, lighting, equipment, heating, cooling, ventilation and comfort. In this case the schools do not have cooling system and the heating demand is calculated as an ideal system. The program allows to use energy generation and distribution systems or calculate the ideal heating demand. In the latter case a heating system is not calculated but the desired temperature is maintained in each thermal zone indicated in the schedule.

After completing the model and before carrying out the first simulation, a weather file from

Table 1: Walls properties of the building

NAME	U (W/m²K)	TOTAL THICKNESS (m)	MATERIAL	LAYER THICKNESS (m)
Brick vertical roof	3.14	0.17	Mortar cement lime	0.015
			Simple air brick	0.04
			Vertical air chamber	0
			Double air brick	0.08
			Mortar cement lime	0.015
			Ceramic slate or tile	0.02
Vertical roof	3.35	0.15	Mortar cement lime	0.015
			Simple air brick	0.04
			Vertical air chamber	0
			Double air brick	0.08
			Mortar cement lime	0.015
Roof	31.33	0.015	Asbestos cement	0.015
Roof slab	3.63	0.25	Unidirectional slab	0.25
Mortar façade	3.35	0.15	Mortar cement lime	0.015
			Simple air brick	0.04
			Vertical air chamber	0
			Double air brick	0.08
			Mortar cement lime	0.015
Brick façade	3.14	0.17	Mortar cement lime	0.015
			Simple air brick	0.04
			Vertical air chamber	0
			Double air brick	0.08
			Mortar cement lime	0.015
			Ceramic slate or tile	0.02
Slab	3.19	0.30	Stoneware 2600 d 2800	0.02
			Mortar cement lime 1400 d 1600	0.03
			Unidirectional slab	0.25
Floor	20	0.1	Poured concrete 2300 d 2600	0.1
Partition	4.80	0.11	Mortar cement lime	0.015
			Double air brick	0.08
			Mortar cement lime	0.015
Air slab	2.91	0.33	Stoneware 2600 d 2800	0.02
			Mortar cement lime 1400 d 1600	0.03
			Unidirectional slab	0.25
			Mortar cement lime 1400 d 1600	0.03

Table 2: Openings properties of the building

NAME	GLASS	FRAME (%)
Exterior door 1	Planilux6mm	60
Exterior door 2	Planilux6mm	30
Exterior window 1	Planilux/Air/Planilux4/6/4	25
Exterior window 2	Planilux6mm	25

Una vez completado el modelo y antes de realizar la primera simulación se introduce un archivo meteorológico de A Coruña que es el lugar del emplazamiento del colegio y del año 2015 que es el año completo que se simula. A continuación se simula el año completo y se observa en resultados la demanda anual que resulta ser 20,216 kWh/año. Se conoce como dato que el consumo anual del año 2015 fue de 26,048 kWh/año, por lo que se utiliza este dato para calibrar. El parámetro a calibrar es las infiltraciones, ya que resulta un dato muy complicado de conocer a priori en un edificio por la dificultad de su medida. Por lo tanto, se calibran las infiltraciones del colegio y en la Figura 7 se puede

A Coruña is introduced, which is the location of the school, and of the year 2015, which is the entire year that is simulated. Next, the full year is simulated and the annual demand resulted in 20,216 kWh/year as observed in results. It is known as data that the annual consumption of the year 2015 was of 26,048 kWh/year, reason why this data is used to calibrate. The parameter to be calibrated is the infiltrations, since it is a very complicated parameter to know a priori in a building because of the difficulty of its measurement. Therefore, the infiltrations of the school are calibrated and in Figure 7 the calibration result can be observed. The initial value 1 of the

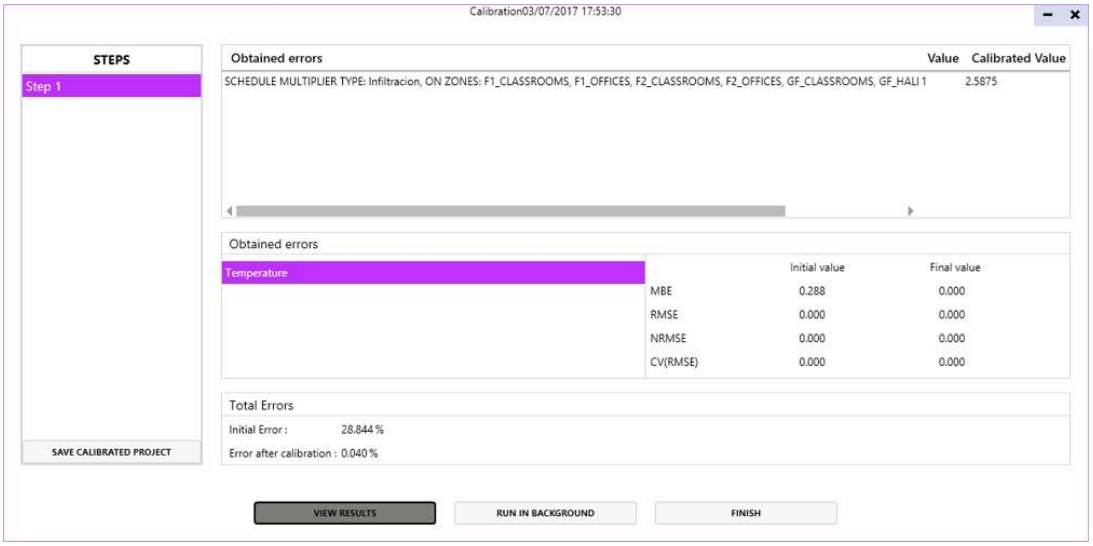


Fig. 7. Resultados de la calibración del colegio utilizando el consumo anual
School calibration results using annual consumption

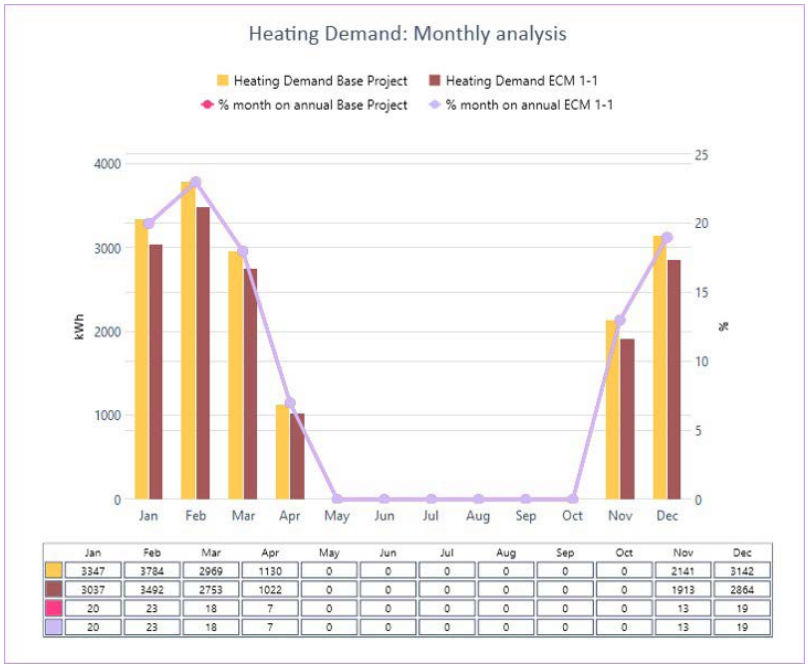


Fig. 8. Demanda de calefacción mensual para el proyecto base y para la MCE 1
Monthly heating demand of the base project and ECM 1

observar el resultado de la calibración. El valor inicial 1 del factor multiplicador de las infiltraciones pasa a substituirse por el valor calibrado 2.5875. También se observa el valor inicial del error del modelo 28.84% y el valor final del error 0.04%.

Una vez el modelo del edificio ya está calibrado, se conoce el comportamiento real del mismo y por lo tanto se pueden simular modificaciones en la envolvente, en el uso, en el equipamiento, etc. y analizar si estos cambios suponen un ahorro energético o una mejora en la gestión de la energía del edificio. En el colegio se simulan distintas MCE, la sustitución de un tipo de ventana por otra, la instalación de doble ventanal, el aislamiento de la fachada y el aislamiento de la cubierta. El programa simula las distintas medidas de forma paramétrica y permite observar los resultados de manera gráfica comparando las distintas medidas entre sí y respecto al proyecto base. Por ejemplo, en la Figura 8 se puede observar la demanda de energía

multiplier factor of the infiltrations is replaced by the calibrated value 2.5875. The initial error value of the model 28.84% and the final value of the error 0.04% are also observed.

Once the model of the building is calibrated, the actual behaviour of the building is known and therefore it is possible to simulate modifications in the enclosures, in the use, in the equipment, etc. and to analyse whether these changes involve an energy saving or an improvement in the energy management of the building. Several ECMs of the school are simulated, the replacement of one type of window by another, the installation of double glazing, the insulation of the façade and the insulation of the roof. The program simulates the different measures in a parametrically and allows to observe the results graphically comparing the different ECMs with respect to the base project. For example, Figure 8 shows the monthly energy demand during the year 2015 for the base project and for the ECM 1 that was the replacement of one type of window by another. It can be observed that in all months the demand for heating is lower for the ECM than for the base project.

Conclusions

This article presents BCORE, an automated energy simulation and calibration software for building. The program is at an advanced stage of its development and has proved to be a very useful tool and with important advantages over other commercial programs available. The main differentiators of this software compared to other programs are:

- First and foremost, it is the automated calibration of the simulation, allowing to obtain highly realistic results.
- Incorporation of predefined and expandable libraries of materials and enclosures for any type of building.

gía mensual durante el año 2015 para el proyecto base y para la primera medida estudiada que fue la sustitución de un tipo de ventana por otra. Se puede observar como en todos los meses la demanda de calefacción es menor para la MCE que para el proyecto base.

Conclusiones

En este artículo se presenta BCORE un software de simulación y calibración energética automatizada para edificación. El programa se encuentra en un punto avanzado de su desarrollo y se ha demostrado que resulta una herramienta muy útil y con importantes ventajas sobre otros programas comerciales disponibles. Los principales puntos diferenciadores de este software en comparación con otros programas son:

- Primero y más destacado, es la calibración automatizada de la simulación, permitiendo obtener resultados altamente realistas.
- Incorporación de librerías predefinidas y expandibles de materiales y envolventes para cualquier tipo de edificio.
- Provisión de diferentes modelos de infiltraciones que calculan las cargas utilizando técnicas estadísticas.
- Parametrización del modelo para simular cambios en la envolvente del edificio, la realidad de uso o los datos meteorológicos a través de la implementación de MCE, que permiten al usuario, a través de una evaluación técnica, el gestionar el edificio de la manera más eficiente posible.
- Incorporación de sistemas básicos predefinidos de generación y distribución de energía térmica en un edificio.
- Interfaz de fácil manejo, clara e intuitiva.
- Provision of different infiltration models that calculate loads using statistical techniques.
- Parameterization of the model to simulate changes in the building enclosures, the reality of use or the weather data through the implementation of ECM, which allow the user, through a technical evaluation, to manage the building efficiently.
- Incorporation of predefined basic energy generation and distribution systems in a building.
- Friendly framework, clear and intuitive interface.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen apoyo económico al proyecto europeo Enginency No. 720661 financiado por el programa de investigación e innovación Horizon 2020 de la Unión Europea y al proyecto nacional ENE2015-65999-C2-1-R financiado por el Gobierno de España (Ministerio de Economía, Industria y Competitividad).

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge financial support from the project Enginency that has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No. 720661 and from the national project ENE2015-65999-C2-1-R, by the Spanish Government (Economy, Industry and Competitiveness Ministry).

REFERENCIAS

1 European Comission Energy Building, https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency.

2 DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings.

3 R. Volk, J. Stengel, F. Schultmann, Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs, Automation in Construction, 38 (2014) 109-127.

4 E. Franconi, K. Tupper, B. Herrschaft, C. Schiller, R. Hutchinson, Building Energy Modeling for Owners and Managers, in: - (Ed.) A guide to specifying and securing services, Rocky Mountain Institute, Rocky Mountain Institute, 2013, pp. 30.

5 D.B. Crawley, J.W. Hand, M. Kummert, B.T. Griffith, Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs, Building and Environment, 43 (4) (2008) 661-673.

6 D. Coakley, P. Raftery, M. Keane, A review of methods to match building energy simulation models to measured data, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 37 (2014) 123-141.

7 U.S.A: Solar Energy Laboratory, TRNSYS 17. A transient system simulation program user manual in, University of Wisconsin-Madison, 2012.

8 E. Asadi, M.G. da Silva, C.H. Antunes, L. Dias, A multi-objective optimization model for building retrofit strategies using TRNSYS simulations, GenOpt and MATLAB, Building and Environment, 56 (2012) 370-378.

9 J. Sousa, Energy simulation software for buildings: Review and comparison, in: CEUR Workshop Proceedings, 2012, pp. 57-68.

10 F. Karlsson, P. Rohdin, M.-L. Persson, Measured and predicted energy demand of a low energy building: important aspects when using Building Energy Simulation, Building Services Engineering Research and Technology, 28 (3) (2007) 223-235.

11 ASHRAE, ASHRAE Guideline 14-2002. Measurement of Energy and Demand Savings, 2002.

REFERENCES

1 European Comission Energy Building, https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency.

2 DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings.

3 R. Volk, J. Stengel, F. Schultmann, Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs, Automation in Construction, 38 (2014) 109-127.

4 E. Franconi, K. Tupper, B. Herrschaft, C. Schiller, R. Hutchinson, Building Energy Modeling for Owners and Managers: A guide to specifying and securing services, Rocky Mountain Institute, Rocky Mountain Institute, 2013, pp. 30.

5 D.B. Crawley, J.W. Hand, M. Kummert, B.T. Griffith, Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs, Building and Environment, 43 (4) (2008) 661-673.

6 D. Coakley, P. Raftery, M. Keane, A review of methods to match building energy simulation models to measured data, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 37 (2014) 123-141.

7 U.S.A. Solar Energy Laboratory, TRNSYS 17. A transient system simulation program user manual in, University of Wisconsin-Madison, 2012.

8 E. Asadi, M.G. da Silva, C.H. Antunes, L. Dias, A multi-objective optimization model for building retrofit strategies using TRNSYS simulations, GenOpt and MATLAB, Building and Environment, 56 (2012) 370-378.

9 J. Sousa, Energy simulation software for buildings: Review and comparison, in: CEUR Workshop Proceedings, 2012, pp. 57-68.

10 F. Karlsson, P. Rohdin, M.-L. Persson, Measured and predicted energy demand of a low energy building: important aspects when using Building Energy Simulation, Building Services Engineering Research and Technology, 28 (3) (2007) 223-235.

11 ASHRAE, ASHRAE Guideline 14. Measurement of Energy and Demand Savings, 2002.

Definición de las características óptimas de los invernaderos situados en las cubiertas de los edificios para el precalentamiento de aire de ventilación

Definition of the optimum characteristics of greenhouses located on the roofs of buildings to preheat the ventilation air

J. Gainza-Barrencua[1], M. Odriozola-Maritorena[2], Hernández_Minguillón, Rufino[3]

ABSTRACT

Instalando invernaderos en la cubierta de los edificios es posible precalentar el aire de ventilación, reduciendo, las pérdidas provocadas por la renovación de aire y disminuyendo la demanda de calefacción.

La necesidad de ventilación para expulsar el aire viciado en los edificios de viviendas provoca que gran parte de las pérdidas de energía térmica se deba a las renovaciones de aire. Estas pérdidas por ventilación cada vez adquieren mayor importancia debido a que los edificios cada vez están mejor aislados y son más herméticos. Por tanto, siendo el objetivo a corto plazo construir edificios de consumo energético casi nulo, es necesario incidir sobre la optimización de la ventilación.

Los invernaderos permiten captar la radiación solar y calentar su aire interior de una forma simple, económica y eficaz. El vidrio es transparente a la radiación de onda corta, pero opaco a la radiación de onda larga. De esta manera, 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, lo que provoca el calentamiento del espacio interior. En el caso estudiado, el aire precalentado en el invernadero se introduce en el edificio valiéndose del sistema de ventilación mecánica.

Este trabajo analiza 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. Se analiza cuál es el tipo de acristalamiento óptimo, cómo influye el aislamiento de la envolvente opaca y la inercia térmica, la conveniencia o no de acristalar las fachadas, y por último cómo afecta el uso de persianas o aislamientos móviles durante la noche.

Los resultados muestran como instalar un invernadero en la cubierta de un edificio situado en Sarriguren (Navarra), supone ahorros significativos en el consumo energético de calefacción durante el invierno, llegando a alcanzarse ahorros del 65% una vez optimizado el invernadero.

Key Words: invernadero, ahorro energético, ventilación, captación solar, greenhouse, Greenhouse, energy saving, ventilation, solar collection

(1) Department of Architecture, University of the Basque Country (UPV/EHU). (2) Research group ENEDI, Department of Thermal Engineering, University of the Basque Country (UPV/EHU); Alameda Urquijo, S/N, 48013 Bilbao, Bizkaia, Spain. (3) Department of Architecture, University of the Basque Country (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]. En el caso particular del estado español, el consumo de energía asociado al sector residencial representa el 29% del total. El análisis detallado del hogar español medio indica que la calefacción es el servicio con mayor coste energético y supone en torno al 47% del total [2,3]. Mediante directivas europeas se ha tratado de fomentar la eficiencia energética de los edificios [4,5], lo que ha supuesto en el estado español que se apruebe el Código Técnico de la edificación (CTE) [6]. Este documento limita tanto el consumo como la demanda energética de los edificios residenciales [7], pero a su vez, también establece la exigencia de unos caudales mínimos de ventilación en cada local de la vivienda según su ocupación y uso [8].

Con el objetivo de construir edificios de consumo de energía casi nulo, las edificaciones cada vez se realizan más aisladas y herméticas, lo que supone la necesidad de instalar algún sistema de ventilación para preservar la calidad del aire interior. Hay que tener en cuenta que, una adecuada calidad del aire interior, está relacionada con la salud y el confort de los ocupantes del edificio [9,10,11]. Esta necesidad de ventilación, no obstante, produce un aumento de la demanda energética. Awbi [12] establece que el porcentaje asociado a la ventilación se encuentra entre el 30 y 60% del total. Orme [13] estimó el consumo anual de energía debido a la renovación de aire en el sector comercial y residencial de 13 países industrializados, concluyendo que supone aproximadamente el 48% del consumo por calefacción. Existe amplia literatura que establece valores similares [14,15,16,17]. Además, este porcentaje aumenta a medida que los edificios se construyen térmicamente más eficientes (con un nivel de aislamiento térmico y de hermeticidad mayor), por lo que, el potencial de ahorro energético que presenta la ventilación es muy importante.

Para reducir el consumo energético de los edificios se han usado invernaderos adosados a las fachadas o galerías acristaladas en lugares y climas muy diferentes. Su uso también es común en Europa. Mihalakakou, analizó el comportamiento de estos sistemas de calentamiento pasivo en cuatro ciudades europeas: Milán, Dublín, Atenas y Florencia [18]. Chiesa et al, a su vez, estudiaron el funcionamiento de invernaderos en 50 ciudades europeas [19]. Oliveti et al, analizaron la capacidad para calefactar mediante estos sistemas en el clima mediterráneo [20]. El uso de estos invernaderos adosados, también ha sido investigado en el estado español. Torra et al, analizaron el diseño que deben tener tres invernaderos en la ciudad de Barcelona [21]. Monge-Barrio y Sánchez-

1. Introduction

In developed countries, the energy consumption of buildings in the residential and tertiary sector accounts for around 40% of total consumption [1]. In the particular case of Spain, the energy consumption associated with the residential sector represents 29% of the total. The detailed analysis of the average Spanish household indicates that heating is the service with the higher energy cost and accounts for around 47% of the total [2,3]. European directives have sought to promote the energy efficiency of buildings [4,5], which has led to approval of the Technical Building Code (CTE) in the Spanish state [6]. This document limits both the consumption and the energy demand of the residential buildings [7], but in turn, it does also establish the requirement of minimum flows of ventilation in each place according to their occupation and use [8].

With the aim of achieving nearly zero energy buildings (nZEB), the buildings are being built more and more isolated and airtight, which means that installing a ventilation system to preserve indoor air quality is required. It should be noted that adequate indoor air quality is related to the health and comfort of the occupants of the building [9,10,11]. This need for ventilation, however, produces an increase in energy demand. Awbi [12] states that the percentage associated with ventilation is between 30 and 60% of the total. Orme [13] estimated annual energy consumption due to air renewal in the commercial and residential sector of 13 industrialized countries, concluding that it accounts for about 48% of heating consumption. There is an extensive literature that establishes similar values [14,15,16,17]. In addition, this percentage increases as the buildings are constructed more thermally efficient (with a higher level of thermal insulation and hermeticity), so that the energy-saving potential of ventilation is a major aspect.

Greenhouses attached to facades or glazed galleries have been used in very different places and climates to reduce the energy consumption of buildings. Its use is also common in Europe. Mihalakakou, compared the behavior of these passive heating systems in four European cities: Milan, Dublin, Athens and Florence [18]. Chiesa et al., in turn, studied the use of greenhouses in 50 European cities [19]. Oliveti et al., evaluated the heating capacity of these systems in the Mediterranean climate [20]. The use of these attached sunspaces has also been investigated in the Spanish state. Torra et al, analyzed the design of three greenhouses in the city of Barcelona [21]. Monge-Barrio and Sánchez-Ostiz, on the other hand, studied its use in the city of Pamplona in Navarra [22]. In these analyzes it is concluded that the use of attached greenhouses obtains significant energy savings

Ostiz, por su parte, estudiaron su uso en la ciudad de Pamplona en Navarra [22]. 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.

Existe amplia literatura sobre el uso de invernaderos adosado a las fachadas de los edificios, pero su instalación en la cubierta, en cambio, no ha sido tan estudiada. Un ejemplo de este uso, podemos encontrarlo en el edificio ICTA-ICP de la Universidad Autónoma de Barcelona, 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 situados en su cubierta, pero no se aprovecha el aire precalentado en el invernadero para introducirlo en el edificio a través del sistema de ventilación [23,24].

Además de los beneficios que puede suponer en el cultivo de vegetales, instalar estos invernaderos en las cubiertas, también puede lograr grandes ahorros energéticos para el edificio tal y como ocurre con los adosados a las fachadas. Además, cuentan con importantes ventajas con respecto a estos últimos. Su instalación en la cubierta, permite realizar el acristalamiento con el ángulo que se desee, lo que posibilita que las ganancias solares sean mayores. La forma y el volumen del invernadero no están tan limitados y 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. El uso del sistema de ventilación permite introducir ese aire precalentado de una manera fácil y eficaz en el interior del edificio. 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.

2. Metodología

La instalación de invernaderos en la cubierta de los edificios de viviendas puede reducir de manera significativa la demanda de calefacción en los edificios. El presente trabajo analiza las características que deben tener los invernaderos para precalentar el aire de ventilación mínimo exigido por el CTE [6,8].

El estudio se realiza considerando un edificio real situado en Sarriguren en Navarra (latitud 42º N, longitud 1º O, altitud 452m), en una zona climáti-

heating the building, but in summer, especially in hot climates, it is necessary to ventilate and shade those sunspaces in order to avoid overheating.

There is a large literature on the use of greenhouses attached to the facades, but their installation on the roof of buildings, however, has not been so studied. An example of this use can be found in the building ICTA-ICP of the Autonomous University of 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 roof´s greenhouse, but the preheated air in the greenhouse is not used to introduce it into the building through the ventilation system [23,24].

In addition to the benefits of planting vegetables, installing these greenhouses in the roofs can also achieve great energy savings for the building as it does the glazed galleries and the greenhouse attached to the facade. What is more, they have significant advantages over them. Its installation on the roof, allows to realize the glazing with the angle that is wanted, which makes solar gains being greater. The shape and volume of the greenhouse are not so limited and, on the roofs, 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 catches the intake air in 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 greenhouse 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.

2. Methodology:

The installation of greenhouses on the roof of residential buildings can significantly reduce the demand for heating. The present work analyzes the characteristics that the greenhouses must have to preheat the air of minimum ventilation demanded by CTE [6,8].

For this study a real building located in Sarriguren in Navarra has been selected (latitude 42º N, length 1º O, altitude 452m). It is in a climatic zone D1 according to the CTE-HE [6,7]. The building without a greenhouse has been taken as reference and the different designs of greenhouses proposed have been compared with it. These designs will be modified progressively based on the characteristics of the greenhouse: glass type, thermal insulation and inertia of the opaque envelope, glazing of facades and the use of night blinds.



Fig. 1. Alzado sur del edificio.
South elevation of the building

ca D1 según el CTE-HE [6,7]. Se ha tomado como referencia el edificio sin invernadero y se han comparado con él los distintos diseños de invernaderos propuestos. Estos diseños se modificarán de forma progresiva en base a las características del invernadero: tipo de vidrio, aislamiento térmico e inercia de la envolvente opaca, acristalamiento de fachadas y la utilización de persianas nocturnas.

Las simulaciones se han realizado mediante el programa de simulación energética Design Builder, que usa como motor de cálculo EnergyPlus [25].

2.1. Modelo de edificio o caso de estudio

El edificio seleccionado es de planta rectangular de 47x13m con orientación norte y sur en sus fachadas principales. Cuenta con una planta baja para locales comerciales, y dos plantas destinadas a viviendas en donde se distribuyen 6 viviendas por planta, lo que hacen un total de 12 viviendas. El edificio se corona con una cubierta plana (ver Fig. 1).

Las fachadas y la cubierta plana del edificio cuentan con una transmitancia térmica de 0,46 W/m^2·K y 0,56 W/m^2·K respectivamente. La carpintería es de aluminio con rotura de puente térmico con una transmitancia térmica de 5,01 W/m^2·K y vidrio dobles (4-6-4) con transmisión solar total (SHGC) de 0,74 y una transmitancia térmica de 3,15 W/m^{2}K. El porcentaje de huecos es del 17%. El sistema de calefacción de las viviendas funciona en base a una temperatura de consigna fijada en 20ºC, y como es habitual en la zona, las necesidades de calefacción se cubren mediante calderas individuales a gas natural. Las cargas térmicas del edificio se han definido en base a los valores definidos por el IDAE [26].

El caudal total de ventilación del edificio es de 602 l/s y se ha definido en base a los caudales mínimos exigidos por el DB HS 3 del Código Técni-

The simulations have been made using the Energy Simulation Design Builder program, which uses the EnergyPlus calculation engine [25].

2.1. Case of study

The selected building has rectangular plant of 47x13m with north and south orientation in its main façades. It has a ground floor for commercial uses, and two residential floors where 6 homes are distributed per floor, which makes a total of 12. The building is crowned with a flat roof (see Fig. 1).

The facades and the flat roof of the building have a thermal transmittance of 0.46 W/m2·K and 0.56 W/m2·K respectively. The carpentry is of aluminum with thermal break with a thermal transmittance of 5.01 W/m2·K and double glass (4-6-4) with total solar transmission (SHGC) of 0.74 and a thermal transmittance of 3,15 W/m2·K . The percentage of windows in the facade is 17%. The heating system of the dwellings operates based on a setpoint temperature of 20ºC, and as often practised in the area, the heating needs are covered by individual natural gas boilers. The thermal loads of the building have been defined based on the values of the IDAE [26].

The total ventilation of the building is equal to 602 l/s and has been defined based on the minimum flows required by DB HS 3 of the spanish Technical Building Code [8]. The considered ventilation system pushes the outside air into the building by passing it through the greenhouse. In this way, the preheated air is introduced into the homes by the dry rooms (bedrooms, dining rooms and living rooms) to extract it through the humid rooms (kitchens an bathrooms). The permeability of the building envelope has been defined as 2 renovations per hour at 50 Pa of pressure difference. This value is the average value obtained in the measurement campaign that has been carried out in the area.



Fig. 2. Infografía del invernadero situado en la cubierta del edificio.
Infographic of the greenhouse located on the roof of the building.

co de la Edificación [8]. El sistema de ventilación considerado impulsa el aire exterior al interior del edificio haciéndolo pasar previamente a través del invernadero. De esta manera, el aire precalentado se introduce en las viviendas por los locales de secos (dormitorios, salones y comedores) para extraerlo por los locales húmedos (cocinas y baños). La permeabilidad de la envolvente del edificio se ha definido igual a 2 renovaciones por hora a 50 Pa de diferencia de presión. Este valor es el valor promedio obtenido en la campaña de mediciones que se ha realizado en la zona.

2.2.Diseño del invernadero

El invernadero cuenta con una cubierta a una sola agua, totalmente acristalada y orientada al sur para recibir la mayor radiación solar posible (ver Fig. 2). La fachada norte se ha diseñado ciega y aislada para evitar las pérdidas de calor. El invernadero cuenta con una planta rectangular de 45mx6,5m lo que supone una ocupación de 292 m^2 y un volumen de 792 m^3.

La optimización del invernadero se ha realizado progresivamente, adoptando la mejor solución del caso anterior para el siguiente análisis (ver tabla1). En primer lugar, se ha analizado cómo influye el tipo de acristalamiento para lo que se ha simulado el invernadero con vidrios de distintas características. Una vez seleccionado el vidrio más adecuado se ha estudiado cómo influye la colocación de aislamiento en las partes opacas de la envolvente y su posición. Tras escoger el aislamiento idóneo, se ha analizado qué fachadas conviene acristalar además de la cubierta. Finalmente, después de seleccionar el grado de acristalamiento del invernadero, se ha estudia-

2.2 Design of the greenhouse

The greenhouse has a roof with a single slope, fully glazed and facing south to receive as much solar radiation as possible (see Fig. 2). The north façade has been designed without glazing and isolated to prevent heat losses. The greenhouse has a rectangular plant of 45mx6,5m which supposes an occupation of 292 m^2 and a volume of 792 m^3.

The optimization of the greenhouse has been carried out progressively, adopting the best solution of the previous case for the following analysis (see table 1). First of all, it has been analyzed how the type of glazing influences and, for that, the greenhouse with glasses of different characteristics has been simulated. Once the most suitable glass has been selected, the insulation installation in the opaque parts of the envelope and its position has been studied. After selecting the appropriate insulation, it has been analyzed which façades should be glazed in addition to the roof. Finally, after selecting the degree of glazing of the greenhouse, it has been studied how the use of a shutter or a mobile insulation during the night located on the outside of the glass influences its results.

3. Results

The results of the simulations with the different characteristics of the greenhouse are presented.

3.1 Type of glass

Fig. 3 shows that the temperatures reached vary significantly depending on the type of glass used. Although the single glass has the highest solar transmission and therefore the highest solar gains,

Tabla 1. Características del invernadero analizadas

1	Tipo de vidrio	Transmisión solar	U (W/m2K)
1.1	Vidrio sencillo	0,819	5,77
1.2	Vidrio doble	0,703	2,66
1.3	Vidrio doble bajo emisivo	0,635	1,69
1.4	Vidrio triple bajo emisivo	0,474	0,78
2	Aislamiento e inercia térmica		U (W/m2K)
2.1	Sin aislamiento en las partes opacas		1,58
2.2	10 cm de poliestireno expandido por el interior		0,30
2.3	10 cm de poliestireno expandido por el exterior		0,30
2.4	20 cm de poliestireno expandido por el interior		0,17
2.5	20 cm de poliestireno expandido por el exterior		0,17
3	Acristalamiento de fachadas		
3.1	Todas las fachadas sin acristalar		
3.2	Fachada sur acristalada; fachadas este, oeste y Norte sin acristalar		
3.3	Fachadas sur, este y oeste acristaladas; fachada Norte sin acristalar		
4	Utilización de persiana o aislamiento exterior durante la noche		Horario de funcionamiento
4.1	Sin persiana		-
4.2	Con persiana de tablillas altamente reflectantes por el exterior		18.00-9.00
4.3	Con aislamiento móvil por el exterior (R= 1,25 m2/KW)		18.00-9.00

Table 1. Characteristics of the greenhouse analyzed

1	Type of glass	Solar transmission	U (W/m2K)
1.1	Single glass	0,819	5,77
1.2	Double glass	0,703	2,66
1.3	Low emissivity double glass	0,635	1,69
1.4	Low emissivity triple glass	0,474	0,78
2	Insulation of the opaque envelope and inertia		U (W/m2K)
2.1	Without insulation		1,58
2.2	10 cm insulation on the inside		0,30
2.3	10 cm insulation on the outside		0,30
2.4	20 cm insulation on the inside		0,17
2.5	20 cm insulation on the outside		0,17
3	Glazing of facades		
3.1	All facades without glazing		
3.2	South facade glazed; East, west and north facades without glazing		
3.3	South, east and west facades glazed; north facades without glazing		
4	External blind during the night		Hours of Operation
4.1	Without blind		-
4.2	Blind with high reflectivity slats		18.00-9.00
4.3	Mobile insulation (R= 1,25 m^2/KW)		18.00-9.00

do cómo influye el uso durante la noche de una persiana o de un aislamiento móvil situado por el exterior del vidrio.

3. Resultados

Se presentan los resultados de las simulaciones realizadas con las distintas características del invernadero consideradas.

3.1. Tipo de vidrio

La Fig. 3 muestra que las temperaturas alcanzadas varían significativamente en función del

having the highest thermal transmittance, the temperatures reached are lower. In the days of great solar radiation the maximum temperatures reached are similar to the other types of glasses, but in those days in which the radiation is low the difference is remarkable. The temperatures reached with the double glass are higher than with the single glass because, despite having a smaller solar transmission, its thermal transmittance is also lower. The low emissivity double glass gets even higher temperatures, because it is even more insulating. In the case of low emissivity triple glass, although the losses during the night are smaller, the solar gains are not so high during the day and

tipo de vidrio utilizado. A pesar de que el vidrio sencillo tiene la transmisión solar más alta y por tanto, las mayores ganancias solares, al tener la transmitancia térmica más alta, las temperaturas alcanzadas son más bajas. En los días de gran radiación solar las temperaturas máximas alcanzadas son similares al resto de tipos de vidrio, pero en los días en los que la radiación es baja la diferencia es notable. Las temperaturas alcanzadas con el vidrio doble son más altas que con el sencillo porque, a pesar de tener una transmisión solar menor, su transmitancia térmica también es menor. El vidrio doble bajo emisivo obtiene temperaturas aún más altas, debido a que todavía es más aislante. En el caso del vidrio triple bajo emisivo, aunque las pérdidas durante la noche son menores, las ganancias solares no son tan elevadas durante el día, esto hace que las temperaturas mínimas sean más altas y las temperaturas máximas más bajas. El mejor comportamiento lo presenta el vidrio doble bajo emisivo, ya que es el que mejor equilibrio presenta entre la reducción de las pérdidas durante la noche y la ganancia solar durante el día.

Como se observa en la Fig. 3, los días de mayor radiación solar (2 y 4 de enero) se alcanzan temperaturas significativamente más altas durante el día con los vidrios dobles que con el vidrio triple. Cuando la radiación solar es alta, la transmisión solar adquiere mayor importancia que la transmitancia térmica. En los días con menos radiación solar (1, 3, 5, 6 de enero), en cambio, las temperaturas alcanzadas durante el día con el vidrio doble bajo emisivo y con el triple bajo emisivo se igualan. La capacidad aislante del vidrio adquiere más importancia ya que las temperaturas alcanzadas durante la noche con el vidrio triple son siempre más altas. En función del clima en donde se sitúe el invernadero, por tanto, habrá que buscar un equilibrio entre la transmisión solar y la transmitancia térmica.

En la Fig. 4, se observa que la instalación de un invernadero en la cubierta supone ahorros energéticos muy significativos, en el peor de los casos (vidrio sencillo) es ahorro es en torno al 34%. Los mayores ahorros energéticos se obtienen con el vidrio doble bajo emisivo, y se sitúan en torno al 50%.

3.2. Aislamiento de la envolvente opaca e inercia térmica

Tal y como se muestra en la Fig.5, al aumentar el aislamiento de la envolvente opaca, las pérdidas disminuyen, la temperatura en el interior del invernadero aumenta y, por tanto, el consumo de gas para calefactar las viviendas disminuye.

La diferencia en el consumo de gas sin colocar aislamiento y colocándolo es significativa (7%), pero a partir de cierta cantidad de aislamiento,

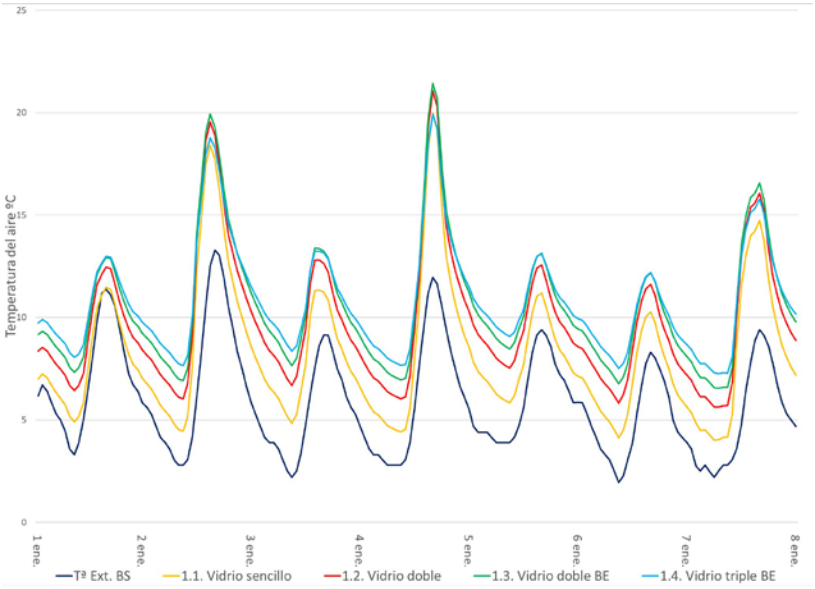


Fig. 3. Temperaturas del aire a la salida del invernadero en función del tipo de vidrio en la semana del 1 al 7 de enero. Air temperatures at the exit of the greenhouse according to the type of glass in the first week of January.

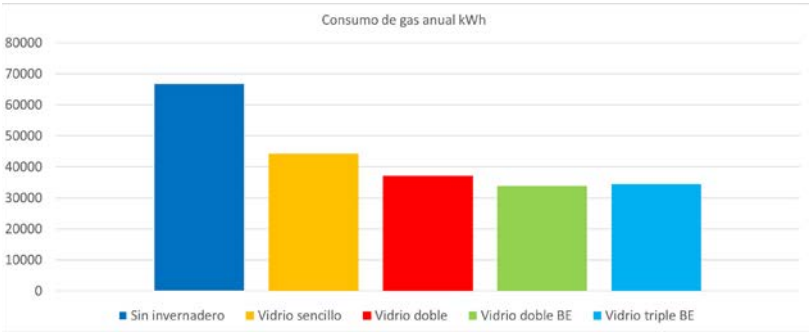


Fig. 4. Consumo anual de calefacción del edificio en función del tipo de vidrio. Annual heating consumption of the building according to the type of glass.

this causes that the minimum temperatures are higher and the maximum temperatures lower. The low emissivity double glass has the best behaviour, since it is the one which shows the best balance between the reduction of the losses during the night and the solar gain during the day.

As observed in Fig. 3, in the days of higher solar radiation (2 and 4 of January) with the double glasses significantly higher temperatures are reached during the day than with the triple glass. When solar radiation is high, solar transmission becomes more important than thermal transmittance. On days with less solar radiation (1, 3, 5, 6 of January), on the other hand, the temperatures reached during the day with low emissivity double glass and with low emissivity triple glass are equal. The insulation capacity of the glass becomes more important because the temperatures reached at night with the triple glass are always higher. Depending on the climate in which the greenhouse is located, a balance between solar transmission and thermal transmittance will have to be sought.

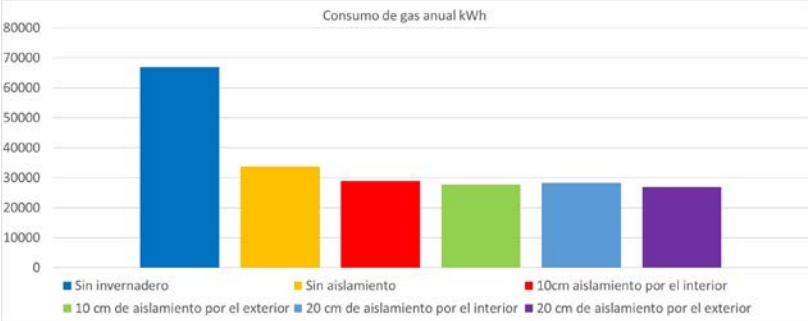


Fig. 5. Consumo anual de calefacción del edificio en función del grado de aislamiento y su posición.
Annual consumption of heating of the building according to the degree of insulation and its position.

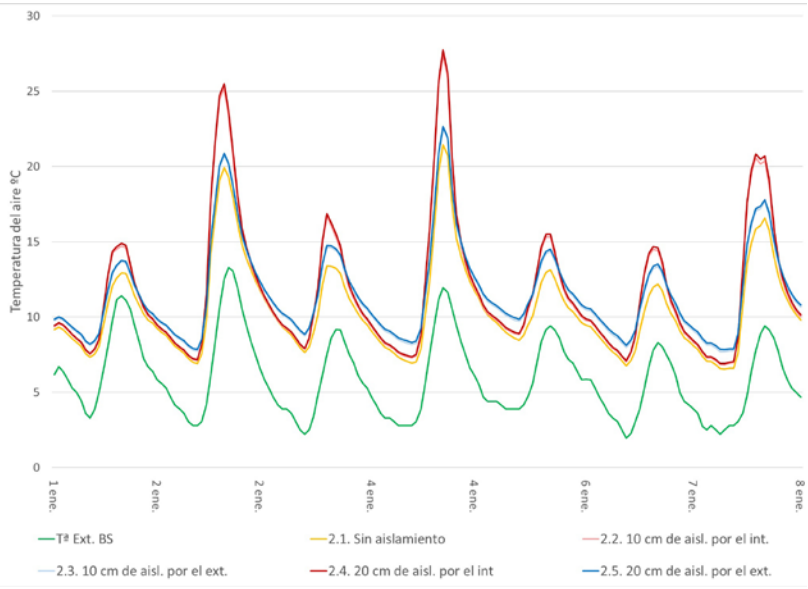


Fig. 6. Temperaturas del aire en el interior del invernadero en función del grado de aislamiento y su posición. Air temperatures inside the greenhouse according to the degree of insulation and its position.

las mejoras obtenidas son poco importantes (1% entre colocar 10 y 20 cm de aislamiento). Es necesario determinar el espesor óptimo de aislamiento, que dependerá, además del clima, del resto de las características del invernadero.

Colocando el aislamiento por el exterior, la inercia del invernadero aumenta: las temperaturas máximas alcanzadas son menores, pero las temperaturas durante la noche no descienden tanto (Fig.6). Si se coloca el aislamiento por el interior, en cambio, la inercia disminuye: durante el día se alcanzan temperaturas mucho más altas, pero durante la noche son también muy inferiores.

Como se observa en ambos casos, aumentar el aislamiento de 10 a 20 cm prácticamente no influye en las temperaturas alcanzadas en el invernadero. Se comprueba que si colocamos el aislamiento por el exterior y aumentamos la inercia del invernadero el consumo de calefacción de las viviendas disminuye ligeramente.

In Fig. 4, it is observed that the installation of a greenhouse on the roof supposes very significant energy savings: in the worst case (simple glass) saving is around 34%. The largest energy savings are obtained with low emissivity double glass, and are around 50%.

3.2. Insulation of the opaque envelope and thermal inertia

As shown in Fig. 5, as the insulation of the opaque envelope increases, the losses decrease, the temperature inside the greenhouse increases and, therefore, the consumption of gas to heat the houses decreases.

The difference in gas consumption without placing insulation and placing it is significant (7%), but from a certain amount of insulation, the improvements obtained are not important (1% between 10 and 20 cm insulation). It is necessary to determine the optimum thickness of insulation, which will depend, in addition to the climate, on the rest of the characteristics of the greenhouse.

Placing the insulation on the outside, the inertia of the greenhouse increases: the maximum temperatures reached are lower, but the temperatures at night do not fall so much (Fig.6). If the insulation is placed inside, the inertia decreases: during the day temperatures are much higher, but during the night they are also much lower.

As seen in both cases, increasing the insulation from 10 to 20 cm practically does not influence on the temperatures reached in the greenhouse. It is verified that if we place the insulation on the outside and increase the inertia of the greenhouse, the heating consumption of the building decreases slightly.

3.3. Glazing of facades

The less the greenhouse is glazed, the solar gains are lower but, in contrast, the thermal losses are also smaller. In the particular case analyzed, there is practically no difference between glazing the southern façade or making it opaque (see Figure 7). If, in addition to the southern façade, the east and west façades are also glazed, consumption is increased slightly, because even though solar gains are greater, losses are also higher.

3.4. Use of external blind during the night

Installing a blind with highly reflective slats on the exterior of the glass during the night can reduce nighttime losses and therefore increase the temperature of the greenhouse during those hours, which means a slight energy saving for the houses (see Fig. 8). With the use of a mobile

3.3. Acristalamiento de fachadas

Cuanto menos se acristala el invernadero las ganancias solares son menores pero, a su vez, las perdidas térmicas también se reducen. En el caso concreto analizado, no hay prácticamente diferencia entre acristalar la fachada sur o hacerla opaca (ver fig. 7). Si, además de la fachada sur, se acristalan también las fachadas este y oeste, se comprueba que el consumo aumenta ligeramente, debido a que, a pesar de que las ganancias solares son mayores, las pérdidas también lo son.

3.4. Utilización de persiana exterior durante la noche

Colocar una persiana altamente reflectante por el exterior del vidrio durante la noche consigue reducir las pérdidas nocturnas y por tanto, aumentar la temperatura del invernadero durante esas horas, lo que supone un ligero ahorro energético para las viviendas (ver Fig. 8). Con el uso de un aislamiento móvil, debido a que su transmitancia térmica es menor que la de la persiana, se consigue un ahorro aún mayor.

3.5. Resumen de resultados

La Tabla 2 presenta los resultados numéricos relativos a los ahorros energéticos que presenta cada solución con respecto al edificio sin invernadero.

La diferencia más importante entre los casos que se analizan se produce en el tipo de vidrio y en el aislamiento térmico de la envolvente opaca. En el primer caso, el vidrio sencillo ofrece unos resultados que son mejorados de forma notable por el resto de tipos de vidrio.

En el caso del aislamiento térmico de la envolvente opaca, existe una gran diferencia entre aislar y no aislar. Una vez que el invernadero se aísla, y para los espesores de aislamiento definidos, la diferencia es muy pequeña.

No se observa una gran diferencia en el resto de parámetros, a excepción de en el caso en el que se incorpora el aislante móvil. Siendo esto así, sería necesario analizar la viabilidad de incorporar este tipo de sistemas en un invernadero.

Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran como instalar un invernadero en la cubierta de un edificio situado en Sarriguren (Navarra), supone ahorros significativos en el consumo energético de calefacción de las viviendas durante el invierno, llegando a alcanzarse ahorros del 65% una vez optimizado el invernadero.

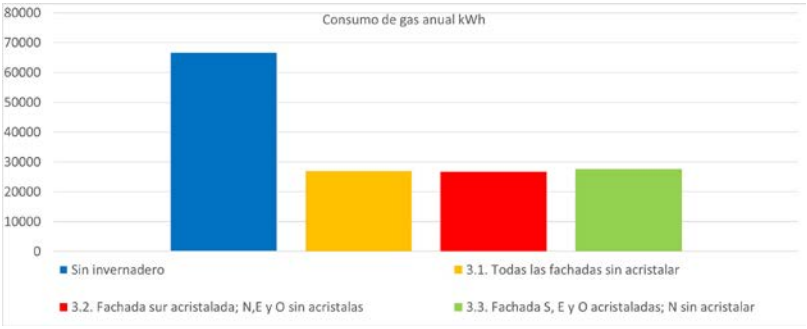


Fig. 7. Consumo anual de calefacción del edificio en función del número de fachadas acristaladas. Annual consumption of heating of the building according to the number of glazed façades.

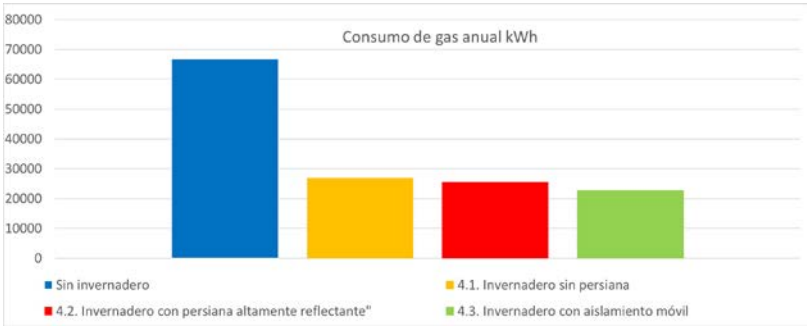


Fig. 8. Consumo anual de calefacción del edificio en función del uso o no de persianas exteriores.
Fig. 8: Annual consumption of heating of the building depending on the use or not of external blinds.

insulation greater saving is achieved because its thermal transmittance is lower than that of the blind.

3.5. Summary Of Results

Table 2 presents the numerical results of the energy savings of each solution with respect to the building without a greenhouse.

The main difference between the cases which have been analyzed occurs in the type of glass and in the thermal insulation of the opaque envelope. In the first case, the simple glass offers results that are improved remarkably with the other types of glass.

In the case of the thermal insulation of the opaque envelope, there is a great difference between insulation and non-insulation. Once the greenhouse is isolated, and for the defined insulation thicknesses, the difference is very little.

There is not a big difference in the other parameters, except in the case where the mobile insulation is incorporated. This being so, it would be necessary to analyze the feasibility of incorporating this type of system in a greenhouse.

Conclusions

The results show how the installation of a greenhouse on the roof of a building located in Sarriguren (Navarra) supposes significant savings in the heating energy consumption during the winter, reaching savings of 65% once the greenhouse is optimized.

Tabla 2: Resumen de los resultados de consumos y ahorros energéticos en base a las características del invernadero

	CONSUMO ENERGÉTICO KWH	% DE CONSUMO	% DE AHORRO
0. Sin invernadero	**66.805,46**	**100**	**0**
1. Tipo de vidrio			
1.1. Vidrio sencillo	44.237,68	66,22	33,78
1.2. Vidrio doble	37.063,31	55,48	44,52
1.3. Vidrio doble BE	33.743,49	50,51	49,49
1.4. Vidrio triple BE	34.393,74	51,48	48,52
2. Aislamiento de la envolvente opaca e inercia térmica			
2.1. Sin aislamiento (=1.3.)	33.743,49	50,51	49,49
2.2. 10 cm de aislamiento por el interior	28.905,34	43,27	56,73
2.3. 10 cm de aislamiento por el exterior	27.643,76	41,38	58,62
2.4. 20 cm de aislamiento por el interior	28.256,96	42,30	57,70
2.5. 20 cm de aislamiento por el exterior	26.924,19	40,30	59,70
3. Acristalamiento de fachadas			
3.1. Fachadas sin acristalar (= 2.5)	26.924,19	40,30	59,70
3.2. Fachada S acristalada; N, E y O sin acristalar	26.750,50	40,04	59,96
3.3. Fachada S, N, E y O acristaladas	27.563,39	41,26	58,74
4. Persiana exterior			
4.1. Sin persiana (=3.1.)	26.924,19	40,30	59,70
4.2. Persiana de tablillas altamente reflectante	25.585,47	38,30	61,70
4.3. Aislante móvil	22.772,25	34,09	65,91

Table 2: Summary of the results of energy consumption and savings based on the characteristics of the greenhouse

	ENERGY CONSUMPTION KWH	% OF CONSUMPTION	% OF SAVINGS
0. Without greenhouse	**66.805,46**	**100**	**0**
1. Type of glass			
1.1. Single glass	44.237,68	66,22	33,78
1.2. Double glass	37.063,31	55,48	44,52
1.3. Low emissivity double glass	33.743,49	50,51	49,49
1.4. Low emissivity triple glass	34.393,74	51,48	48,52
2. Insulation of the opaque envelope			
2.1. Without insulation (=1.3.)	33.743,49	50,51	49,49
2.2. 10 cm insulation on the inside	28.905,34	43,27	56,73
2.3. 10 cm insulation on the outside	27.643,76	41,38	58,62
2.4. 20 cm insulation on the inside	28.256,96	42,30	57,70
2.5. 20 cm insulation on the outside	26.924,19	40,30	59,70
3. Glazing of facades			
3.1. Facades without glazing (=2.5)	26.924,19	40,30	59,70
3.2. South facade glazed; East, west and north facades without glazing	26.750,50	40,04	59,96
3.3. South, east and west facades glazed; north facades without glazing	27.563,39	41,26	58,74
4. External blind			
4.1. Without blind (=3.1.)	26.924,19	40,30	59,70
4.2. Blind with high reflectivity slats	25.585,47	38,30	61,70
4.3. Mobile insulation	22.772,25	34,09	65,91

Para obtener estos ahorros tan significativos, es importante la selección del vidrio, para lo que, obviamente, es necesario escoger el que tenga la transmisión solar más alta posible pero con la transmitancia térmica lo más baja posible. Por lo tanto, es muy importante buscar el equilibrio entre la transmisión solar y la transmitancia térmica que, a su vez, dependerá del clima donde se situé el edificio. En el caso de la localidad de Sarriguren el vidrio doble bajo emisivo es el que mejor comportamiento tiene, obteniendo mejores resultados que el vidrio triple bajo emisivo.

To obtain these significant savings, it is important to select the glass, for which, obviously, it is necessary to choose not only one with the highest solar transmission possible but also one with the lowest thermal transmittance possible. Therefore, it is very important to find the balance between the solar transmission and the thermal transmittance, which, in turn, will depend on the climate where the building is located. In the case of Sarriguren, low emissivity double glass is the one with the best performance, obtaining better results than low emissivity triple glass.

Además, es de gran importancia aislar la envolvente opaca del invernadero para reducir las pérdidas térmicas. De todas formas, es necesario definir un espesor de aislamiento óptimo, que, con toda seguridad, dependerá de las condiciones climáticas de lugar en el que se coloque el invernadero. Al colocar ese aislamiento por el exterior aumenta la inercia del invernadero y se reduce ligeramente el consumo energético del edificio.

En cada caso concreto se debe analizar si es conveniente acristalar las fachadas sur, este y oeste, además de la cubierta del invernadero. Al acristalar estas fachadas, las ganancias solares son mayores, pero las pérdidas térmicas también, por lo que habrá que buscar el equilibrio. En el invernadero estudiado los ahorros energéticos obtenidos acristalando sólo la fachada sur o no acristalando ninguna fachada son muy parecidos.

Los resultados, también muestran que colocar un aislamiento móvil durante las horas nocturnas para evitar las pérdidas a través del vidrio durante la noche, mejora el comportamiento del invernadero y, por tanto, los ahorros energéticos en el edificio.

La optimización del invernadero se ha realizado progresivamente, adoptando la mejor solución del caso anterior para el siguiente análisis. No obstante, es necesario realizar un estudio que descomponga la variabilidad del consumo energético debido a los factores investigados mediante un análisis de la varianza. De esta forma será posible conocer de forma más precisa la importancia relativa de cada parámetro, y la interferencia entre los parámetros. Además del estudio energético, es necesario completar el análisis considerando la viabilidad económica de la solución adoptada. Estas líneas se encuentran en desarrollo.

In addition, isolate the opaque envelope from the greenhouse to reduce thermal losses has great importance. However, it is necessary to define an optimum insulation thickness, which will certainly be depending on the climatic conditions of the place where the greenhouse is placed. Placing that insulation on the outside increases the inertia of the greenhouse and slightly reduces the energy consumption of the building.

In each case it is necessary to analyze whether it is convenient to glaze the south, east and west façades, in addition to the greenhouse cover. When glazing these facades, the solar gains are greater, but the thermal losses also, so it will be necessary to look for the balance. In the studied greenhouse, the energy savings obtained by glazing only the southern façade or not glazing any façade are very similar.

The results also show that placing a mobile insulation during night hours to avoid losses through the glass at night improves the behavior of the greenhouse and therefore the energy savings in the building.

The optimization of the greenhouse has been carried out progressively, adopting the best solution of the previous case for the following analysis. However, it is necessary to carry out a study that decomposes the variability of the energy consumption due to the factors investigated by an analysis of the variance. In this way, it will be possible to know more precisely the relative importance of each parameter, and the interference between them. In addition to the energy study, it is necessary to complete the analysis considering the economic viability of the solution adopted. These lines are still in development.

BIBLIOGRAFÍA / BIBLIOGRAPHY

1. Commission of the European Communities, Communication from the commission. Action Plan for the energy efficiency: Realising the potential, Communication from the Commission, Brussels, 2006.
2. Secretaría de Estado de Energía, La energía en España, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2010.
3. IDAE, Análisis del consumo energético del sector residencial en España, Departamento de Planificación y Estudios, Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, 2011.
4. Parlamento europeo y Consejo de Europa, Directiva 2006/32/CE sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos y por la que se deroga la Directiva 93/76/CEE del Consejo, 5 de abril de 2006.
5. Parlamento europeo y Consejo de la Unión Europea, Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios, 19 de mayo de 2010.
6. http://www.codigotecnico.org/.
7. https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf
8. http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/salubridad/DBHS.pdf
9. https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality
10. Lvovsky K., Environmental strategy papers: Health and environment, Strategy series number 1. Environment, October 2001.
11. European Environment Agency, Environment and health, EEA report N 10/2005, 2005.
12. Awbi H.B., Chapter 7 - Ventilation, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 2, pp. 157-188, 1998.
13. Orme M.,Estimates of the energy impact of ventilation and associated financial expenditures, Energy and Buildings, Vol. 33, pp. 199-205, 2001.
14. Koffi J., Analyse Multicritere des strategies de ventilation en maisons individuelles, These de Doctorat, Universit´e de La Rochelle, 2009.
15. Liddament M.W., Orme M., Energy and ventilation, Applied Thermal Engineering, Vol. 18, pp. 1101-1109, 1998.
16. Jansen S.C., The exergy in built environment. The add value of exergy in the assessment and development of energy systems for the built environment, Doctoral Thesis, Delft University of Technology, 2013.
17. Odriozola Maritorena M., Medición y simulación de diferentes tipos de sistemas de ventilación y su repercusión en la calidad del aire interior y el consumo energético, Tesis Doctoral, Universidad del País Vasco, 2014.
18. Mihalakakou, G., 2002. On the use of sunspace for space heating/cooling in Europe. Renewable Energy, vol. 26, no. 3, pp. 415-429.
19. Chiesa, G., Simonetti, M. and Ballada, G., 2017. Potential of Attached Sunspaces in Winter Season Comparing Different Technological Choices in Central and Southern Europe. Energy and Buildings, 3/1, vol. 138, pp. 377-395
20. Oliveti, G., Simona, M. and Ruffolo, S., 2005. Solar contribution evaluation for building attached sunspace in the Mediterranean climate.
21. C. Torra, J.A. Cusidó and J. Puigdomènech. Some experiences on design and calculation of sunspaces in Mediterranean climates. Solar & wind technology, 1988; Volume 5, Issue 4, pp. 365-378, vol. 5, no. 4, pp. 365-378 ISSN 0741-983X.
22. Monge-Barrio, A., Sánchez-Ostiz, A., Energy efficiency and thermal behaviour of attached sunspaces, in the residential architecture in Spain. Summer Conditions, Energy and Buildings, Volume 108, 1 December 2015, Pages 244-256, ISSN 0378-7788.
23. Nadal A, Llorach-Massana P, Cuerva E, López-Capel E, Montero JI, Josa A, Rieradevall J, Royapoor M. 2017. Building-integrated rooftop greenhouses: An energy and environmental assessment in the mediterranean context. Appl Energy 187:338-51.
24. Pons O, et al. 2015. Roofs of the future: Rooftop greenhouses to improve buildings metabolism. Procedia Engineering 123:441-8.
25. EnergyPlus. Engineering Reference Manual, Building Technologies Program US Department of Energy (DOE) (2014)
26. Programa de Calificación Energética de Edificios (CALENER). Ministerio de Industria, Turismo y Comercio del Gobierno de España.

Casa Fénix, del prototipo al terreno (y feed-back)

Casa FÉNIX, from prototype to reality (and feed-back)

Miguel Á. Gálvez Huerta[1], Nina Hormazábal Poblete[2], Pablo Sills Garrido[3], José M. Reyes González[4]

ABSTRACT

La solución para la emergencia Casa FENIX (**F**or **E**mergency post-**N**atural e**X**treme Impact) es un sistema modular y progresivo basado en una estructura de madera estandarizada de rápido montaje y muy versátil en cuanto a su crecimiento y capacidad de extensión. Así, se concibe como un kit completo de automontaje que pueda, en habitabilidad, precio, facilidad de almacenamiento, transporte y montaje, competir con otras soluciones para la emergencia. El potencial de la solución radica en que no sólo sirve como respuesta al problema ocasional de la emergencia, sino también como germen de vivienda permanente, dotada de los estándares de habitabilidad mínimos exigibles a toda construcción de esta índole.

La ponencia presenta los resultados de su aplicación en cinco iniciativas, tanto de investigación como vinculadas con el medio real, durante sus cuatro años de existencia: 1) El Concurso Internacional Universitario Solar Decathlon Europe 2014, presentado en Versalles por la UTFSM en conjunto con la Université de la Rochelle, como prototipo de vivienda autónoma ecoeficiente; 2) La casa Huerta-Carvajal para la reconstrucción del incendio de Valparaíso de 2014; 3) El pabellón para la difusión de las tecnologías renovables FIC-15, en el marco del proyecto regional FIC 2015; 4) La sistematización de sus componentes no estructurales, básicamente la envolvente e instalaciones, al abrigo del proyecto nacional FONDEF IDeA en dos etapas 2015-2017; y 5) La propuesta de aplicación a la vivienda social en Chile, investigación en curso que se aborda desde las premisas de la industrialización abierta y las posibilidades en cuanto a flexibilidad espacial y transformación en el tiempo que los sistemas de construcción por componentes compatibles (S.3c) ofrecen.

Al establecer el relato sucesivo de estas cinco aplicaciones, se asiste a la evolución de una propuesta desde su concepción como prototipo material operativo hasta su extrapolación como sistema general aplicable a escala intermedia. Y en este devenir se manifiestan las fases que sirven para ir perfeccionando sus partes a medida que cambian sus requerimientos reales. Modificaciones tanto a nivel material como organizativo, que muestran el proceso generativo y la metodología de trabajo experimentada por un complejo y motivado grupo de investigación.

Key Words: prototipo, vivienda, emergencia, madera, flexibilidad.

(1) Universidad Técnica Federico Santa María. Avenida España, 1680. Valparaíso, Chile. (2) Universidad Técnica Federico Santa María. Avenida España, 1680. Valparaíso, Chile. (3) Universidad Técnica Federico Santa María. Avenida España, 1680. Valparaíso, Chile. (4) Universidad Alfonso X el Sabio. Avenida Universidad, 1. Villanueva de la Cañada, Madrid, España. +34 607680534 reyesjm.arq@gmail.com





Fig. 1. Oficinas del grupo en Valparaíso y casa de Versalles. Interiores.
Fénix headquarters in Valparaíso and Versalles house. Interiors. Source: authors.

1. Introducción

La solución para la emergencia Casa FENIX es un sistema modular y progresivo basado en una estructura de madera de rápido montaje y muy versátil en cuanto a su crecimiento y capacidad de extensión. Una gran ventaja de la solución radica en que no sólo sirve como respuesta al problema ocasional de la emergencia, sino en que también puede constituirse en germen de vivienda permanente, dotada de los estándares de habitabilidad mínimos exigibles a toda construcción de esta índole. Así, se caracteriza por proponer un proceso de diseño para una reconstrucción en 3 etapas: la de emergencia, hasta los 6 meses, la de alivio, que puede prolongarse hasta 2 años y finalmente la reconstrucción, cuya duración depende de la magnitud de la catástrofe y que puede realizarse en el lugar de la catástrofe o en otra ubicación. La progresividad se logra mediante adición de diferentes módulos: el de supervivencia (SM) y el modulo mecánico (MM), que se instalaron durante la fase de emergencia, se completan en la fase de la reconstrucción con la galería solar (SS) y tantos módulos de habitación (LM) como sean necesarios.

El panorama histórico que se muestra someramente en esta comunicación permite entrever las idas y vueltas de la investigación realizada por un pequeño grupo de trabajo comprometido con el problema de la vivienda social en Chile, integrando también las perspectivas de la docencia universitaria y la vinculación con el medio. (Fig. 1)

Así, la iniciativa Casa Fénix, inicialmente pensada para participar en la competencia SDE 2014 se encuentra en el centro de varias investigaciones en las que se encuentra inmerso el grupo de investigación que la desarrolla: una primera vía ha desembocado en su materialización como solución para la reconstrucción del incendio de Valparaíso de 2014 (Casa Huerta-Carvajal). Otra vía (proyecto regional FIC) explora las posibilidades para la difusión de las tecnologías renovables. Finalmente, una tercera vía estudia la sistematización de la solución de envolvente y de pared técnica de instalaciones que se desarrollan bajo el paraguas del proyecto FONDEF IDeA en dos etapas "Sistematización de componentes no estructurales para vivienda de emergencia"

1. Introduction

Casa Fénix solution for the emergency is a modular and progressive construction system based on a fast assembly prefabricated timber structure that provides a great variety of growing possibilities. One of its main advantages is that it not only serves as a solution for the emergency problem, but it also can constitute the grounds for the final housing, complying from its inception with the most demanding construction standards in order to provide a good indoor ambient quality with low energy consumption. It is thus characterized by a growing design process in three stages: the initial phase of emergency, during the first 6 months from the disaster, a second stage of relief that can last for two years at least and, eventually, the reconstruction stage, be it in the original site or other alternative place. Progressivity is achieved by means of the addition of a set of modules: the survival module (SM) and the mechanical module (MM), installed during the emergency stage, which are completed in the reconstruction stage by the sun space (SS) and as many living modules (LM) as were necessary.

The overview shown in this paper reveals the intricacies of the research process carried out by a small group committed to, at least partially, solve the social housing problem in Chile. And how this collective effort is addressed by linking teaching and research, both connected with society needs. (Fig. 1)

The Casa Fénix initiative, originally launched to take part in the 2014 Solar Decathlon Europe Competition, is central to many research activities carried out by the Department of Architecture of the Santa María Technical University of Valparaíso, Chile: his first practical application was as a solution for the 2014 Valparaiso urban fire reconstruction (Huerta Carvajal house). Other research path (FIC regional project) explores the possibilities for the dissemination of renewable technologies by means of the construction of an interactive prototype which hosts educational activities of basic and secondary schools. And finally, another branch of the research project addresses the sys-

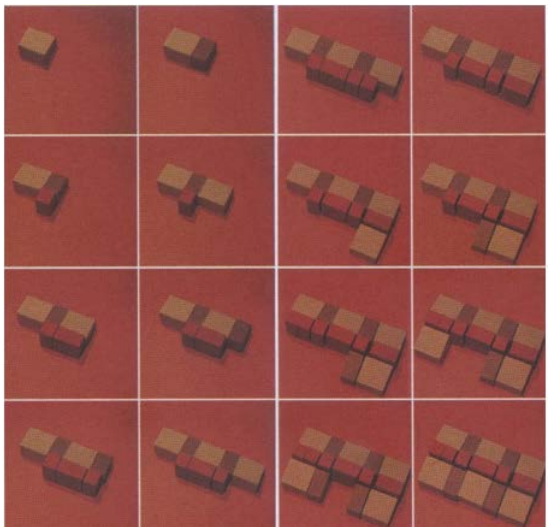




Fig. 2. Casa Fénix Versalles. Posibilidades de combinación, planta y vista exterior.
Versalles house. Initial combination studies, plan and exterior view. Source: authors.

Se confía en que esta línea de investigación concluya en una solución homologada por el MINVU como tipología de vivienda social. Para ello se trabaja actualmente en adaptar la solución Fénix para su conversión en un sistema de prefabricación abierto. Como principal ventaja frente a otras soluciones para la vivienda social de baja y media densidad se encuentra la progresividad en la ejecución, y la flexibilidad tanto de la retícula arquitectónica como de la envolvente no portante, lo que permite responder a las necesidades del usuario con suficientes grados de libertad e incorporar numerosas variaciones dentro de la serie.

2. Descripción de las aplicaciones desarrolladas

2.1. Participación en SD14 (Versalles)

A partir de la estructura modular base del sistema constructivo Fénix, la solución arquitectónica presentada al concurso jugaba con las posibilidades combinatorias de estos módulos, utilizando para ello un esquema de espina distribuidora correspondiente a medio módulo, en torno a la que se acoplaban espacios servidores y servidos. En el caso de la competencia la galería solar, ineludible en este tipo de competición, brindaba la posibilidad de circulación por el espacio de transición de la fachada Sur. (Fig. 2)

Este proyecto se abordó en colaboración con la Universidad de la Rochelle, responsable de su construcción conforme a los estándares franceses, mucho más exigentes que los chilenos. Para ello, la casa definitiva se armó por partes en taller, que se ensamblaron en obra. Para la construcción, la estructura reticular de madera en la que se basa el sistema sirvió de apoyo para paneles SIP en piso y techo, y fue revestida en los muros exteriores por una envolvente aislante construida con lana de roca y revestimientos exterior e interior de madera. (Fig. 3)

Acerca del prototipo presentado puede decirse que tuvo buen desempeño en la competición, en la que consiguió un sexto puesto global, así como el primer

tematization of the envelope and the solution for a technical wall with sanitary and electrical installations of bath and kitchen. This studies have been carried out within the framework of the FONDEF IDeA project "Systematization of non-structural components for an emergency house"

After all this experiences, it is expected that the research leads to obtain a new typology of social house approved by the Chilean Ministry of Housing and Urban Planning (MINVU). In this direction goes the current research activities of the group, which works to adapt the Fénix solution in an open prefabricated construction system.

In this context, and compared to the other solutions for low and medium density social housing, its main advantage is the progressivity of the construction process, as well as the flexibility both of the structural grid and the light wall components, which allow to meet the demands of the final users with enough degrees of freedom to provide a wide and lively variety of solutions within the standardized series.

2. Applied research description

2.1. Participation in the solar decathlon europe 2014 competition

based on the modular Fénix timber structure, the architectural solution for the competition played with the module possibilities for combination and permutation. It was done by using a half-module distribution spine, to which serving and served spaces where plugged. In the final solution the SS (sun space) module, unavoidable in a solar competition, allowed a circulation along the transition space oriented south.

The construction of the prototype was addressed together with La Rochelle University, which was in charge of the technical specifications and the construction details to comply with French regulations far more demanding than the Chilean.

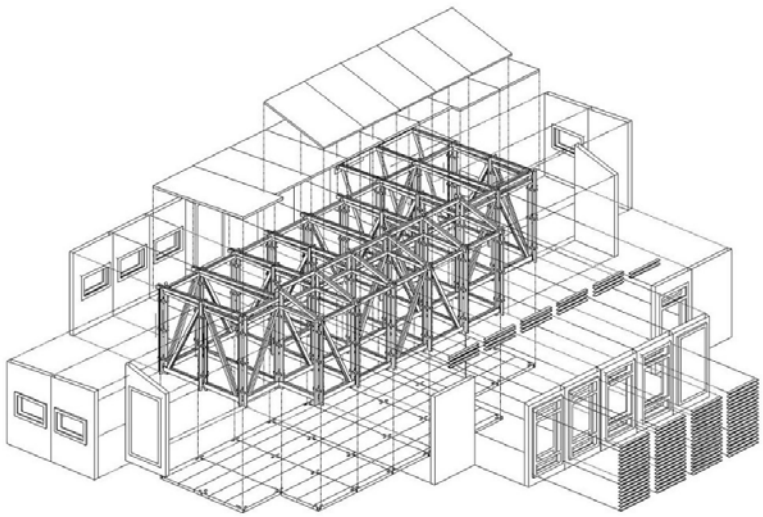


Fig. 3. Casa Fénix Versalles. Solución constructiva: axonometría.
Versalles house. Construction details: axonometric. Source: authors.

puesto en la prueba de Construction management, health and safety.

2.2. Casa Huerta Carvajal

El incendio de Valparaíso de Abril de 2014, con más de 3.000 viviendas destruidas, fue una triste ocasión para validar el potencial de la solución Fénix, en este caso como como solución para la reconstrucción. Para ello se trabajó de manera participativa con una familia afectada, los Huerta-Carvajal, identificando sus necesidades programáticas y espaciales, concluyendo en el proyecto y construcción de su nueva vivienda de 90 m^2 financiada con subsidio, en el propio terreno en el que tuvo lugar el siniestro. La vivienda se organiza en dos plantas, en las que los módulos originales de la emergencia (SM y MM) se amplían con otros tres módulos (LM), que se adicionan según los requerimientos de habitaciones de la propiedad, así como una galería solar en doble altura en la que se dispone la escalera (fig. 4).

Debido a los fuertes condicionantes del programa y del solar irregular y casi sin acceso, es posible que desde el punto de vista arquitectónico, la organización en planta suponga un retroceso respecto de las posibilidades investigadas en el SD14. Sin embargo, la realización de la casa Huerta Carvajal ha permitido a los investigadores contar con datos experimentales de un prototipo utilizado en condiciones reales. Así, una completa red de sensores dispuestos durante un año en la vivienda ha dado como resultado el análisis del comportamiento de los sistemas solares pasivos (galería solar) y activos (térmico y fotovoltaico) instalados en la vivienda.

2.3. Prototipo FIC 2015

A partir de las experiencias constructivas previas, de las que el apartado precedente es una pequeña muestra, el proyecto regional FIC (Fondo de innovación para la competitividad) 2015, en el que se desarrolló un pro-

Complete parts of the final prototype were thus constructed off site, and eventually assembled on site. Highly insulated SIP panels were used on floor and ceiling. Exterior walls were built by filling the structural timber frames with rock wool insulation, which was eventually sheathed with timber boards on both sides (Fig. 3)

It must be said that the executed prototype had a more than acceptable performance in the competition, ranking sixth in the global evaluation and obtaining the first prize in the Construction management, health and safety test.

2.2. Huerta Carvajal House

A ravaging urban fire destroyed more than 3.000 dwellings in the "cerros" of Valparaíso in April 2014. It was a sad occasion for validating the potential of the Fénix solution to address the problem of the reconstruction after a natural disaster. To do so, a participatory process was carried out with an affected family, the Huerta Carvajal, in order to identify their spatial and layout requirements. The design process concluded with the construction of a new 92 m^2 house in the original lot, financed with governmental subsidy. The two storey house is based on the original survival and mechanical modules that lodges the dining room, kitchen and bathroom, and which are increased with four living modules, according to the special needs of bedrooms of the family. Eventually, a double height sun space oriented north serves as staircase (Fig. 4).

Due to the strong spatial constraints of the lot, as well as its poor accessibility, the layout of the house has probably experienced a slight setback, compared to the possibilities suggested by the SD14 competition solution. Nevertheless, the construction of the house has provided a great deal of experimental data on the building performance under real conditions of use. Thus, a thorough set of sensors arranged all over the house for one year`s period have allowed the researchers to analyse the performance of the passive (solar gallery) and active (thermal collectors and PV generator) systems of the building.

2.3. FIC 2015 prototype

Based on the aforementioned experiences, the FIC (Innovation funds for competitiveness) 2015 project aimed to develop an interactive prototype for the dissemination of the use of renewable technologies in buildings, which brought the opportunity to make progress in the industrialization of some constructive processes, thus far carried out in a traditional way.

From the very beginning of the project, the wood structure was designed as an adaptive framework composed of pieces that may be easily assem-

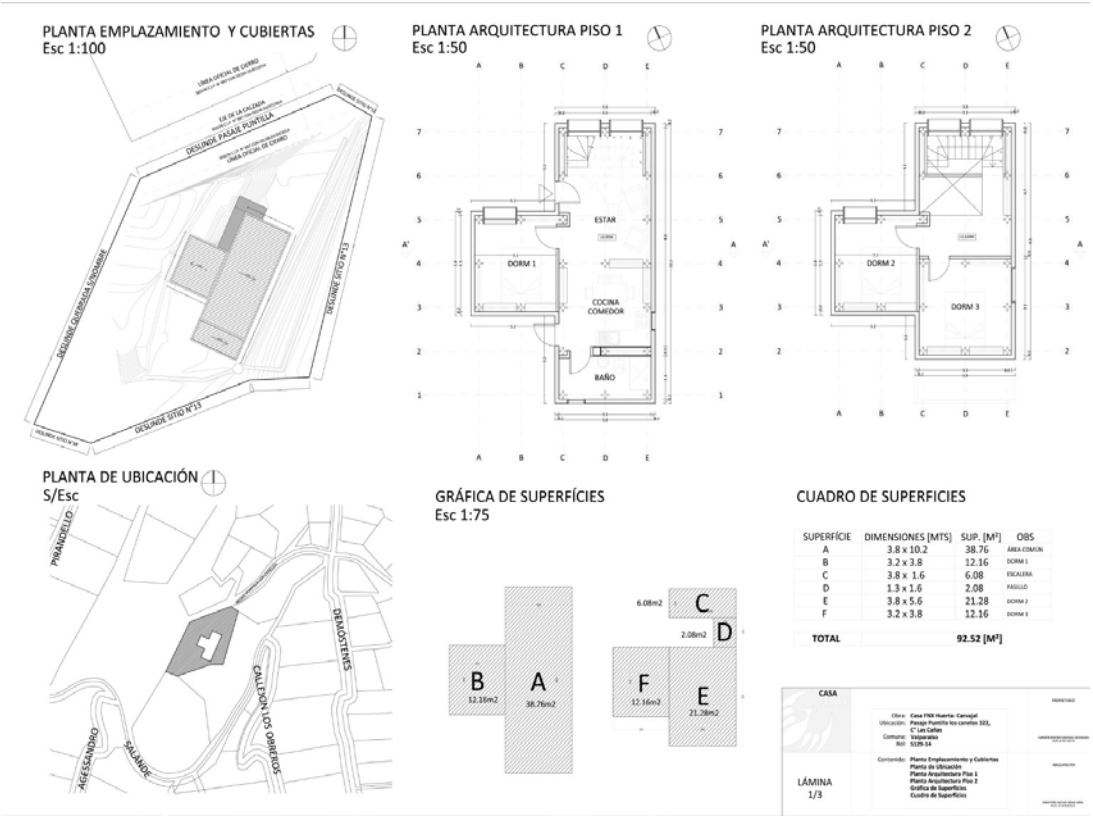


Fig. 4. Casa Huerta Carvajal en el Cerro Las Cañas (Valparaíso). Plantas.
Huerta Carvajal house in Valparaíso. Plans. Source: authors, 2015.





Fig. 5. Nudos estructurales casas Versalles y Huerta Carvajal.
Structural nodes for the Versalles and Huerta Carvajal houses. Source: authors.

totipo para la difusión de las tecnologías sostenibles, brindó una oportunidad para avanzar en la industrialización de algunos procesos constructivos, realizados hasta el momento de forma artesanal.

Desde el comienzo del proyecto, la estructura portante se diseñó como un esqueleto flexible, compuesto de piezas trasladables, apilables, fáciles de armar y desarmar por voluntarios y que funcionara como soporte capaz de recibir diversos componentes. En este sentido, esta nueva versión significó un avance en cuanto a la estandarización, la disminución de costos y la relación con la envolvente, Así, el esqueleto estructural sufrió una revisión para optimizarlo en cuanto a dimensiones y mejorar las uniones en costo y rapidez de ejecución.

Estas modificaciones apuntaron a simplificar el proceso de fabricación de la estructura y a disminuir los tiempos de ensamblaje gracias a la reducción de cantidad y variedad de piezas. Simplificación y disminución

bled together by volunteers and worked as a support capable of receiving different components. This new version meant a real progress as for the standardization of the solution. Specifically, the structural grid dimensions were optimized and so were its joints, whose new design contributed to appreciable costs reduction. These alterations aimed to simplify the manufacture of the structure and to decrease the time of assembly by means of a reduction of the number and variety of pieces. Additionally, all pillars were fabricated of the same height, allowing the roof to be assembled as an independent element. Finally, the section of the four pieces that form the pillars has been reduced and a new arrangement has been made, adopting a square shape layout instead of the original cross solution (fig. 5), which results in half the bars between nodes, diagonals included. (Fig. 5)

All the Fénix previous versions used structural SIP panels for walls, which strictly speaking would

del número de uniones (cruces) entre marcos, homologación de la distancia entre perforaciones, igualdad de altura de pilares dejando la cubierta como elemento independiente y optimización del sistema de transporte de la estructura. Por su parte, las cuatro piezas que componían el pilar se han reducido en cuanto a sección y han adoptado una disposición en cuadrado frente a la de cruz original (fig. 5). Ello ha significado menor número de barras entre nudos. Finalmente, se ha reducido también el número de diagonales y se ha flexibilizado las dimensiones de la retícula para ganar en flexibilidad.

En las soluciones ensayadas hasta la fecha, la construcción de los muros con sistemas de paneles SIP, de por sí estructurales harían innecesaria la estructura de madera descrita en los párrafos anteriores. Por todo ello, este proyecto FIC permitió también abordar como problema de investigación la necesidad de disociar la envolvente de la estructura portante. Conceptualmente, la envolvente tiene la consideración de piel, independiente de la estructura, y su constitución interna debe variar según el clima del lugar en el que se proyecta. A su vez, la morfología exterior debe ser deudora de aspectos culturales locales. La liberación de las exigencias portantes permite además variar porcentajes de huecos y materialidades, confiriendo un mayor grado de libertad en el diseño de este elemento constructivo. El desarrollo de este componente fue uno de los objetivos del siguiente proyecto, que se describe a continuación.

2.4. Proyecto FONDEF ID14I10435

El análisis de la mayor parte de las soluciones de cerramiento para vivienda de emergencia en Chile, aun siendo industrializadas en mayor o menor medida, comparten una visión de la estandarización radicalmente alejada de la solución Fénix: son ejemplos de industrialización cerrada, lo que reduce considerablemente, hasta impedirlo en ocasiones, toda futura operación de reutilización, modificación y ampliación, al estar concebidas con sistema de paneles SIP. Las indudables ventajas de precio de este sistema constructivo son contrarrestadas por su falta de flexibilidad en otras fases de la vida útil de la vivienda de emergencia, como son las de alivio y reconstrucción. Frente a ello, el sistema Fénix se reveló desde el principio como germen de un sistema de industrialización abierta por componentes compatibles, para el que el proyecto que se describe iba a ser una buena ocasión para desarrollar estos componentes. El proyecto FONDEF IDeA de título "Sistematización de componentes no estructurales para vivienda de emergencia", en su primera etapa de investigación tecnológica tenía como objetivo el avanzar en la industrialización de los componentes de cerramiento e instalaciones de la solución Fénix para la emergencia. Entre sus resultados destaca especialmente una solución de paneles de cerramiento que, por sus dimensiones y ligereza, pueden ser manipulados por una persona, facilitando considerablemente la fase de montaje.

make the aforementioned wood structure unnecessary. In this sense, the FIC project revealed the convenience of addressing the study of the envelope apart from the structure. So, when an exterior wall is relieved from structural functions, it can be easily adapted to the different climatic conditions of each site, by means of double skins, built-in solar protections and lightweight materials internal configurations. Furthermore, non-load-bearing exterior walls allows a greater design freedom for adapting the size and position of the fenestration to the needs of the different users. With such ideas in mind, the development of such component was one of the objectives of the following project, as it is described in the next section.

2.4. Fondef ID 14I10435 project

A great deal of the exterior wall solutions for emergency houses in Chile, even though they are to some extent industrialized, are examples of closed prefabrication systems, being the SIP panels system the most successful. Whatever the advantages of these systems, specially their low cost and quick assembly, they have a major drawback when they are used as temporary shelter during an emergency: their lack of flexibility prevent them from being reused in the reconstruction stage, or even modified when the definitive house needs to be enlarged. On the contrary, the Fénix system revealed from its very beginning as the seed of an industrialized open system based on compatible components, for which the following project was a research opportunity to develop some of these components.

The first stage of technological research of the FONDEF IDeA project entitled "Systematization of non-structural components for emergency houses" had as its major research goal the progress in the industrialization of the envelope components of the Fénix solution. With regard to the results of the project, noteworthy is the wall solution by means of prefabricated lightweight panels that simplify the assembly process.

This solution consist of foam core of expanded polystyrene (EPS) with additional insulation layers placed either on one or both of its sides. This new layer is a sandwich composed by a Celhex cardboard honeycomb core and two Alutermic reflective sheet facings. While reducing the weight, it significantly improves the thermal performance of the wall due to the still air occluded within the hexagonal cardboard cells, reinforced by the reflective properties of its sheathings. All this complex was placed as a filling of a Foamular extruded polystyrene (XPS) framework that minimizes thermal bridges and guarantees that perimeter joint is waterproof. The panel is finished with a corrugated zinc sheet siding to the exterior

La solución finalmente elegida para su desarrollo y construcción consistió en un núcleo aislante formado por una plancha de poliestireno expandido (EPS) de 20 kg/m^3 y 2 cm de espesor, a la que se adosa por cualquiera de sus caras una nueva capa aislante compuesta por dos láminas reflectantes Alutermic adheridas a ambas caras de un relleno de cartón formando celdillas hexagonales de la marca Celhex. Con esta nueva capa se consigue aumentar la capacidad aislante del panel en virtud de la cámara de aire ocluido que deja en su interior, reforzado por las propiedades reflectivas de las láminas. Todo este complejo se dispuso embutido en un marco de poliestireno extruido (XPS) marca Foamular que elimina los puentes térmicos de borde. Además del pegado por contacto de las capas, para solidarizar el conjunto se dispusieron una serie de pletinas de chapa que facilitaban la sujeción de las planchas de acabado superficial, que finalmente fueron un terciado ranurado de 9 mm el interior y una plancha zincalum de 0,3 mm plegado en los bordes verticales, como acabado exterior. (Fig. 6)

Con este sistema se adoptaron tres posibles configuraciones interiores, con la intención de que pudiera responder a todas las zonas climáticas chilenas, variando el espesor de la plancha de EPS, el espesor y número de planchas de Celhex y la colocación o no de la lámina reflectante en cualquiera de sus cuatro posiciones posibles. Es de resaltar que la solución para Santiago de Chile, mostrada en la figura 6 mostró en los ensayos a los que fue sometida una transmitancia térmica U = 0,58 W/m^{2}K, con un espesor total de 7 cm. Ello suponía un peso de 14 kg para cada panel de 2,40 x 0,60 m.

Para materializar la junta vertical entre paneles se estudiaron distintas posibilidades de mecanizado del borde vertical del bastidor de XPS (traslape, caja y espiga), hasta concluir en la solución definitiva de espiga en ambos cantos, comprimidas perpendicularmente a la fachada por una chapa plegada en forma de U al exterior y una tapa de terciado sobre chapa plegada al interior, con pernos y tuercas pasantes para el montaje y desmontaje del conjunto desde el interior. (Fig. 7)

Con este sistema se ha construido un módulo de ensayos en el Laboratorio de Energías Renovables (LER) de la sede José Miguel Carrera de la Universidad, en Quilpué. Con este módulo se pretenden ensayar otras soluciones de fachada así como componentes especializados de techo con fines de refrigeración pasiva.

3. Líneas de investigación presentes y futuras

El equipo de investigación se halla inmerso en la postulación a la segunda etapa del Proyecto Fondef IDeA, en la modalidad de interés social. En esta etapa, cuyo objetivo final es el de ensayar en condiciones reales un producto o servicio, de forma que quede listo para comercializarse. En este caso, el producto a desarrollar es una vivienda social de coste inferior a 21.000 euros,

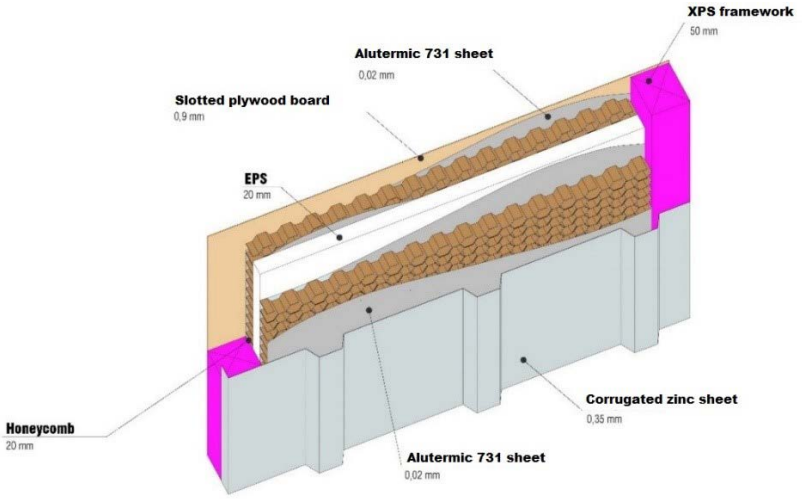


Fig. 6. Composición panel de cerramiento.
Wall panel composition for Santiago de Chile climatic zone. Source: Catalina López, 2016.

and a 9 mm slotted plywood board to the interior. To make the whole element work together, bonding glue and steel plates were used. (Fig. 6)

With this system, three possible layer arrangements were used, so as to thermally respond to all the existing Chilean climatic zones by means of the variation of the EPS core thickness, the number and thickness of the honeycomb filling and the position of the Alutermic layers. As for the Santiago solution, shown in fig. 6, the tests carried out resulted in a thermal transmittance, U, of 0.58 W/m^{2}K, with a panel thickness of 7 mm. This meant that each 60 x 240 mm panel weighed no more than 14 kg, and could be handled by a single person while assembling. Regarding the vertical joint between the panels, the original solution consisted on a tongue and groove configuration of the XPS framework running the length of the panel to enable them to be slotted together. Nevertheless, to make the assembly process easier, it was finally replaced by a tongue shape on both edges that were compressed from the exterior, perpendicularly to the wall plane, by a U shaped steel plate, connected with bolts and nuts to a plywood tap to the interior, from where assembly is made. (Fig. 7)

3. Present and future

at present, the research group is involved in the preparation of the second stage of the Fondef project described in the previous section. This phase of the project is focused on the development of a social interest product or service that must be tested in real conditions so as to become ready for commercialization. In this case, the envisioned product is the prototype of a social house of 50 m^2 whose construction costs did not exceed the minimum unitary cost for timber construction in Chile, close to 420 euros/m^2. To

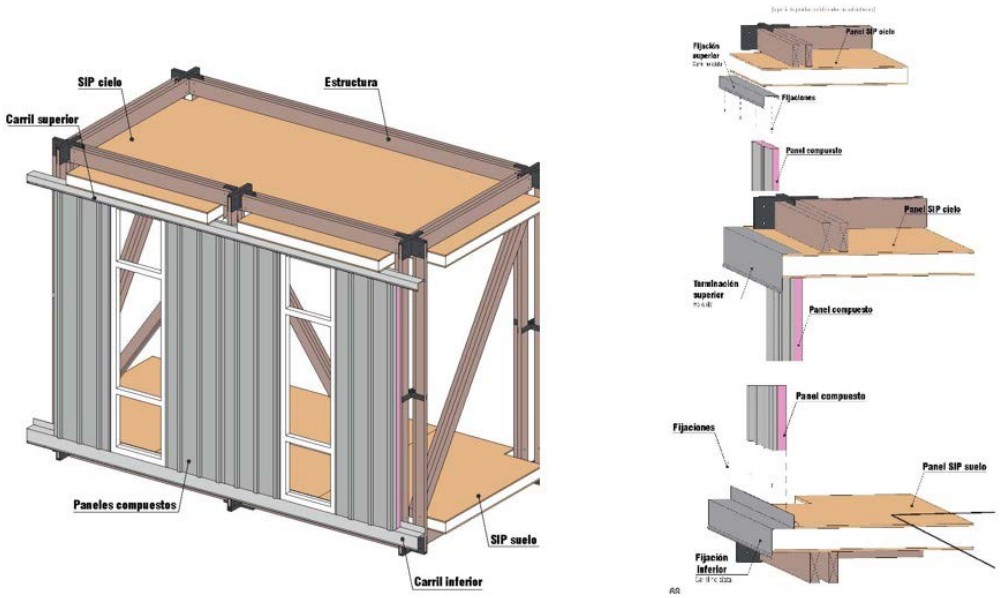


Fig. 7. Montaje de paneles de cerramiento.
Wall panels assembly system. Source: Catalina López, 2016.

lo que supone 420 euros/m^2 para viviendas de 50 m^2 construidos, correspondiente a la media chilena. Este valor equivale al coste mínimo de construcción de viviendas aisladas de madera en Chile. Para lograr este objetivo se va a continuar utilizando el sistema Casa Fénix, adaptado para resolver agrupaciones de vivienda de baja-media densidad que puedan ser aplicadas a los terrenos en pendiente propios de la ciudad de Valparaíso y alrededores.

El equipo del proyecto entiende que la vivienda (no solo la social, pero ésta especialmente) debe concebirse en forma de agrupación. Aumentar la densidad habitacional supone, además de una menor repercusión del suelo en el precio de la vivienda, poder liberarlo para usos de equipamiento, favoreciendo la integración social y mejorando la calidad de vida de los usuarios. Adicionalmente, es bien sabido que la gestión de recursos (agua, energía, residuos, etc.) es más eficiente a nivel comunitario, con indudables beneficios ambientales para la comunidad. En este contexto, la industrialización abierta por componentes compatibles, ámbito en el que se ha desarrollado la primera etapa, permite soluciones habitacionales de calidad y precio ajustado, con las ventajas añadidas de la progresividad en la ejecución, la flexibilidad y multiplicidad de soluciones.

De esta forma, la primera fase de esta nueva investigación debe abordar la manera de generar sistemas de agrupación apropiados para terrenos en pendiente, respecto de los cuales se pueda explorar el campo de variaciones posibles para finalmente delimitar el catálogo de soluciones arquitectónicas admisibles.

Las primeras propuestas desarrolladas (fig. 8) podrían parecer basadas en una malla espacial indiferenciada de las que J. Friedman emplea en su "arquitectura móvil". Pero en realidad el modo de relleno responde a la potencia organizativa de una trama tartán, similar a la que sustenta el proyecto de la Universidad Libre de

achieve this goal, the Fenix system is expected to perform at its best when developed as middle and low density housing ensembles adapted to the steep slopes of the "cerros" of Valparaíso.

The team in charge of the project of the project considers that the dwelling problem (not only when social housing is involved, but primarily in such case) must be addressed by means of compact developments. To increase urban density helps not only to reduce land cost impact, but also favours mixed uses and higher public services availability, key aspects to reduce inequalities and reinforce urban health and quality of life. In addition, it is well known that water, energy, and waste management is more efficient at a community level. In this context, the open industrialization with compatible components, a field in which the first stage of the project has been developed, allows for quality and price-adjusted housing solutions, with the added advantages of progressivity in execution, flexibility and multiplicity of solutions.

Thus, the first phase of this new research must address the way to generate appropriate housing ensemble systems for steep slopes, from which the field of possible variations can be explored to finally define the catalogue of admissible architectural solutions. The first proposals developed (Figure 8) may appear to be based on an undifferentiated spatial network similar to those made popular by Yona Friedman in his "mobile architecture". But in reality the mode of filling responds to the organizational potency of a tartan plot, similar to that underpinned by the project of the Free University of Berlin (Candilis and Josic). This frame allows the variation within a type guaranteeing the viability of the dwellings. That is, Habraken (and S.A.R.) against the flexible will of utopias without implicit geometry. (Fig. 8)

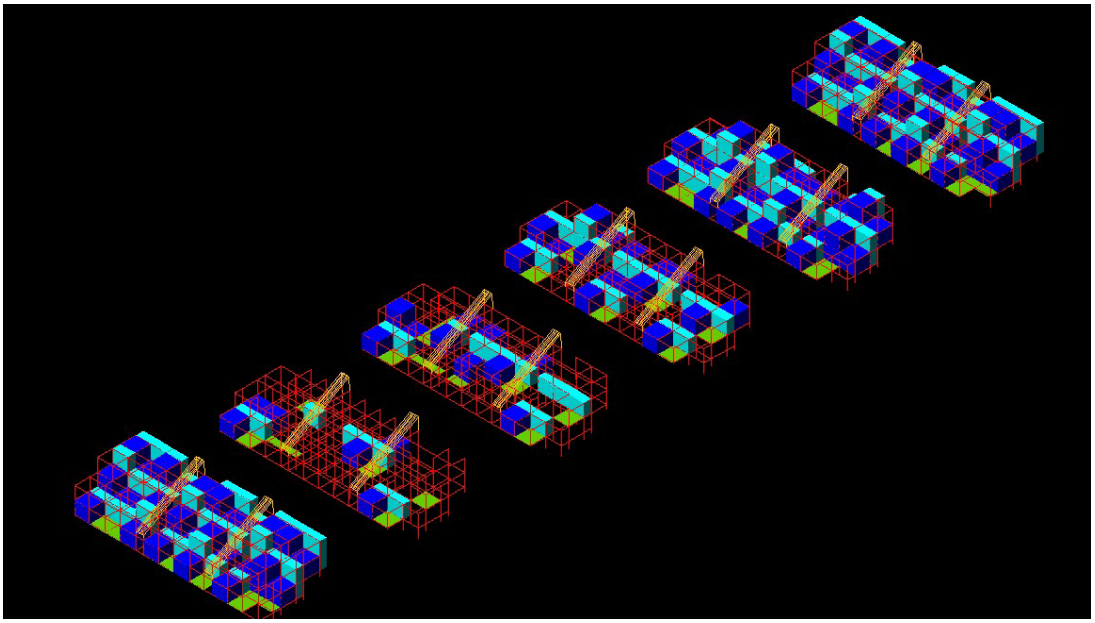


Fig. 8. Sistema 360-GV. Propuesta de sistema general de agrupación de viviendas en pendiente. Fuente: José M. Reyes, 2017.
360-GV_system. Initial proposal of a general system for the configuration of housing ensembles in steep slopes. Source: José M. Reyes, 2017.

Berlín (Candilis y Josic). Esta trama permite variar dentro de un tipo garantizando el funcionamiento de todas las viviendas. Es decir, Habraken (y el S.A.R.) frente al albedrío flexible de utopías sin geometría implícita. (Fig. 8)

En este sentido, la experiencia obtenida en las aplicaciones descritas en el artículo, ha mostrado necesaria la profundización en investigación respecto del sistema constructivo para garantizar su óptimo desempeño en las nuevas condiciones arquitectónicas a las que se le va a someter.

Conclusiones

- La investigación del grupo casa Fénix arranca de pretensión de aplicar las nociones de sostenibilidad social, económica y ambiental al sector de la construcción. En este contexto, la industrialización se ha revelado como una potente herramienta para mejorar todos los indicadores que miden la sostenibilidad de la vivienda chilena.

- La iniciativa Casa FENIX promueve, desde la universidad, una colaboración activa entre usuarios, profesionales, industria y gobierno para mejorar la vivienda social en Chile. A estos efectos, la misión de los investigadores del proyecto es la de brindar metodologías y procesos innovadores desde puntos de vista tanto técnicos como socio-culturales.

- Los hallazgos (y ocasionales fracasos) experimentados en las sucesivas aplicaciones prácticas de la solución Fénix son una muestra del proceso entre azaroso y necesario que se da en todo proceso de investigación aplicada. Este camino, lejos de ser lineal, lo es en zigzag, ocurriendo que descubrimientos en fases tardías del proceso pueden retroalimentar soluciones previas, dotándolas de nuevo sentido e insospechadas posibilidades.

Conclusions

- The research carried out by the "Casa Fénix" group has its origin in the aspiration to apply the notions of social, economic and environmental sustainability to the sector of the construction. In this context, industrialization has proved to be a powerful tool to improve all the indicators that measure the sustainability of Chilean housing.

- The Fénix initiative promotes, from the university field, an active collaboration between users, professionals, industry and government to improve social housing in Chile. To this end, the mission of the project researchers is to provide methodologies and innovative processes from both technical and socio-cultural points of view.

- The findings (and occasional failures) experienced in the successive practical applications of the Fénix solution are a sample of the process between random and necessary that occurs in any applied research process. This path, far from being linear, is a winding one, occurring that discoveries in late phases of the process can feed back previous solutions, giving them new meaning and unexpected possibilities.

BIBLIOGRAFÍA / BIBLIOGRAPHY

Carrasco, A. et al (2016) Casa Fénix For Emergency Post-Natural Impact Extreme. USM editorial

Hormazábal, N. et al (2015) ***Casa Fénix. From the SDE 2014 Competition to the reconstruction after the 2014 urban fire of Valparaiso***. PLEA 2015 Bolognia, Italia

López, C. (2017). Innovación en muro envolvente. Memoria para optar al título de Arquitecto. Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaíso. Chile

Reyes, J.M. (2010). 4 juegos para 4 avatares. Mairea Libros

Reyes, J.M. (2012) Arquitectura del ensamble. Mairea Libros

Salas, J. y Oteiza, I (2009) Estrategias divergentes de industrialización abierta para una edificación pretenciosamente sostenible. Informes de la Construcción. Vol. 61, 513, pp. 11-31

Desacoplamiento del Coeficiente de Perdida de Calor de un edificio en uso aplicando el método de decaimiento del CO_2

Applying the decay method to the CO_2 produced by occupants for decoupling the Heat Loss Coefficient of an in-use office building

Catalina Giraldo-Soto[1], Irati Uriarte[1], **Aitor Erkoreka**[1], José María Sala[1], Pablo Eguia Oller[2]

ABSTRACT

The building energy performance not only depends on the thermal parameters related to the building's envelope, but also with the installed services and its intended use. The building's use is a difficult parameter to control; therefore, to reduce the discrepancies between the designed energy performance and the real one, is critical to correctly characterize the buildings envelope and buildings systems against real data. It is necessary to do with a minimum set of sensors; then this real data should be analysed with robust methodologies. If all this is fulfilled it would be feasible to integrate this methodology in the actual domotic systems of buildings.

Many in-use buildings should be monitored in the next years to obtain their thermal characteristics in order to improve and / or demonstrate their energy efficiency, and thus fulfil the European guidelines derived from the energy reduction strategy in the European Union. In the FP7 A2PBEER project, a multi-storey office building of the University of the Basque Country has been vigorously evaluated with in-use and operation offices. The thermal parameters analysis' studies has been made floor by floor and for the whole building.

The initial objective of the study has been to propose modifications to the existing ISO 9869 method and to the existing the Co-Heating method to make them usable with real monitored data of in-use buildings and thus obtain its envelope main thermal characteristics: The Heat Loss Coefficient (HLC), which considers the transmission (UA-value) and air infiltration (C_v) losses (HLC = UA + C_v), and the solar aperture (S_a value) floor by floor and for the whole building. This office building had no ventilation system during the monitoring period.

Based on these estimated in-use HLC values, the measured metabolic CO_2 concentration values have been analysed using the decay method for anthropogenic CO_2 concentrations. This decay method analysis has permitted to estimate the Air Change per Hour (ACH) of each floor in a daily basis. Based on those ACH values the air infiltration heat loss coefficients (C_v) of each floor have been estimated and then the HLC has been decoupled by means of the simple expression UA = HLC – C_v. This paper is focused on developing this decoupling method that seems promising since it will let us know to what extent the heat losses from a building envelope are due to air infiltration (or ventilation) losses or due to transmission losses.

Key Words: ISO 9869, Co-heating, Heat Loss Coefficient, Metabolic CO_2, Infiltration Heat Loss Coefficient. |: ISO 9869, Co-heating, Coeficiente de Pérdida de Calor, CO_2 Metabólico, Coeficiente de Pérdida de Calor por Infiltración.

(1)ENEDI Research Group, Department of Thermal Engineering, University of the Basque Country (UPV/EHU). Presenter's telephone+34946017359 and e-mail: aitor.erkoreka@ehu.eus. (2)Industrial Engineering ETS, University of Vigo,

1. Introducción

Todos los Estados miembros de la UE deben adoptar una metodología para calcular el rendimiento energético de los edificios, tal como se especifica en el artículo 3 de la EPBD (European Commission, Directorate-General for Energy and Transport, 2008). Dicho cálculo debe incluir como mínimo la energía consumida, en condiciones normalizadas, para calefacción, el agua caliente, la refrigeración, la ventilación y la iluminación, tal y como se prescriben en las normativas nacionales. Dado que la caracterización energética de la envolvente del edificio es una parte muy importante en dichos cálculos, se han desarrollado diferentes enfoques para identificar los indicadores clave de rendimiento (KPI) de la envolvente del edificio in-situ (HLC y Sa) a través de los datos de la monitorización del mismo (Erkoreka, 2016) (Mejri O., 2011). En lo que respecta a estos autores, no se ha encontrado ningún estudio que intente desacoplar el HLC en la parte de transmisión (UA) y de infiltración (Cv) utilizando mediciones in-situ en edificios en uso mediante sistemas de monitorización básicos.

Este trabajo se centra en desarrollar un método de desacoplamiento aplicado en el edificio público de la Universidad del País Vasco descrito en (Erkoreka, 2016), utilizando las mismas fechas obtenidas del sistema de monitorización.

Como gas trazador para estimar el ACH se utilizará el CO_2 Metabólico, aunque haya sido discutido por (Enríquez, 2015) dentro de una reunión de la AIE-EBC58, el uso de CO_2 metabólico a través del método de decaimiento de concentración no está muy extendido para los propósitos de desacoplamiento de HLC.

Es necesario estimar los HLC de los volúmenes que se analizarán para la aplicación del método de desacoplamiento propuesto, además se estimarán para cada uno los valores C_v correspondientes. En este trabajo, estos volúmenes serán las cuatro plantas del edificio ya estudiado (sólo como edificio entero) en (Erkoreka, 2016).

2. Estimación del coeficiente de pérdida de calor por infiltración de aire (c_v) mediante el método de decaimiento metabólico del co_2

El ACH en los edificios se describe en la '***Guía estándar para el uso de concentraciones de dióxido de carbono en interiores para evaluar la calidad del aire interior y la ventilación***' (ASTM D6245-12, 2012), y se determinará a través del CO_2 generado por los ocupantes como gas indicador mediante el análisis de decaimiento de la concentración de CO_2. De acuerdo con esta guía, junto

1. Introduction

All EU Member States must adopt a methodology to calculate energy performance of buildings according to the Article 3 of the EPBD (European Commission, Directorate-General for Energy and Transport, 2008) requires. Such calculation shall include the energy use related to heating, hot water, cooling, ventilation and lighting under standardised conditions prescribed by national regulations, as a minimum. The building envelope energy characterization is a very important fact in those calculations, having been developed different approaches to identify its Key Performance Indicators (KPI) (Erkoreka, 2016) (HLC and S_a) using in-situ monitored buildings data sets (Mejri O., 2011). As far as these authors have searched, none has tried to decouple the HLC into its transmission (UA) and infiltration (C_v) parts using in-situ measurements on in-use buildings by means of basic monitoring systems.

This paper is focussed on developing this decoupling method and applying it to the public building of the University of the Basque Country described in (Erkoreka, 2016) (using the same data obtained by the monitorization system).

The Metabolic CO_2 has been used to estimate air infiltration rates, although discussed by (Enriquez, 2015) within an IEA-EBC Annex58 meeting, the use of metabolic CO_2 through the concentration decay method is not widespread for HLC decoupling purposes.

To apply the proposed decoupling method is necessary the HLCs estimation of the different volumes that will be analysed and where the corresponding C_v values will be estimated. In this work, these volumes will be the four floors of the already studied building (only as whole building) in (Erkoreka, 2016).

2. Air infiltration heat loss coefficient (c_v) by means of metabolic co_2 decay method

The '***Standard Guide for the Use of Indoor Carbon Dioxide Concentrations to Assess Indoor Air Quality and Ventilation***' (ASTM D6245-12, 2012) describe the Air change rates in buildings to be determined through the CO_2 generated by the occupants as indicator gas, through the analysis of decay of the CO_2 concentration. According to this guide and together with Method (ASTM E741,2011), the Aeration Rates per Hour (ACH in [h^{-1}]) can be estimated using the tracer gas decay technique after occupants leave the Building, being the CO_2 generated the tracer gas. If a fixed amount of tracer gas is distributed uniformly in a space, its concentration will reach a maximum level (Van Buggenhout, 2006)

con el Método (ASTM E741,2011), Cambio de Aire por hora (ACH en [h^{-1}]) se pueden estimar usando la técnica de decaimiento del gas trazador después de que los ocupantes abandonan el edificio, siendo este gas el CO_2 generado. Si una cantidad fija de gas trazador se distribuye uniformemente en un espacio, su concentración alcanzará un nivel máximo (Van Buggenhout, 2006) a medida que el aire concentrado en el interior del edificio se diluye con el aire entrante, disminuyendo así gradualmente la concentración del gas trazador, siendo esta disminución logarítmica, donde el gradiente logarítmico de la curva de concentración de decaimiento del gas trazador es el ACH.

Los requisitos establecidos por la guía (ASTM D6245, 2012) que afectan a este trabajo son:

• **Sección 9.3.1.** Para cumplir con este requisito, se han utilizado datos de 6:00pm a 8:00pm, poco después del final de la jornada laboral.

• **Sección 9.3.2.** La técnica de decaimiento de gas trazador descrita en el Método de Ensayo (ASTM E741,2011) supone que la concentración de gas trazador exterior es cero, lo cual no se cumple para el CO_2. Sin embargo, si la concentración al aire libre es constante durante la medición, la técnica de decaimiento de gas trazador se puede usar sustituyendo la diferencia entre la concentración interior y exterior, para la concentración interior, en el análisis contenido en el Método de Ensayo. Analizando los datos, se ha confirmado que la concentración de CO_2 cambia muy poco, por lo tanto, la concentración al aire exterior se considera constante como 400ppm.

• **Sección 9.3.3.** La precisión de medición de la concentración debe ser superior a ± 5% durante el decaimiento del CO_2 como gas trazador en la diferencia entre las concentraciones de CO_2 de interior a exterior.

• **Sección 9.3.4.** Estos autores proponen que el valor aceptable mínimo inicial de decaimiento del CO_2 debe ser 350ppm (diferencia entre la concentración interior y la exterior), para evitar valores de baja concentración al final de las mediciones que podrían reducir la fiabilidad de las mediciones.

• **Sección 9.3.5.** El método de ensayo (ASTM E741,2011) requiere que la concentración de gas trazador interior en múltiples puntos (al menos dos puntos) difiera en menos del 10% de la concentración promedio. Utilizando el CO_2, este requisito de uniformidad de concentración debe aplicarse a la diferencia entre la concentración interior y exterior.

Dado a que cada planta tiene diferentes distribuciones espaciales, el último requisito no se cumple en la planta baja (F0) y segunda planta (F2), estableciendo un valor máximo de 10ºC de la media diaria de la temperatura del aire exterior como requisito adicional para asegurar que las ventanas no estén abiertas con temperaturas exteriores tan bajas. Solo la primera planta (F1) y la tercera planta (F3) cumplen totalmente con los requisitos (ASTM D6245-12, 2012).

as the concentrated internal air of the building is diluted with the incoming air, the gas concentration decreases gradually, being a logarithmic decrease, so the air change rate is given by the logarithmic gradient of the tracer gas decay concentration curve.

The requirements established by the guide (ASTM D6245, 2012), which affect this work:

• **Section 9.3.1 of the guide.** To fulfil this requirement, data from 6:00pm to 8:00pm has been used, shortly after the end of the working day.

• **Section 9.3.2.** The tracer gas decay technique as described in Test Method (ASTM E741,2011) assumes that the outdoor tracer gas concentration is zero, which is not the case with CO_2. However, if the outdoor concentration is constant during the decay measurement, the tracer gas decay technique can be used by substituting the difference between the indoor and the outdoor concentration for the indoor concentration in the analysis contained in the Test Method. Analysing the data sets, it has been stated that the background CO_2 concentration changes very little, thus the background or outdoors concentration is considered constant as 400ppm for this work.

• **Section 9.3.3.** The concentration measurement precision must be better than ±5 % during the decay, applied to the difference between the indoor to outdoor CO_2 concentrations, using CO_2 as a tracer gas.

• **Section 9.3.4.** These authors propose an initial minimum acceptable value of the decay should be 350ppm (difference between the indoor and the outdoor concentration) to avoid low concentration values at the end of measurements that could reduce reliability of measurements.

• **Section 9.3.5.** Test Method (ASTM E741,2011) requires that the indoor tracer gas concentration in multiple points (at least two points) differs by less than 10 % of the average concentration in the floor. When using CO_2 this concentration uniformity requirement should be applied to the difference between the indoor and outdoor concentration.

Due to the different spatial distributions of plants, the last requirement is not fulfilled in the ground floor (F0) and second plant (F2), establishing a maximum value of 10ºC of the average daily air temperature outside as an additional requirement to ensure that windows are not open with such very low outdoor temperatures. Only the first plant (F1) and the third plant (F3) fully comply with (ASTM D6245-12, 2012) requirements.

ple en la planta baja (F0) y segunda planta (F2), estableciendo un valor máximo de 10ºC de la temperatura media diaria del aire exterior como requisito adicional para asegurar que las ventanas no se abren con temperaturas exteriores muy bajas. Sólo la primera planta (F1) y la tercera planta (F3) cumplen completamente con los requisitos (ASTM D6245, 2012).

El promedio de la aireación (ACH_{aver}) de cada planta durante el período considerado se hará con aquellos días que cumplen con todos los requisitos anteriores. Para estimar el Coeficiente de Pérdida de Calor de Infiltración de Aire ((C_v) en [kW / ºC])) de cada planta se utiliza:

$$C_v = V_{ol_\ floor} \cdot ACH_{aver} \cdot \rho_{air} \cdot Cp_{air}$$

(1)

Donde el $Vol_{_floor}$ es el volumen de cada planta [m^3], ACH_{aver} es el promedio en la planta del cambio de aire por hora durante todo el período considerado en [s^{-1}], ρ_{air} [kg / m^3] y Cp_{air} [kJ / Kg ºC] son respectivamente la densidad y el calor específico del aire interior a la temperatura media.

Para F0 y F2 se ha realizado un cálculo adicional para garantizar resultados. Teniendo en cuenta la distribución de estas dos plantas y la ubicación de los sensores de calidad del aire, se ha asignado a cada uno una porción del volumen total para cada planta (Fig. 2), la infiltración (C_v) de F0 y F2 han sido estimadas usando la Ec.(1) y (2), comparando los resultados obtenidos de ambas ecuaciones.

$$C_v = \sum_{i=1}^{N} \left(V_{ol_i} \cdot ACH_{aver_i}\right) \cdot \rho_{air} \cdot Cp_{air}$$

(2)

Donde V_{ol_i} y ACH_{aver_i} son respectivamente el volumen y el Cambio de Aire por Hora promedio del periodo considerado, asociado con cada porción de volumen y N es el número de divisiones hechas al volumen total de cada planta.

Para estimar el ACH mediante el análisis de la concentración de CO_2 metabólico de los ocupantes del edificio, se utilizaron datos minutales de la calidad del aire (CO_2ppm) en el período seleccionado entre diciembre de 2014 y marzo de 2015. Se han utilizado los valores de concentración logarítmica para obtener una relación lineal entre el logaritmo de la concentración de gas trazador [LN (ppm de CO_2 medida - CO_2 al aire libre)], y el tiempo en [h] (de 6:00pm a 8:00pm). Los ACH de cada día y cada planta se han calculado mediante análisis de regresión lineal. El promedio de ACH_{aver} para el período seleccionado de planta será el promedio de todos los valores de ACH de aquellos días que cumplen todos los requisitos anteriores.

The average aeration (ACH_{aver}) of each plant during the period considered will be calculated over those days that comply with all previous requirements. To estimate the Air Infiltration Heat Loss Coefficient ((C_v) in [kW/ºC])) of each floor is used:

$$C_v = V_{ol_\ floor} \cdot ACH_{aver} \cdot \rho_{air} \cdot Cp_{air}$$

(1)

where V_{ol_floor} is the volume of each floor [m^3], ACH_{aver} is the floor average Air Change per Hour for the whole considered testing period in [s^{-1}], ρ_{air} [kg/m^3] and Cp_{air} [kJ/kgºC] are the density and the specific heat of the air at the average indoor temperature respectively.

For F0 and F2 an additional calculation has been performed to guarantee results. Considering the distribution of these two plants and the location of the air quality sensors, has been assigned a portion of the total volume of each floor (Fig. 2), the infiltration (C_v) of F0 and F2 have been estimated using Eq. (1) and Eq. (2), the results obtained from both equations have been compared.

$$C_v = \sum_{i=1}^{N} \left(V_{ol_i} \cdot ACH_{aver_i}\right) \cdot \rho_{air} \cdot Cp_{air}$$

(2)

where V_{ol_i} and ACH_{aver_i} are the volume portions and the average Air Change per Hour of the considered period associated with each volume portion respectively, and N is the number of divisions made to the total volume of each floor.

Minute by minute air quality data (CO_2ppm) in the period selected, from December 2014 to March 2015, of metabolic CO_2 of building occupants has been used to estimate air infiltration rates by means of the CO_2 concentration decay analysis. Logarithmic concentration values have been used to obtain a linear relationship between the logarithm of the tracer gas concentration [LN (measured CO_2ppm - outdoors CO_2ppm)] and the time in [h] (from 6:00pm to 8:00pm). The ACH of each day and each floor have been calculated via linear regression analysis. The average ACH_{aver} for the selected period of each floor will be the average of all the ACH values of those days that meet all requirements of all days fulfilling (ASTM D6245-12, 2012) requirements. For example, the Fig. 1 shows the ACH values calculated for those days of February 2015 fulfilling (ASTM D6245-12, 2012) requirements for the F1.

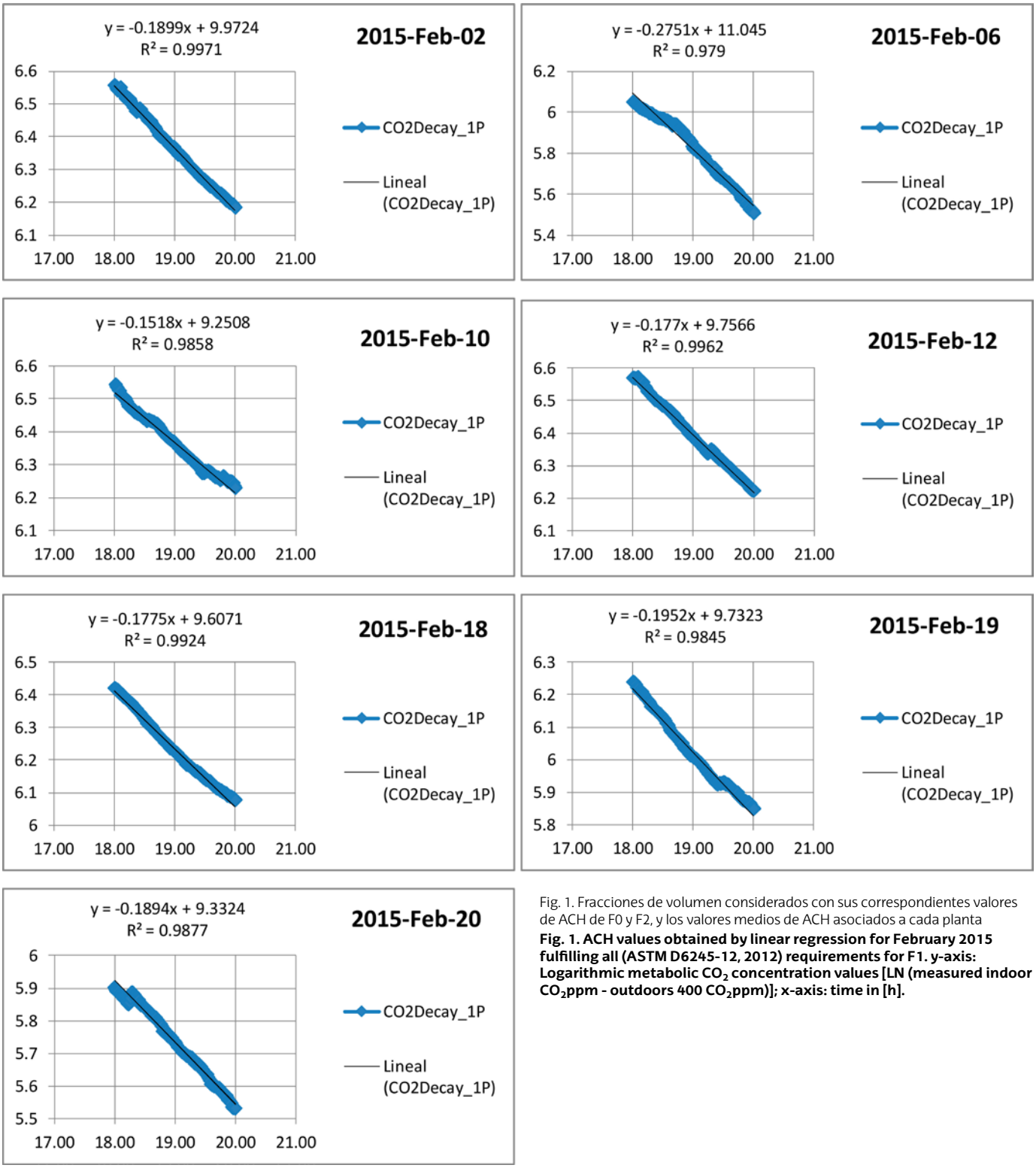


Fig. 1. Fracciones de volumen considerados con sus correspondientes valores de ACH de F0 y F2, y los valores medios de ACH asociados a cada planta

Fig. 1. ACH values obtained by linear regression for February 2015 fulfilling all (ASTM D6245-12, 2012) requirements for F1. y-axis: Logarithmic metabolic CO_2 concentration values [LN (measured indoor CO_2ppm - outdoors 400 CO_2ppm)]; x-axis: time in [h].

llos días que cumplan con todos los requisitos (ASTM D6245, 2012). Por ejemplo, la Fig. 1 muestra los valores de ACH calculados para aquellos días de febrero de 2015 que cumplen con los requisitos (ASTM D6245, 2012), para F1.

Los valores de ACH dependen de la diferencia de temperatura de interior a exterior, pero principalmente en la velocidad del viento. Al relacionar los valores diarios de ACH y la velocidad media del

ACH values depend on indoor to outdoor temperature difference, on wind direction but mainly on wind velocity. Plotting together daily ACH values and wind average speed in the same period (6:00pm to 8:00pm) of those days fulfilling (ASTM D6245-12, 2012) requirements, a correlation between both magnitudes is observed. In general, the higher the average wind speed, the higher the ACH values.

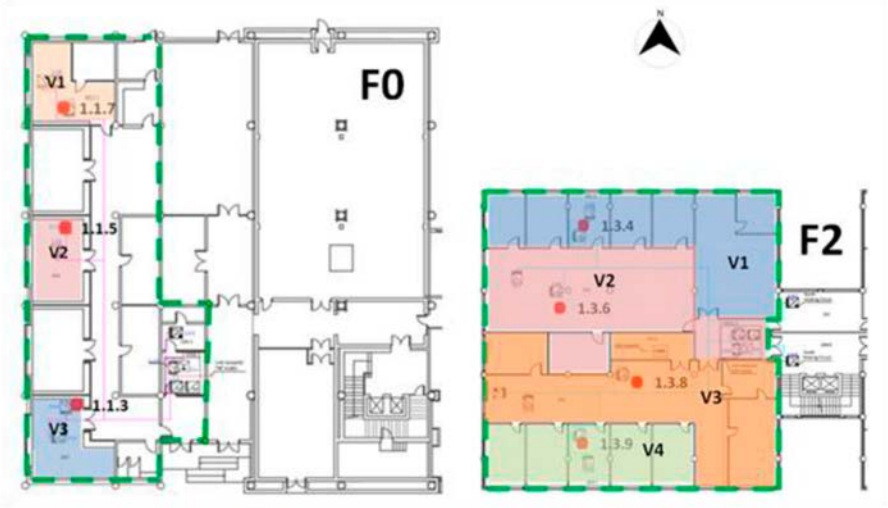


Fig. 2. Particiones de volumen consideradas en los valores F0 y F2 y ACH de cada porción de volumen de F0 y F2 y los valores medios de ACH asociados a cada planta entero.
Volume partitions considered in F0 and F2 and ACH values of each volume portion of both F0 and F2, and the average ACH values associated to each whole floor.

	F0				F2				
Average Media	ACH_{V1}	ACH_{V2}	ACH_{V3}	ACH_{F0}	ACH_{V1}	ACH_{V2}	ACH_{V3}	ACH_{V4}	ACH_{F2}
	0.194	0.212	0.405	**0.284**	0.123	0.113	0.228	0.221	**0.157**

Tabla 1. Cv de cada planta obtenido de Ec. (1) y (2) y el valor Cv total del edificio.
Table 1. C_v values for each floor by means of both Eq. (1) and Eq. (2) and whole building C_v value.

	F0	F1	F2	F 3	BUILDING EDIFICIO
Cv [kW/ºC] (Eq. (1))	0.11	0.11	0.10	0.13	0.45
Cv [kW/ºC] (Eq. (2))	0.11	-	0.11	-	-

viento en el mismo período (6:00pm a 8:00pm) de los días que cumplen con los requisitos (ASTM D6245, 2012), se observa una correlación entre ambas magnitudes. En general, cuanto más alta es la velocidad media del viento, mayores son los valores de ACH.

En F0 las fracciones de volumen (subvolúmenes) consideradas no completan el volumen total, en este caso, el valor C_v obtenido por la Ec. (2) se ha extrapolado para completar el volumen de la planta. Los valores de ACH de cada porción de volumen de F0 y F2 se utilizan para calcular los valores medios de ACH asociados a cada planta. El $ACHV_i$ diario se calcula utilizando los valores de ppm de CO_2 medidos por cada sensor independiente, situado en cada uno de los subvolúmenes de cada planta. Estos valores de $ACHV_i$ se promedian y los valores de ACH_i que se utilizarán en la Ec. (2) obtenidos, se muestran en la Fig 2. El último valor es el ACH_{aver}, calculado en la Ec. (1) tal como se hizo para F1 y F3.

La Tabla 1 muestra que se obtienen valores Cv similares por medio de ambas ecuaciones, aunque hay una mejor aproximación usando la Ec. (2) para F0 y F2, en la práctica es más fácil usar y programar la Ec. (1) para obtener los resultados. Puesto que la diferencia es muy pequeña para este caso, se considera la Ec. (1) para este trabajo.

In F0 the volume fractions (subvolumes) considered do not complete the total volume, in this case, the value C_v obtained by Eq. (2) has been extrapolated to complete the volume of the plant. The ACH values of each volume portion of F0 and F2 are used to calculate the mean ACH values associated with each plant. The daily $ACHV_i$ is calculated using the ppm values of CO_2 measured by each independent sensor, located in each of the subvolumes of each plant. These values of $ACHV_i$ are averaged and the ACH_i values to be used in Eq. (2) obtained are shown in Fig. 2. The last value is the ACH_{aver} to be used in Eq. (1) as was done for F1 and F3.

The Table 1 shows that similar C_v values are obtained by means of both equations, although it is a better approximation using Eq. (2) for F0 and F2, in practice is easier using and programming Eq. (1) to obtain the results. Since the difference is very small for this case, Eq. (1) values are considered for this work.

3. Results and discussion

In Table 2 decoupled UA and C_v values are shown for each floor and for the whole building. Once the floor by floor HLC and C_v have been estimated, the decoupling of the HLC is carried out by

3. Análisis de resultados

En la Tabla 2 se muestran los valores de UA y C_v desacoplados para cada planta y para todo el edificio. Una vez que se han estimado el HLC y Cv de cada planta, el desacoplamiento del HLC se lleva a cabo aplicando lo siguiente: **UA = HLC - C_v**. F0 tiene el HLC más alto (1,52 [kW / ºC]), debido probablemente a los casi dos metros de techo sanitario sin aislamiento y ventilado. Además, la diferencia con el resto es aún mayor si se calcula el HLC por unidad de área como se muestra en la Tabla 3. El HLC de F1 también es alto (1.51 [kW / ºC]) debido a su gran área de ventana (36% del total edificio). Por el contrario, el F2 es el que tiene el valor HLC más bajo debido a la protección dada por las planta inferior y superior, y debido a que su área de ventana es más pequeña (23% del edificio).

En cuanto al valor C_v, F3 tiene el Cv más alto (0,13 [kW / ºC], un 9,32% del HLC del F3) por ser la planta más expuesta al viento debido a su gran claraboya. F2 es de nuevo el que tiene el valor más bajo. Es lógico que las plantas con grandes espacios abiertos que conecten internamente con las fachadas norte y sur tengan mayores valores C_v, como F1 y F3, ya que es más fácil para el aire entrar por ejemplo desde la cara norte y salir por la cara sur. Este efecto es menor para distribuciones de suelo como las plantas F0 y F2 donde hay muchas paredes divisorias que dificultan el movimiento interior del aire.

Las pérdidas de infiltración oscilan entre el 6,71% (F2) y el 9,32% (F3) respecto a las pérdidas totales de calor y las pérdidas de transmisión oscilan entre el 90,68% (F3) y el 93,29% (F2). La Tabla 2 y la Tabla 3 dan información realmente valiosa cuando se deben tomar decisiones de reacondicionamiento en el edificio estudiado. Más del 90% de las pérdidas de calor son pérdidas por transmisión, por lo que el edificio debe estar mejor aislado para reducir el valor de UA. Esto último no será así para edificios con ventilación mecánica y bien aislados, donde dependiendo si se instalan o no sistemas de recuperación de calor, las pérdidas de calor de ventilación pueden representar mayores porcentajes en comparación con las pérdidas de calor de la transmisión. Estos porcentajes también serán diferentes para los edificios más permeables y con fachadas mejor aisladas.

Hay una gran variación en el valor diario ACH dependiendo del día y la velocidad del viento, esto significa que el HLC no es constante todos los días ya que la parte C_v puede variar mucho de un día a otro. Esta es otra razón para considerar largos períodos para obtener los valores medios de HLC.

Conclusiones

Utilizar el método de decaimiento del CO_2 metabólico de los ocupantes para estimar el C_v, es un avance para desacoplar los valores estima-

Tabla 2.Valores de HLC, Cv y UA para cada planta y para todo el edificio
Table 2. HLC, C_v and UA values for each floor and for the whole building

	HLC [kW/ºC]	Cv [kW/ºC]		UA [kW/ºC]	
F0	1.52	0.11	7.28%	1.41	92.72%
F1	1.51	0.11	7.49%	1.40	92.51%
F2	1.37	0.10	6.71%	1.38	93.29%
F 3	1.39	0.13	9.32%	1.26	90.68%
BUILDING EDIFICIO	**5.79**	**0.45**	**7.82%**	**5.34**	**92.18%**

Tabla 3. HLC, Cv y UA por unidad de superficie para cada planta y para todo el edificio.
Table 3. HLC, C_v and UA values per unit area for each floor and for the whole building.

	A [m^2]	HLC [W/ºC·m2]	Cv [kW/ºC·m2]	UA [kW/ºC·m2]
F0	391.65	3.88	0.28	3.60
F1	456.32	3.31	0.24	3.07
F2	604.61	2.27	0.17	2.28
F 3	458.51	3.03	0.28	2.75
BUILDING EDIFICIO	**1911.09**	**3.03**	**0.24**	**2.79**

applying the following: ***UA = HLC - C_v***. F0 has the highest HLC (1.52[kW/ºC]), probably due to an almost two meters non-insulated and ventilated sanitary roof. Moreover, the difference with the rest is even higher if HLC is calculated per unit area as shown in Table 3. The HLC of F1 is also high (1.51 [kW/ºC]), due to its large window area (36% of whole building). On the contrary, the F2 is the one with the lowest HLC value because of the protection given by lower and upper floors, and due to its smaller window area (23% of building).

Regarding to the C_v value, F3 has the highest C_v (0.13 [kW/ºC], a 9.32% of the F3 HLC) because it is the most exposed plant to wind and due to its large skylight. F2 is again the one with the lowest value. It is logic that the floors with distributions with big open spaces connecting internally north and south façades such as F1 and F3 to have bigger C_v values since it is easier for the air to enter for example from the north face and exit through the south face. This effect is lower for floor distributions such as F0 and F2 where there are many partition walls that difficult indoor movement of the air.

The infiltration losses range between 6.71% (F2) and 9.32% (F3) of the total heat losses; and the transmission losses range between 90.68% (F3) and 93.29% (F2). Table 2 and Table 3 give really valuable information when retrofitting decisions

dos de HLC en su coeficiente de pérdida de calor de transmisión (UA) y coeficiente de pérdida de calor de infiltración (C_v). Los datos requeridos a monitorizar son bastante simples para aplicar estas técnicas y la mayoría de los dispositivos de monitorización de energía utilizados en el sector de la construcción para medir los parámetros de confort y los consumos de energía los miden hoy en día.

El método de decaimiento del CO_2 metabólico presentado no es tan fácil de programar como la modificación propuesta al ISO 9869-1 y al método de Co-Heating modificado y presentados en (Erkoreka, 2016), y necesitará una revisión de algunos de los requisitos para edificios ventilados mecánicamente. Estos requisitos también serán diferentes dependiendo de si el sistema de ventilación tiene la recuperación de calor, si las tasas de ventilación son constantes o tiene las tasas de ventilación controladas por CO_2. Por lo tanto, la programación de este método para el desacoplamiento del HLC todavía necesita más investigación.

El uso de CO_2 generado por los ocupantes como gas trazador para determinar ACH en edificios no se utiliza para desacoplar el HLC, por lo que no es fácil encontrar estudios similares realizados. Aunque el objetivo de (ASTM D6245, 2012) no es desacoplar el HLC en sus partes UA y C_v, éste proporciona un método probado para estimar los valores de ACH de un volumen ocupado mediante la medición de la concentración del CO_2 metabólico, tal como se ha probado en este trabajo. No es fácil cumplir con todos los requisitos establecidos en la guía debido a las distribuciones de las áreas estudiadas, pero al analizar las características planta por planta, se pueden asegurar resultados aceptables.

Por último, estos métodos pueden proporcionar los valores HLC, UA y C_v en edificios en uso que podrían utilizarse para obtener certificados energéticos de una manera más realista. También pueden usarse para comparar el valor UA teórico del edificio con el valor UA en uso para saber si la construcción se ha hecho según lo diseñado, siendo un método más barato y no perturbador para el usuario del edificio en comparación con el Método Co-Heating original.

Además, una vez que estén disponibles los valores HLC (y tanto de UA como de C_v) en uso, las actuaciones para mejorar el rendimiento energético de los edificios pueden ser optimizadas, lo que permite evaluar las necesidades de rehabilitación, siendo un punto clave para el proceso de reacondicionamiento del edificio existente, evaluando los ahorros y mejoras obtenidos una vez realizado dicha rehabilitación. Si la parte de infiltración (C_v) del HLC en uso es demasiado grande, los marcos de las ventanas podrían ser comprobados y me-

must be taken on the studied building. More than 90% of heat losses are transmission losses so the building must be better insulated to reduce the UA value. The latter will not be like this for mechanically ventilated and better insulated buildings, where depending if heat recovery systems are installed, the ventilation heat losses can represent higher percentages compared to transmission heat losses. These percentages will also be different for looser buildings with better insulated façades.

There is big variation on the daily ACH value depending on the day and the wind velocity, this means, the HLC is not constant every day since the C_v part can vary a lot from day to day. This is another reason for considering the long Co-heating period as the best choice for obtaining the average HLC values of such long periods.

Conclusions

Using the occupants metabolic CO_2 concentration decay analysis in order to estimate C_v, is a step forward trying to decouple the estimated HLC values into its Transmission Heat Loss Coefficient (UA) and Infiltration Heat Loss Coefficient (C_v). The required data to be monitored is quite simple for applying these techniques and most of the energy monitoring devices commonly used in the building sector to measure comfort parameters and energy consumptions measure them nowadays.

The programming of the presented metabolic CO_2 decay method is not as easy as the presented modified ISO 9869-1 and modified Co-heating methods in (Erkoreka, 2016) and will need revision for mechanically ventilated buildings. The method will also be different depending if the ventilation system has heat recovery, constant ventilation rates or has CO_2 controlled rates. Thus, programming this method for HLC decoupling still needs further research.

The use of CO_2 generated from occupants as a tracer gas to determine ACH in buildings is not used combined to the Co-heating method, so it is not easy to find previous similar works. Although the objective of (ASTM D6245-12, 2012) is not to decouple the HLC into its UA and C_v parts, it provides a proved method to estimate the ACH values of an occupied volume by means of metabolic CO_2 concentration measurement, as proven in this work. Depending on the distribution of the studied area it is not easy to fulfil all requirements established in the guide, but analysing the floor by floor characteristics, acceptable results could be ensured.

Finally, these methods can provide the in-use HLC, UA and C_v values that could be used to ob-

jorados. Si se debe reducir la UA, se pueden llevar a cabo estrategias optimizadas de rehabilitación energética de la fachada del edificio.

Financiación

Este trabajo ha sido apoyado por la Comisión Europea a través del proyecto A2PBEER "Edificios Públicos Asequibles y Adaptables a través de la Modernización Eficiente de la Energía", con acuerdo de financiación No: 609060; concedido por el Ministerio de Economía y Competitividad y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional a través del proyecto IMMOEN "Implementación de técnicas automatizadas de calibración y optimización multiobjetivo aplicado a la simulación de modelos de energía de edificios monitorizados", con referencia: ENE2015-65999-C2-2- R (MINECO / FEDER).

tain energy certificates of buildings in a more realistic way. They can also be used to compare the theoretical UA value of the building against the in-use UA value to know if the construction has been done as designed, being a cheaper and a non-disturbing method for the building user compared to the original co-heating method.

In addition, once the in-use HLC (and both UA and C_v values) are available, decisions on were to act to improve the buildings energy performance can be optimized, allowing evaluate the retrofitting needs and this is a key point for the retrofitting process of existing building, being aware of the impact of the retrofitting actions and evaluating the savings and improvements obtained once the retrofitting is accomplished. If in-use HLC infiltration part (C_v) is too big, window frames could be checked and improved. If the UA must be reduced, optimized energy retrofitting strategies of the building envelope can be performed.

Funding

This work was supported by the European Commission through the A2PBEER project 'Affordable and Adaptable Public Buildings through Energy Efficient Retrofitting', Grant agreement no: 609060; by the Spanish Economy and Competitiveness Ministry and the European Regional Development Fund through the IMMOEN project 'Implementation of automated calibration and multiobjective optimization techniques applied to Building Energy Model simulations by means of monitored buildings', project reference: ENE2015-65999-C2-2-R (MINECO/FEDER).

BIBLIOGRAFÍA / BIBLIOGRAPHY

[1] **European Commission, Directorate-General for Energy and Transport.** (2008). In Implementation of the Energy Performance of Buildings Directive Country reports. Brussels: ISBN: 2-930471-29-8.

[2] O. Mejri, E. Palomo Del Barrio and N. Ghrab-Morcos, **Energy Performance Assessment of Occupied Buildings using Model Identification Techniques,** Energy Build. 43 (2011), pp. 285-299.

[3] R. Enríquez, D. Bravo and M.J. Jiménez, **Mechanical Ventilation Rate Estimation in Buildings during Occupancy: The Role of Metabolic CO_2,** 8th IEA-EBC Annex 58 Experts Meeting, Prague, April 13-15, 2015.

[4] ASTM D6245-12, **Standard Guide for using Indoor Carbon Dioxide Concentrations to Evaluate Indoor Air Quality and Ventilation,** ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.

[5] A. Erkoreka, E. Garcia, K. Martin, J. Teres-Zubiaga and L. Del Portillo, **In-use Office Building Energy Characterization through Basic Monitoring and Modelling,** Energy Build. 119 (2016), pp. 256-266.

[6] S. Van Buggenhout, T. Zerihun Desta, A. Van Brecht, E. Vranken, S. Quanten, W. Van Malcot and D. Berckmans, Data-Based **Mechanistic Modelling Approach to Determine the Age of Air in a Ventilated Space,** Build. Environ. 41 (2006), pp. 557-567.

[7] ASTM E741-11, **Standard Test Method for Determining Air Change in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution,** ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.

Influencia de la orientación de la calles y de otros criterios urbanísticos en los requerimientos energéticos de viviendas colectivas

Effect of the orientation of streets and other urban planning issues on the energy demand of collective housing

Daniel González Prieto[1], Mª Manuela Prieto González[2]

ABSTRACT

El consumo energético del sector residencial en la Unión Europea representa alrededor del 30% del total de la energía consumida. Por ello, en la estrategia energética de la U.E. se ha fijado como uno de los principales objetivos el que para finales de 2020 (2018 para los edificios ocupados y propiedad de autoridades públicas), todos los edificios nuevos deberán cumplir la Directiva Europea 2010/31/UE sobre "Eficiencia Energética de los Edificios", estando los edificios antiguos que sufran reformas también obligados a su adecuación para la mejora energética. El desarrollo de esta directiva en España ha sido plasmado en el Código Técnico de la Edificación CTE 2013. La vivienda colectiva representa un porcentaje muy alto (sobre el 42% para la U.E. y el 65,9% para España), por lo que se considera de gran interés el conocimiento de las posibilidades de ahorro de energía que tienen los edificios, tanto en los nuevos núcleos urbanos, como en los núcleos de construcción más antigua (en los que existe un abundante número de edificios protegidos). Las medidas de eficiencia energética que actúan sobre la disminución de la demanda del edificio están condicionadas por restricciones como la climatología, el trazado de las ciudades (y en particular de sus calles y las tipologías de sus edificios), la conservación del patrimonio y otras limitaciones funcionales y estéticas. En este trabajo se aborda el estudio de la incidencia del trazado de las calles, considerando sus diferentes direcciones y teniendo en cuenta la separación de las hileras de edificios (ancho de calle) y la altura de los mismos. Para ello, se analizan las energías térmicas, que forman parte de los balances energéticos de los edificios, pero el estudio se centra más intensamente en los aportes solares, los cuales suponen una energía gratuita valiosa en algunas zonas de España con demanda principal de calefacción. La aplicación se realiza en la ciudad de Gijón, en la costa atlántica, en el norte de España. Metodológicamente, se define un edificio de referencia situado en el centro emblemático de la ciudad y se posiciona en las calles principales de la zona, las cuales siguen diferentes direcciones. Para cada posición se obtienen resultados de las ganancias (solares e internas) y de las demandas, considerando los edificios que dan sombras al edificio de referencia, a fin de analizar el efecto del trazado urbanístico, tanto en cada planta de pisos, como en el edificio en su conjunto.

Key Words. orientación, edificios, energía, ganancia, demanda.

1DANIEL GONZÁLEZ - ARQUITECTURA & DISEÑO. Ctra. AS 247-1146, nº 29 bajo, E-33203 Gijón (Asturias). 2UNIVERSIDAD DE OVIEDO. Edificio de Energía, Campus de Viesques, E-33204 Gijón (Asturias). Presenter's telephone and e-mail address: +34 651 319 815; info@danielgonzalez-ad.com

1. Introducción

El parque inmobiliario de nuestro país se comporta como un enorme sumidero energético [1]. En la Unión Europea, la necesidad de disminuir los consumos de la energía que corresponde a los edificios se ha plasmado en dos directivas energéticas [2,3]. Para finales de 2020 (2018 para los edificios ocupados y propiedad de autoridades públicas), todos los edificios nuevos deberán cumplir con las directivas europeas y alcanzar niveles de rendimiento de "edificios de energía casi cero (EECN)", utilizando tecnologías innovadoras y de costo optimizado, con integración de las energías renovables in situ o cerca del edificio. Este hecho, en un entorno de fuertes limitaciones de emisiones de gases con efecto invernadero, hace el reto ineludible [4].

En 2011 en España el consumo de energía primaria por sectores era: 30,4% entre los sectores residencial y servicios, 25,7% en la industria y 34,4% en el transporte [5]. La necesidad de disminuir los consumos de energía en los edificios ha llevado en España al desarrollo de las dos directivas energéticas europeas, que se han plasmado en el Código Técnico de la Edificación CTE 2016 [6]. Además, según datos de 2015 para la UE-28 [7], más de 4 de cada 10 personas (42,0%) vivían en pisos, casi un cuarto (24,1%) lo hacían en casas unifamiliares adosadas y un tercio (33,3 %) ocupaban viviendas unifamiliares aisladas. De toda la Unión Europea, la proporción más alta de gente viviendo en pisos la tenía España, con un 65,9%.

La climatología, el trazado de las ciudades y la necesidad de conservación del patrimonio, además de otras limitaciones funcionales y estéticas, suponen restricciones que es preciso valorar en términos de eficiencia energética. El trazado de las calles de las ciudades en los núcleos más densamente poblados, ha de tener en cuenta, en particular, la dirección de las calles [8-9], la compacidad de edificios (expresada como relación del ancho de la calle respecto a la altura de los edificios) y la orientación de los mismos. La climatología y el trazado de calles condicionan las pérdidas por trasmisión debidas a la acción del viento y las ganancias solares, que están afectadas por la compacidad y el sombreamiento por parte de otros edificios [10].

En esta investigación se plantea el estudio de la incidencia del trazado de las calles, con consideración de la separación de hileras de edificios (ancho de calle) y de la altura de los mismos, para análisis de las energías térmicas que forman parte de los balances energéticos de los edificios y, más concretamente, de los aportes solares que se obtienen por cada planta, así como en el edificio en su conjunto. La aplicación se hace en Gijón, una ciudad del norte de España, en la costa atlántica (Mar Cantábrico).

Se busca obtener cómo afecta el trazado urbanístico a las condiciones térmicas en el interior de un edifi-

1. Introduction

The real estate of our country behaves like a huge energy sink [1]. In the European Union, the need to reduce the consumption of energy that corresponds to buildings has been reflected in two energy directives [2,3]. By the end of 2020 (2018 for occupied buildings owned by public authorities), all new buildings must comply with European directives and achieve "near-zero energy buildings (NZEB)" performance levels using innovative and cost-effective technologies, with integration of renewable energies in situ or near the building. This fact, in an environment of strong limitations of greenhouse gas emissions, makes the challenge unavoidable [4].

In 2011, primary energy consumption by sectors in Spain was: 30.4% in the residential and services sectors, 25.7% in industry and 34.4% in transport [5]. The need to reduce energy consumption in buildings has led in Spain to the development of the two European energy directives, which are reflected in the Technical Building Code CTE 2016 [6]. In addition, according to 2015 data for the EU-28 [7], more than 4 out of 10 people (42.0%) lived in flats, almost a quarter (24.1%) did so in single-family houses and one third (33.3%) occupied isolated single-family homes. Across the European Union, the highest proportion of people living in apartments was in Spain, with 65.9%.

Climatology, the layout of cities and the need for heritage conservation, as well as other functional and aesthetic limitations, represent constraints that need to be assessed in terms of energy efficiency. The layout of the city streets in the most densely populated areas must take into account, in particular, the direction of the streets [8-9], the compactness of buildings (expressed as the ratio of the width of the street to the height of the buildings) and their orientation. Climatology and street layout condition transmission losses due to wind action and solar gains, which are affected by compactness and shading by other buildings [10].

The present research proposes the study of the incidence of the street layout, with consideration to the separation of rows of buildings (street width) and their height, for analysis of the thermal energies that are part of the energy balance of the buildings and, more specifically, of the solar contributions that are obtained by each floor, as well as in the building as a whole. The application is made in Gijón, a city in the north of Spain, on the Atlantic coast (Cantabrian Sea).

The aim is to know how the urban layout affects the thermal conditions inside a residential building, in order to reduce energy consumption and achieve the objectives set by the European Union in its energy directives.



Fig. 1. Trazado de calles de la zona estudiada y situación de las cuatro calles elegidas (Elaboración propia; 2017). Street layout of the studied area and location of the four streets chosen (Own elaboration; 2017).

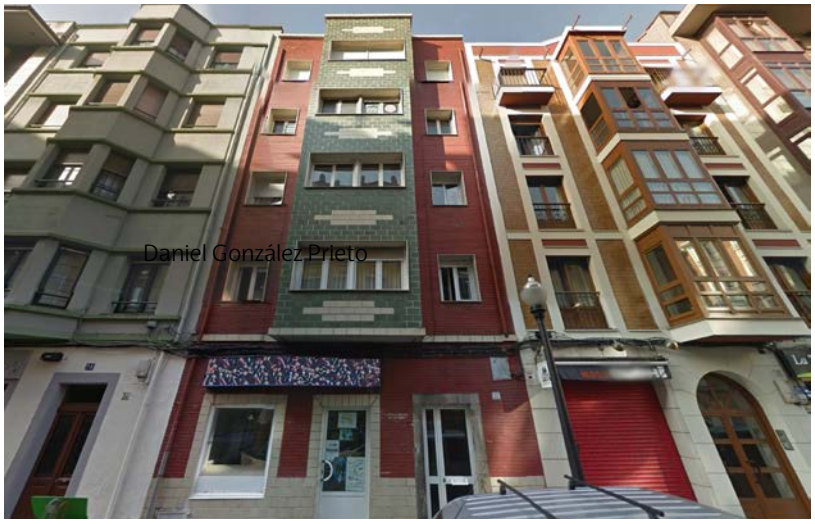


Fig. 2. Estilo de edificios predominante (Google maps; 2017). Prevailing building style (Google maps; 2017).

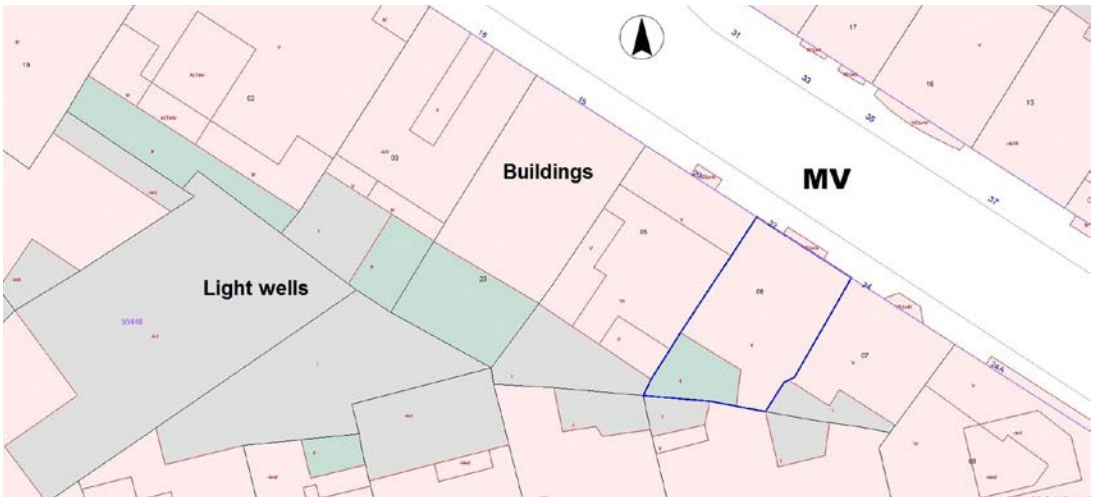


Fig. 3. Forma del edificio de referencia considerado y situación de los patios de luces en la zona (Sede Electrónica del Catastro; 2017).
Shape of the building of reference considered and location of the light wells in the area (Cadastre Website, 2017).

cio de viviendas, de cara a disminuir los consumos de energía y a conseguir los objetivos planteados por la Unión Europea en sus directivas energéticas.

2. Descripción del trazado y tipología de los edificios

La aplicación se realiza en una zona emblemática del centro de Gijón, que fue remodelada urbanísticamente en los años sesenta. Como muestra la Fig. 1, las calles se disponen en torno a una de las plazas más conocidas de Gijón, unas saliendo de la plaza en forma radial y otras perpendiculares a los radios (la mayor parte de ellas siguiendo esencialmente la línea de la costa). Las cuatro calles estudiadas aparecen coloreadas en la figura, etiquetadas con dos letras para su identificación.

La distribución de plantas más frecuente comprende un bajo comercial y entre cuatro y seis plantas de pisos. La construcción de la mayoría de los edificios tuvo lugar entre los años 1950 y 1970, aunque se conservan algunos más antiguos que datan de hace más de 100 años, imperando en conjunto un estilo

2. Description of the Layout and Typology and of the Buildings

The application is made in an emblematic area of the centre of Gijón, a zone that was remodelled urbanistically in the sixties. As shown in Fig. 1, the streets are arranged around one of the most well-known squares in Gijón, some of them leaving the square in a radial form and others being perpendicular to the spokes (most of them following essentially the coastline). The four streets studied appear coloured in the figure, labelled with two letters for their identification.

The most frequent distribution of storeys comprises a commercial premise and four to six flat floors. The construction of most of the buildings took place between the years 1950 and 1970, although there are some older dating back more than 100 years, reigning altogether a modernist eclectic style. Fig. 2 shows the style of buildings in the area.

Although there is a variety of buildings in the area, the predominant buildings are erected

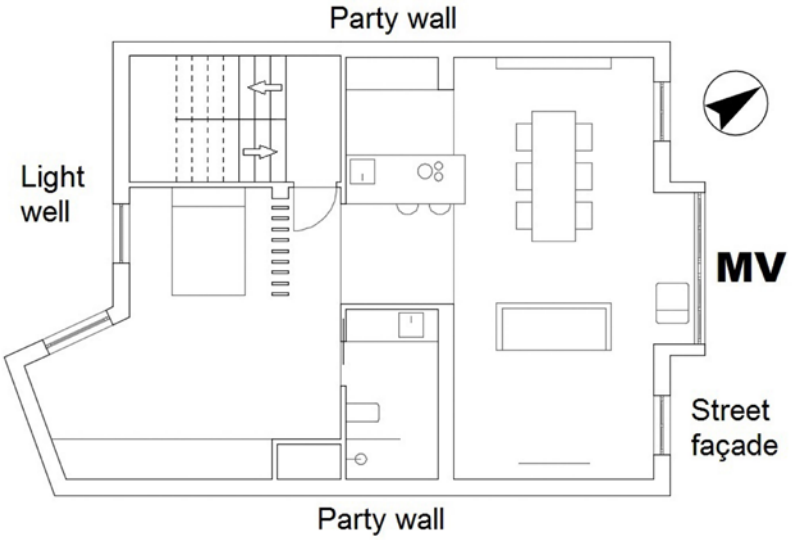


Fig. 4. Detalle de la planta del apartamento del edificio considerado (Elaboración propia; 2017).
Layout of a representative flat of the building considered (Own elaboration; 2017).

ecléctico modernista. En la Fig. 2 se muestra el estilo de edificios de la zona.

Si bien en la zona hay variedad constructiva, predominan los edificios entre medianeras, con un bajo comercial y cuatro plantas. La altura de suelo de una planta a suelo de la otra es de 3,5 m para los pisos y de 4 m para el local comercial. Por simplicidad, se ha considerado un edificio de un solo apartamento por planta, con la mayoría del espacio abierto a la calle principal y un patio interior en la zona del dormitorio, como se muestra en la Fig. 3 (se representa con contorno azul la forma del edificio de referencia), que corresponde a un detalle de la zona que muestra la profusión de los patios de luces. En la Fig. 4 se puede ver la planta del apartamento usado como referencia en el presente estudio. Las áreas habitables útiles consideradas son: 72,5 m^2 para cada apartamento y 50,9 m^2 para el local comercial.

3. Metodología

En lo relativo a los detalles constructivos, el edificio rehabilitado se considera aislado por el interior (con diferentes espesores según el cerramiento), ya que en la actualidad la mayoría de los edificios de esta zona se encuentran catalogados. Las transmitancias térmicas que se toman para los diferentes cerramientos son:

Muros exteriores U=0,20 W/(m²·K); solera con cámara sanitaria U= 0,17 W/(m²·K); medianeras U= 0,69 W/(m²·K); cubierta U= 0,17 W/(m²·K); forjado en voladizo U= 0,18 W/(m²·K); muros interiores en contacto con zonas no calefactadas U=0,27 W/(m²·K); acristalamiento de ventanas 4/16/4, vidrio U= 2,60 W/(m²·K), factor solar = 0,77, marcos U= 2,20 W/(m²·K), α_S = 0,4 (color claro), permeabilidad al aire clase 4.

Para obtener estos valores, se ha propuesto el siguiente aislamiento: XPS de 160 mm para la solera; 100 mm de lana mineral para los muros exteriores; 100 mm de lana mineral para la cara interior de la partición con los espacios no calefactados; XPS de 120 mm y EPS de 80 mm para la cubierta; y EPS de 180 mm para el forjado en voladizo.

Los cálculos para definir la envolvente se han realizado con la herramienta CYPECAD MEP [11], cumpliendo el CTE 2013 y, en particular, la limitación de la demanda DB HE 1 [6]. El valor base de la demanda de calefacción, $D_{heat,base}$, para la zona climática de invierno correspondiente a la ubicación del edificio, es 20 kWh/(m²·año). El factor corrector de superficie de la demanda energética de calefacción, $F_{heat,surf}$, es 1000. La superficie útil de los espacios habitables del edificio es S = 348.70 m², por lo que el límite para la demanda de calefacción del edificio es: $D_{heat,lim} = D_{heat,base} + F_{heat,surf} / S$ = 22.9 kWh/(m²·año).

El estudio se inicia considerando el ancho de calle predominante entre fachadas, que es de 10 m, y una orientación de 30° NE para el edificio de referencia, que corresponde a su situación en el lado de los números pares de una calle que discurre

side to side (between party walls), with a commercial premise and four flat floors. Free height from floor to floor is 3.5 m for the flat floors and 4 m for the commercial premise. For simplicity, a single apartment per floor has been considered, with most of the space open to the main street and the bedroom facing an inner courtyard, as shown in Fig. 3 (the outline of the reference building is coloured in blue), which represents a detail of the area showing the profusion of light wells. Fig. 4 shows the layout of the apartment used as a reference in the present study. The useful habitable areas considered are: 72.5 m2 for each apartment and 50.9 m2 for the commercial premise.

3. Methodology

Regarding the constructive details, the rehabilitated building is considered insulated by the inner side (with thicknesses varying according to the different envelope items), since at the moment most of the buildings of this zone are listed. The U-Values (thermal transmittances) that are considered for the different envelope components are:

External walls U=0.20 W/(m²·K); slab with sanitary chamber U= 0.17 W/(m²·K); party walls U= 0.69 W/(m²·K); roof U= 0.17 W/(m²·K); cantilevered slab U= 0.18 W/(m²·K); internal walls in contact with unheated areas U=0.27 W/(m²·K); window glazing 4/16/4, glass U= 2.60 W/(m²·K), solar factor = 0.77, frame U= 2.20 W/(m²·K), α_S = 0.4 (light color), air permeability class 4.

To obtain these values, the following insulation has been proposed: XPS of 160 mm for the foundation; 100 mm of mineral wool for the external walls; 100 mm of mineral wool for the inner face of the partition with the unheated spaces; XPS of 120 mm and EPS of 80 mm for the roof; and EPS of 180 mm for the slab on the commercial premises.

The calculations to define the envelope have been made with the tool CYPECAD MEP [11], enforcing the CTE 2013 code and, in particular, the demand limitation DB HE 1 [6]. The base value of the heating demand, $D_{heat,base}$, for the winter climatic zone corresponding to the building site, is 20 kWh/(m²·year). The surface corrector factor of the energy demand of heating, $F_{heat,surf}$, is 1000. The useful surface of the living spaces of the building is S = 348.70 m², so the limit for the heating demand of the building is: $D_{heat,lim} = D_{heat,base} + F_{heat,surf} / S$ = 22.9 kWh/(m²·year).

The study is started considering the predominant street width between façades, which is 10 m, and an orientation of 30° NE for the reference building, which corresponds to its situation on the side of the even numbers of a street running practi-

Tabla 1: Resumen de los casos estudiados (Elaboración propia; 2017)
Summary of the cases studied (Own elaboration; 2017)

CALLE/STREET	SOMBRAS/ SHADOWS	ORIENTACIÓN NE/ ORIENTATION NE	CALLE ANCHA/WIDE STREET	EDIFICIOS ALTOS/HIGH BUILDINGS	CASO /CASE
MV	No	30º	No	No	01
	Yes/Sí				02
	No	210º			03
	Yes/Sí				04
CP	Yes/Sí	74º			05
		254º			06
EC		121º			07
		301			08
CV		342º			09
		162º			10
MV		30º	Yes/Sí		11
		210º			12
		30º	No	Yes/sí	13
		210º			14

ra; 100 mm de lana mineral para los muros exteriores; 100 mm de lana mineral para la cara interior de la partición con los espacios no calefactados; XPS de 120 mm y EPS de 80 mm para la cubierta; y EPS de 180 mm para el forjado sobre los locales comerciales.

Los cálculos para definir los cerramientos se han realizado con la herramienta CYPECAD MEP [11], haciendo cumplir el CTE 2013 y, en concreto, la limitación de la demanda ***DB HE 1*** [6]. El valor base de la demanda energética de calefacción, $D_{cal,base}$, para la zona climática de invierno correspondiente al emplazamiento del edificio, es 20 kWh/(m²·año). El factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción, $F_{cal,sup}$, es 1.000. La superficie útil de los espacios habitables del edificio es S = 348,70 m², por lo que la demanda límite de calefacción del edificio es: $D_{cal,lim} = D_{cal,base} + F_{cal,sup} / S = 22,9$ kWh/(m²·año).

Se inicia el estudio considerando el ancho de calle predominante entre fachadas, que es de 10 m, y una orientación de 30º NE para el edificio de referencia, que se corresponde con la situación del mismo en el lado de los números pares de una calle prácticamente paralela a la línea de la playa en las proximidades de la plaza (calle MV). Se estudia primero el edificio sin sombras, que se toma como caso de referencia: CASO 01.

Posteriormente, se genera el CASO 02 teniendo en cuenta los bloques sólidos que dan sombra al edificio, que son los edificios enfrentados y los edificios que cierran el patio. Todos los bloques que dan sombra se consideran con la misma altura que el edificio de referencia.

En un paso más, se cambia la orientación del edificio del CASO 01, posicionándolo en la misma calle, pero en el lado de los números impares, con lo que la nueva orientación resulta 210º NE, lo que da lugar al CASO 03. A continuación se tienen en cuenta

cally in parallel to the beach line in the vicinity of the square (MV Street). Firstly, the study focuses in a building without shadows, which is taken as reference case: CASE 01.

Subsequently, CASE 02 is generated considering the solid blocks that give shade to the building, which are the facing buildings and the buildings that close the inner courtyard. All shadow blocks are considered to have the same height as the reference building.

In a further step, the orientation of the building of CASE 01 is changed, being the building now positioned in the same street, but on the opposite side, whereupon its new orientation is 210º NE, what provides CASE 03. Then shadows are taken into account, while keeping unchanged the orientation of the building, what constitutes CASE 04.

The following cases (CASES 05 to 10) are defined considering that there are always buildings that give shade and the different cases are obtained by changing the directions of the streets studied (CP, EC and CV Street) and differentiating whether the building is in the odd or in the even side of each street.

Finally, from CASES 02 and 04 (MV Street, building with shadows and orientations 30º NE and 210º NE, respectively), new cases are generated increasing the width of the street to 15 m (CASES 11 and 12) and the height of the facing buildings, to which one more floor is added (CASES 13 and 14). The description of the cases is shown in Table 1.

The calculation of the thermal load of the buildings is carried out according to the Radiating Temporary Series Method (RTSM), proposed by ASHRAE TC4.1 (Load Design Committee) and implemented in CYPE CAD MEP [11]. The RTSM method [12-13] is a new procedure for perform-

los edificios que dan sombra al considerado en esa orientación, lo que constituye el CASO 04.

Los casos siguientes (CASOS 05 a 10) se definen considerando que siempre hay edificios que dan sombra y se obtienen los diferentes casos cambiando las direcciones de las calles que se estudian (calles CP, EC y CV) y diferenciando si el edificio está en el lado par o impar de cada calle.

Por último, a partir de los CASOS 02 y 04 (calle MV, edificio con sombras y orientaciones 30º NE y 210º NE, respectivamente), se generan nuevos casos aumentando el ancho de la calle a 15 m (CASOS 11 y 12) y la altura de los edificios enfrentados, a los que se añade una planta más (CASOS 13 y 14). La descripción de los casos se muestra en la Tabla 1.

El cálculo de la carga térmica de los edificios se realiza según el Método de las Series Temporales Radiantes (RTSM), propuesto por ASHRAE TC4.1 (Comité de diseño de cargas) e implementado en CYPE CAD MEP [11]. El método RTSM [12-13] es un nuevo procedimiento para realizar cálculos de cargas térmicas, que ha sido validado recientemente [14].

4. Resultados

Edificio sin sombras en la calle MV, con orientación 30º NE

Para todos los casos considerados se obtiene el balance de energía, que incluye los conceptos de las pérdidas y de las 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. 5 para el caso de referencia, el CASO 01. 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. La demanda de calefacción del edificio es $D_{cal,edificio}$ = 21,46 kWh/m^2·año, que cumple el CTE DB HE1, ya que es inferior a la demanda límite de calefacción para un edificio en esa zona climática. Las pérdidas más importantes son por ventilación (60%), a través de las superficies opacas (22%) y a través de las ventanas (17%), resultando muy bajo el porcentaje de otras pérdidas (1%). Las pérdidas por ventilación podrían reducirse, y con ello la demanda de calefacción, si se instalara un circuito cerrado de aire de ventilación. Las ganancias solares representan el 36%, las ganancias internas el 43% y las demanda de calefacción el 21% 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.

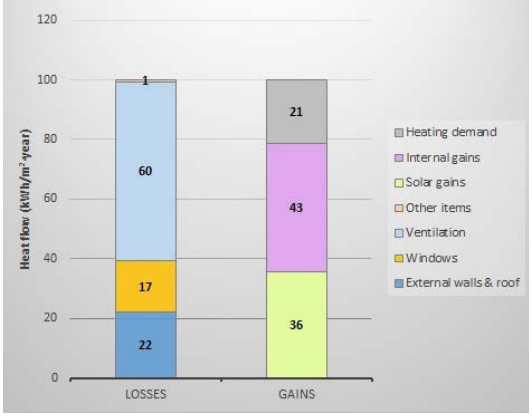


Fig. 5. CASO 01. Balance total anual de pérdidas y ganancias del edificio (Elaboración propia; 2017).
CASE 01. Yearly total balance of gains and losses of the building (Own elaboration; 2017).

ing thermal load calculations, which has been recently validated [14].

4. Results

Building without shadows in MV Street, with orientation 30º NE

For all cases considered the 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 represented in Fig. 5 for the reference case (CASE 01). Solar gains are the theoretical maximum values that could be obtained for this orientation, since the building of this case has no shadows. The heating demand of the building is $D_{cal,\ building}$ = 21.46 kWh/m^2·year, which complies with the CTE DB HE1 code, since it is lower than the heating demand limit for a building in that climatic zone. Most important losses are by ventilation (60%), through opaque surfaces (22%) and through windows (17%), other losses representing only a very low percentage (1%). Ventilation losses could be reduced, and thus the heating demand, if a closed air ventilation circuit is installed. Solar gains represent 36%, inner gains 43% and heating demand 21% of total. Contributions from solar gains and inner gains to total are very important, because the building is heavily insulated.

Fig. 6 shows, for the same CASE 01, the values obtained month by month for solar gains, inner gains and heating demand for the building. Inner gains remain constant throughout the year, while rising solar gains in the hottest months make heating unnecessary. Total gains are higher in the colder months (January and December).

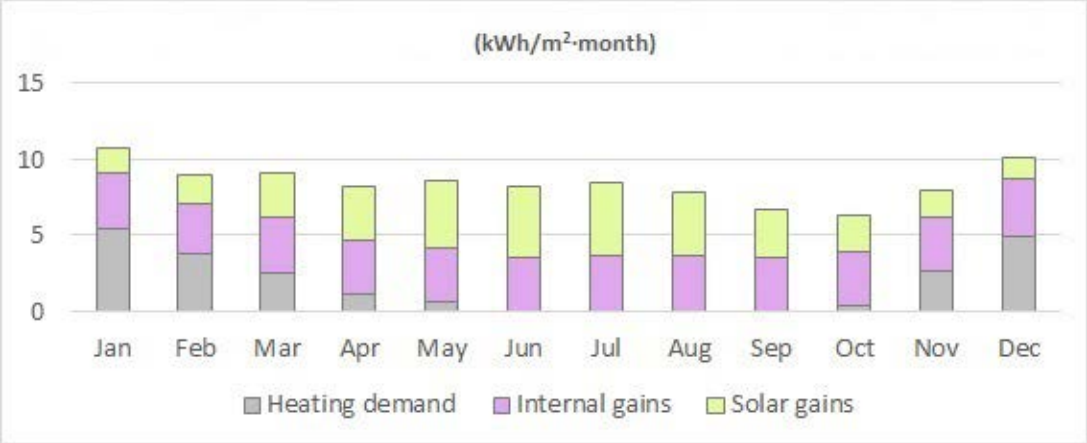


Fig. 6. CASO 01. Evolución mensual de las ganancias solares e internas y de la demanda de calefacción (Elaboración propia; 2017).
CASE 01. Monthly distribution of solar and internal gains and heating demand (Own elaboration; 2017).

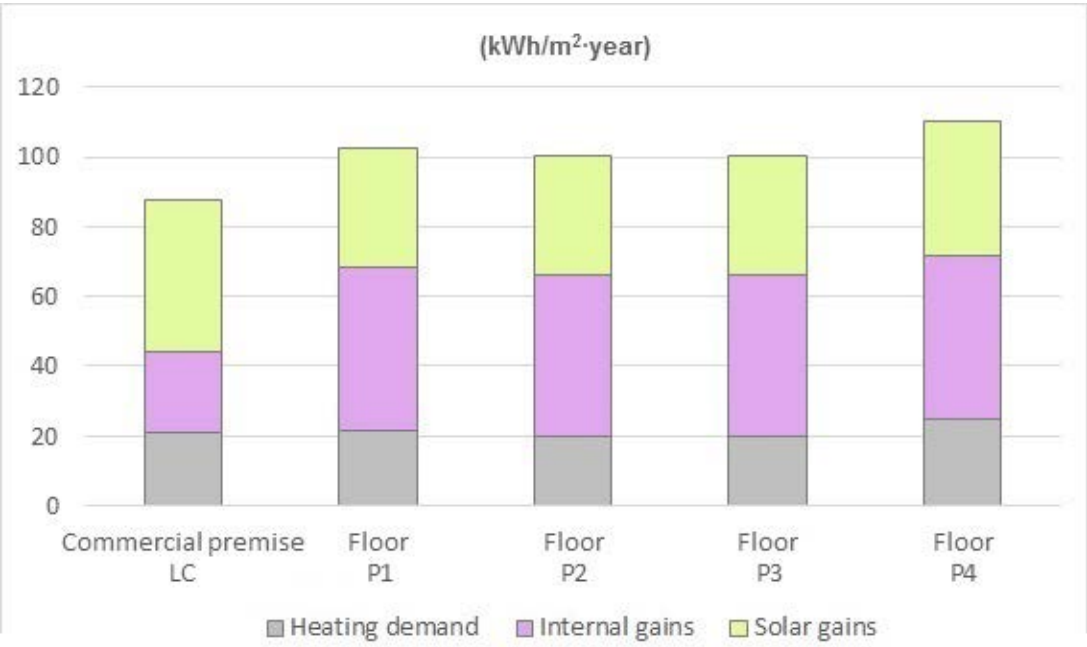


Fig. 7. CASO 01. Distribución por plantas de las ganancias y la demanda anual (Elaboración propia; 2017).
CASE 01. Distribution by storeys of the yearly gains and demand (Own elaboration; 2017).

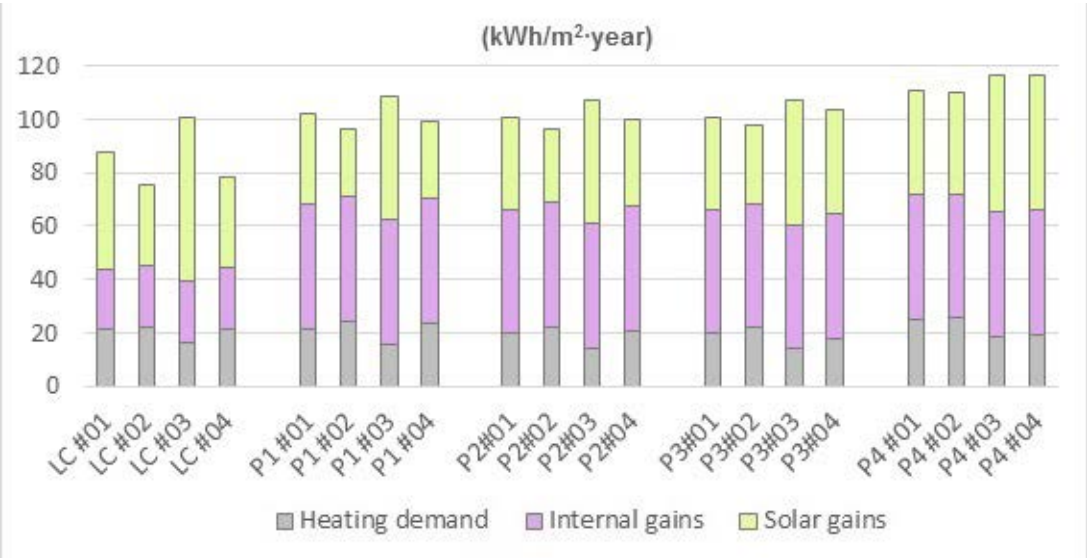


Fig. 8. CASOS 01 a 04. Comparación de ganancias anuales totales de un edificio con y sin sombras, para dos orientaciones opuestas en una misma calle (MV) (Elaboración propia; 2017).
CASES 01 to 04. Comparison of total yearly gains of a building with and without shadows, for two opposite orientations in the same street (MV) (Own elaboration; 2017).

La Fig. 6 muestra, para el mismo CASO 01, los valores que se obtienen mes a mes para las ganancias solares, las ganancias internas y la demanda de calefacción para el edificio. Las ganancias internas se mantienen constantes a lo largo del año, mientras que el aumento de las ganancias solares en

Fig. 7 shows solar gains, inner gains and heating demand broken down by plants (the commercial premise and each floor plant). It can be seen that total gains of the last floor are higher than those of the other floors, due to a higher solar gain and a slight increase in the heating demand.

Tabla 2. CASOS 02 y 04. Comparación de ganancias, demanda y carga máxima simultánea para el local comercial y las plantas de pisos del edificio de referencia, con sombras y en las dos orientaciones de la calle MV. (Elaboración propia; 2017).
CASES 02 & 04. Comparison of gains, demand and simultaneous maximum load for the commercial premise and floors of the reference building, with shadows and in the two orientations of MV Street. (Own elaboration; 2017).

	GANANCIAS Y DEMANDA (kWh/m²·año) / GAINS & DEMAND (kWh/m2·year)				CARGA MÁX. (W)/ MAX. LOAD (W)	
	CASO/ CASE 02		CASO/ CASE 04		CASO/ CASE 02	CASO/ CASE 04
	Ganancias/ Gains	Demanda/ Demand	Ganancias/ Gains	Demanda/ Demand		
LC	53,7	22,0	56,7	21,6	2.072	2.062
P1	72,0	24,5	75,2	23,9	2.436	2.414
P2	74,1	22,1	78,9	20,7	2.443	2.422
P3	75,9	21,8	85,5	17,9	2.443	2.422
P4	84,4	25,6	97,0	19,4	2.567	2.545
TOTAL	73,2	23,3	80,1	20,6	11.961	11.864

Tabla 3. Comparación de ganancias, demandas y cargas máximas simultáneas para todas las direcciones con sombras, ancho de calle 10 m y altura de los edificios enfrentados igual a la del edificio de referencia. (Elaboración propia; 2017).
Comparison of gains, demands and simultaneous maximum loads for all directions, with shadows, street width of 10 m and height of facing buildings equal to that of the reference building. (Own elaboration; 2017)

	GANANCIA/ GAINS SOLAR	GANANCIAS/ GAINS INTERNAS/INNER	DEMANDA/ DEMAND CALEFACCIÓN/HEATING	CARGA MÁX./ MAX. LOAD CALEFACCIÓN/ HEATING
	(kWh/m²·año/year)	(kWh/m²·año/year)	(kWh/m²·año/year)	(W)
CASO 02	30,2	43,0	23,3	11.961
CASO 04	37,1	43,0	20,6	11.864
CASO 05	30,2	43,0	23,2	11.932
CASO 06	35,6	43,0	21,3	11.893
CASO 07	32,9	43,0	21,8	11.895
CASO 08	33,8	43,0	21,9	11.927
CASO 09	29,6	43,0	22,8	11.997
CASO 10	34,6	43,0	21,1	11.813

los meses más calurosos hace innecesaria la calefacción. Las ganancias totales son mayores en los meses más fríos (enero y diciembre).

La Fig. 7 muestra las ganancias solares, las ganancias internas y la demanda de calefacción desglosadas por plantas (el local comercial y cada planta de pisos). Se aprecia que las ganancias totales del último piso son mayores que las del resto de plantas de pisos, debido a una mayor ganancia solar y a un ligero aumento de la demanda de calefacción.

Edificio con sombras en la calle MV, con orientaciones 30º NE y 210º NE

El diagrama de barras de la Fig. 8 muestra la comparación de las ganancias anuales totales del edificio de referencia de la calle MV (ganancias solares más ganancias internas y demanda de calefacción), distinguiendo el local comercial y los diferentes pisos. Partiendo del caso de referencia (CASO 01: sin sombras y 30º NE), se introduce primero el efecto de las sombras sin variar la orientación (CASO 02), se cambia luego la orientación a 210º NE sin considerar las sombras (CASO 03) y, por último, se estudia la orientación a 210º NE con sombras (CASO 04).

Building with shadows in MV Street, with orientations 30º NE and 210º NE

The bar diagram in Fig. 8 shows the comparison of the total annual gains of the reference building in MV Street (solar gains plus inner gains and heating demand), distinguishing the commercial premise and the different floors. Starting from the reference case (CASE 01: no shadows and 30º NE), the effect of the shadows is first introduced without changing the orientation (CASE 02), then the orientation is changed to 210º NE without considering the shadows (CASE 03) and, finally, the orientation to 210º NE with shadows is studied (CASE 04).

It is observed that: 1) changes are accused to a greater extent in the last plant; 2) for the building without shadows oriented to 210º NE (CASE 03), the solar gains are increased and the demand of heating is diminished, the most pronounced effect being in the last two plants; 3) when introducing the shadows, the differences by orientation decrease and are almost not perceived in the first two flats.

Table 2 presents the annual numerical results (demand and solar and inner gains) for build-

Tabla 4. Calle MV con sombras y orientación 30 º NE: aumento del ancho de la calle y aumento de la altura de los edificios enfrentados en una planta más. (Elaboración propia; 2017)
MV Street with shadows and orientation 30 º NE: increase of the street width and increase of the height of the facing buildings (an additional floor). (Own elaboration; 2017)

	CASO 02 (REFERENCIA)/ CASE 02 (REFERENCE)			CASO 11 (CALLE ANCHA)/ CASE 11 (WIDE STREET)			CASO 13 (EDIFICIOS ALTOS)/ CASE 13 (HIGH BUILDINGS)		
	GANANCIAS/ GAINS	DEMANDA/ DEMAND	CARGA MÁX./ MAX. LOAD	GANANCIAS/ GAINS	DEMANDA/ DEMAND	CARGA MÁX./ MAX. LOAD	GANANCIAS/ GAINS	DEMANDA/ DEMAND	CARGA MÁX./ MAX. LOAD
	(kWh/m²·año/year)		(W)	(kWh/m²·año/year)		(W)	(kWh/m²·año/year)		(W)
LC	53,7	22,0	2.072	53,7	22,0	2.072	53,7	22,0	2.072
P1	72,0	24,5	2.436	72,0	24,5	2.436	72,0	24,5	2.436
P2	74,1	22,1	2.443	74,1	22,1	2.443	73,3	22,2	2.443
P3	75,9	21,8	2.443	75,9	21,8	2.443	75,4	21,8	2.443
P4	84,4	25,6	2.567	84,4	25,6	2.567	83,4	25,7	2.567
TOTAL	73,2	23,3	11.961	73,2	23,3	11.961	72,7	23,3	11.961

Se observa que: 1) los cambios se acusan en mayor medida en la última planta; 2) en el edificio sin sombras orientado a 210º NE (CASO 03) se incrementan las ganancias solares y se disminuye la demanda de calefacción, siendo el efecto más acusado en las dos últimas plantas; 3) al introducir las sombras, las diferencias por orientación disminuyen y casi no se perciben en las dos primeras plantas de pisos.

En la Tabla 2 se presentan los resultados numéricos anuales (demanda y ganancias solar e interiores) para los edificios con sombras de la calle MV, al variar su orientación, distinguiendo el local comercial y las diferentes plantas de pisos. Dicha tabla muestra también los valores de las cargas máximas simultáneas para las dos direcciones. Se observa que al mejorar la orientación de 30º NE a 210º NE, las ganancias totales aumentan un 10% y la demanda disminuye casi un 12%, afectando las variaciones en mayor medida a los pisos 3º y 4º. Los cambios apenas afectan a la carga máxima simultánea del edificio.

Estudio de otras direcciones

La Tabla 3 muestra los resultados numéricos de las ganancias y pérdidas para todas las calles con posición del edificio en número par o impar. Aunque el edificio se encuentre en zonas de la ciudad compactas y sombreadas, las ganancias solares se pueden incrementar hasta un 13% al variar la orientación del edificio, resultando las menores ganancias solares para la calle CV con orientación 340º NE y las mayores para la calle MV con orientación 210º NE, es decir, para los CASOS 04 y 09, respectivamente. De forma consecuente, las demandas de calefacción pueden llegar a ser un 11% menores dependiendo de la orientación. No obstante, las cargas máximas simultáneas se diferencian en menos de 1.000 W.

Edificio en la calle MV con sombras: efecto del aumento del ancho de la calle y de la altura de los edificios enfrentados

La Tabla 4 muestra el efecto del aumento del ancho de la calle sobre las ganancias, la demanda y la carga simultánea máxima para el local comercial y

ings with shadows of MV Street, when varying their orientation, distinguishing the commercial premise and the different floors. This table also shows the values of the simultaneous maximum loads for the two directions. It can be seen that by improving the orientation from 30º NE to 210º NE, total gains increase by 10% and demand decreases by almost 12%, affecting the variations to a greater extent on floors P3 and P4. The changes hardly affect the maximum simultaneous load of the building.

Study of other orientations

Table 3 shows the numerical results of gains and losses for all streets with odd or even numbered building positions. Although the building is in compact and shaded areas of the city, solar gains can be increased up to 13% by varying the orientation of the building, the lowest solar gains resulting for CV Street with orientation 340º NE and the greater for the MV Street with orientation 210º NE, that is, for CASES 04 and 09, respectively. Consequently, heating demands can be 11% lower depending on the orientation. However, the simultaneous maximum loads differ by less than 1000 W.

Building in MV Street, with shadows: effect of the increase of the street width and the height of the facing buildings

Table 4 shows the effect of increasing the street width on the gains, demand and maximum simultaneous load for the commercial premise and the flat floors. With respect to the reference case used for comparison (CASE 02: MV Street, with shadows, 30 ºNE), it is first made that the height of the facing buildings is maintained equal to that of the reference building and the width of the street is increased (CASE 11); then the reference width is maintained at 10 m and the height of the facing buildings is increased in one floor (CASE 13). For the orientation of the street studied, it is observed that the increase of the width of the street up to 15 m has no effect on the solar gains, nor on the demands or

Tabla 5. Calle MV con sombras y orientación 210 º NE: aumento del ancho de la calle y aumento de la altura de los edificios enfrentados en una planta más. (Elaboración propia; 2017)
MV Street with shadows and orientation 210 º NE: increase of the street width and increase of the height of the facing buildings (an additional floor). (Own elaboration; 2017)

	CASO 04 (REFERENCIA)/ CASE 04 (REFERENCE)			CASO 12 (CALLE ANCHA)/ CASE 12 (WIDE STREET)			CASO 14 (EDIFICIOS ALTOS)/ CASE 14 (HIGH BUILDINGS)		
	GANANCIAS/ GAINS	DEMANDA/ DEMAND	CARGA MÁX./ MAX. LOAD	GANANCIAS/ GAINS	DEMANDA/ DEMAND	CARGA MÁX./ MAX. LOAD	GANANCIAS/ GAINS	DEMANDA/ DEMAND	CARGA MÁX./ MAX. LOAD
	(kWh/m²·año/year)		(W)	(kWh/m²·año/year)		(W)	(kWh/m²·año/year)		(W)
LC	56,7	21,6	2.062	62,8	21,0	2.062	55,1	21,7	2.062
P1	75,2	23,9	2.414	79,5	22,4	2.414	72,6	24,3	2.414
P2	78,9	20,7	2.422	83,5	18,6	2.422	75,6	21,7	2.422
P3	85,5	17,9	2.422	88,9	16,0	2.422	79,8	20,7	2.422
P4	97,0	19,4	2.545	97,5	19,0	2.545	91,7	22,8	2.545
TOTAL	80,1	20,6	11.864	83,7	19,3	11.864	76,2	22,3	11.864

las plantas de pisos. Respecto al caso de referencia usado para la comparación (CASO 02: calle MV, con sombras, 30º NE), se hace primero que la altura de los edificios enfrentados se mantenga igual a la del edificio de referencia y se aumenta el ancho de la calle (CASO 11); después, se mantiene el ancho de referencia en 10 m y se aumenta en una planta la altura de los edificios enfrentados (CASO 13). Para la orientación de la calle estudiada, se observa que el aumento del ancho de la calle hasta 15 m no tiene efecto sobre las ganancias solares, ni sobre las demandas o las cargas máximas simultáneas. Sin embargo, al aumentar la altura de los edificios enfrentados se aprecia una ligera disminución de las ganancias y un aumento de las demandas en las plantas segunda a cuarta.

Los resultados de la Tabla 5 se obtienen de forma similar a la descrita para la Tabla 4, pero para la dirección 210º NE (para la que el caso de referencia es el CASO 04: calle MV, con sombras, 210º NE). Los efectos de aumento del ancho de la calle (CASO 12) y de la altura de los edificios enfrentados (CASO 14) son mucho más significativos que para la dirección 30º NE. Las ganancias solares aumentan un 4,5 % y las demandas bajan un 6,3% al aumentar el ancho de la calle. Sin embargo, al aumentar la altura de los edificios enfrentados las ganancias solares disminuyen un 4,8% y las demandas aumentan un 13,1%. Las potencias máximas no se ven afectadas por el cambio del ancho de la calle, ni por el aumento de la altura de los edificios enfrentados.

Conclusiones

Se han definido los aislamientos necesarios y la calidad de los huecos transparentes que posibilitan el cumplimiento del CTE 2013 y el DB H1, para abordar la rehabilitación de un edificio en el casco antiguo de una ciudad costera en el norte de España. El aislamiento de los muros exteriores se realiza por el interior, sin pérdida significativa de espacio, y la intervención se centra más en el aumento de los aislamientos de cubierta, solera y forjado, lo que no representa gran problema, puesto que la altura libre de estos edificios es mayor que la de los actuales.

the maximum simultaneous loads. However, increasing the height of the facing buildings implies a slight decrease of the gains and an increase of the demands in the second to fourth flat floors.

Results of Table 5 are obtained in a similar way to that described for Table 4, but for the 210° NE direction (for which the case reference is CASE 04: MV Street, with shadows, 210 ° NE). The effects of increasing the street width (CASE 12) and the height of the facing buildings (CASE 14) are much more significant than for the direction 30º NE. Solar gains are up 4.5% and demand falls 6.3% as the street width increases. However, by increasing the height of the facing buildings solar gains decrease by 4.8% and demands increase by 13.1%. Maximum loads are not affected by widening the street, nor by increasing the height of the facing buildings.

Conclusions

The necessary insulation of the walls and the quality of the windows that allow compliance with the CTE 2013 and DB H1 codes have been defined to address the rehabilitation of a building in the old town of a coastal city in the north of Spain. The insulation of the outer walls is done by their inner side, without significant loss of space, and the intervention is more focused on the increase of the insulation of roof and slabs, which is not a big problem, since the free height of the flats of this type of buildings is larger than that of modern ones.

The effect of the orientation of the buildings has been studied for several streets, which represent practically all the casuistry in the old part of the city. Among the studied streets, the most influenced by the orientation of the buildings is MV Street, with buildings at 30º NE and 210º NE. Buildings in the 210° NE orientation increase total gains by 10% and their heating demand decreases by almost 12%, compared to buildings in the shaded direction.

Se ha estudiado el efecto de la orientación de los edificios en varias calles, las cuales representan prácticamente toda la casuística en el casco antiguo de la ciudad. De las calles estudiadas, la más influida por la orientación de los edificios es la calle MV, con edificios a 30º NE y 210º NE. Los edificios en la orientación 210º NE aumentan las ganancias totales un 10% y su demanda de calefacción disminuye casi un 12%, con respecto a los edificios en la dirección más sombreada.

Considerando todas las direcciones estudiadas, las ganancias solares llegan a incrementarse un 13% y las demandas disminuyen hasta un 11%, comparando la mejor dirección con respecto a la peor.

Los efectos de ancho de la calle y de altura de los edificios enfrentados se han analizado para la calle MV, que es la más sensible a la orientación de los edificios. Para la peor orientación, la más sombría, no hay prácticamente variación al aumentar el ancho de la calle, ni la altura de los edificios enfrentados. Sin embargo para la orientación más favorable, el aumento del ancho de la calle hace que la demanda disminuya un 6,3%, mientras que el incremento de la altura de los edificios enfrentados origina un aumento de la demanda de un 13,1%.

Considering all the directions studied, the solar gains increase by 13% and the demand decreases by 11%, when comparing the best direction with respect to the worst.

The effects of the street width and the height of the facing buildings have been analysed for MV Street, which is the most sensitive to the orientation of buildings. For the worst orientation, that most sombre, there is practically no variation as the width of the street increases or the facing buildings are higher. However, for the most favourable orientation, the increase of the street width causes demand to decrease by 6.3%, while the increase in the height of the facing buildings causes an increase in demand of 13.1%.

BIBLIOGRAFÍA

1 Grupo de Trabajo Construcción Sostenible de Fundación Entorno Empresa y Desarrollo Sostenible; "Por Activa y por Pasiva – Impulsar la Edificación de Alto rendimiento Energético"; 2009.

2 Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo; "Eficiencia Energética de los Edificios (Refundición)". Mayo 2010.

3 Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética. Octubre 2012.

4 Programa de I+D+i HORIZON 2020 de la UE; Reto: Energía; Tema: Eficiencia Energética; Área: A) Edificios y Consumidores; "Programa: EE2 - Diseño de nuevos edificios de alto rendimiento energético. 2014-2015".

5 Ministerio de Industria, Energía y Turismo; "La energía en España, 2014"; España; 2014; http://www.minetad.gob.es

6 Ministerio de Fomento (Gobierno de España); "Código Técnico de la Edificación (CTE 2013)"; España; 2013; www.codigotecnico.org

7 Eurostat; "Housing statistics"; http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Housing_statistics

8 E. Krüger, D. Pearlmutter, F. Rasia; "Evaluating the Impact of Canyon Geometry and Orientation on Cooling Loads in a High-mass Building in a Hot dry Environment"; Applied Energy 87; 2010; pp 2068-2078.

9. C. Hachem, a. Athienitis, P. Fazio; ""Evaluation of Energy Supply and Demand in Solar Neighborhood"; Energy and Buildings 49; 2012; pp 335-347.

10. A. Ordoñez, J. Carreras, I. Korolija, Y. Zhang, A. Coronas; "Impact of Building geometry on its Energy Performance Depending on Climate Zones"; Proceedings of the BSO14: Second Building Simulation and Optimization Conference; London, UK; 23-24 June 2014.

11 CYPE Ingenieros; "CypeCad Mep; versión 2017 h"; España; 2017; http://instalaciones.cype.es/

12 J.D. Spitler, D.E. Fisher, C.O. Pedersen; "The radiant time series cooling load calculation procedure"; ASHRAE Transactions 103; 1997; pp 503-515.

13 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer Inc. (ASHRAE); "ASHRAE handbook-fundamentals"; Atlanta (USA); 2009; pp 18.1-18.62.

14 Chen Huang, Tianyu Bai, Jiao Cai, Liugen Lv, Jianchang Chen, Li; "Experimental Study on the Radiant Cooling Load of Floor Based on the Radiant Time Series Method"; Procedia Engineering 121; 2015; pp 45-51.

BIBLIOGRAPHY

1 Grupo de Trabajo Construcción Sostenible de Fundación Entorno Empresa y Desarrollo Sostenible; "Por Activa y por Pasiva – Impulsar la Edificación de Alto rendimiento Energético"; 2009.

2 Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council; "Energy Performance of Buildings (Recast)". May 2010.

3 Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council, on energy efficiency. October 2012.

4 EU Programme HORIZON 2020 on Research & Innovation; Challenge: Energy; Topic: Energy Efficiency; Area: A) Buildings and Consumers; "EE2 Programme - Buildings design for new highly energy performing buildings. 2014-2015".

5 Ministerio de Industria, Energía y Turismo; "La energía en España, 2014"; Spain; 2014; http://www.minetad.gob.es

6 Ministerio de Fomento (Gobierno de España); "Código Técnico de la Edificación (CTE 2013)"; Spain; 2013; www.codigotecnico.org

7 Eurostat; "Housing statistics"; http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Housing_statistics

8 E. Krüger, D. Pearlmutter, F. Rasia; "Evaluating the Impact of Canyon Geometry and Orientation on Cooling Loads in a High-mass Building in a Hot dry Environment"; Applied Energy 87; 2010; pp 2068-2078.

9. C. Hachem, a. Athienitis, P. Fazio; ""Evaluation of Energy Supply and Demand in Solar Neighborhood"; Energy and Buildings 49; 2012; pp 335-347.

10. A. Ordoñez, J. Carreras, I. Korolija, Y. Zhang, A. Coronas; "Impact of Building geometry on its Energy Performance Depending on Climate Zones"; Proceedings of the BSO14: Second Building Simulation and Optimization Conference; London, UK; 23-24 June 2014.

11 CYPE Ingenieros; "CypeCad Mep; versión 2017 h"; España; 2017; http://instalaciones.cype.es/

12 J.D. Spitler, D.E. Fisher, C.O. Pedersen; "The radiant time series cooling load calculation procedure"; ASHRAE Transactions 103; 1997; pp 503-515.

13 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer Inc. (ASHRAE); "ASHRAE handbook-fundamentals"; Atlanta (USA); 2009; pp 18.1-18.62.

14 Chen Huang, Tianyu Bai, Jiao Cai, Liugen Lv, Jianchang Chen, Li; "Experimental Study on the Radiant Cooling Load of Floor Based on the Radiant Time Series Method"; Procedia Engineering 121; 2015; pp 45-51.

Paneles de lana mineral de vidrio para la fabricación de conductos de climatización in-situ. Su aportación a la sostenibilidad en los edificios

Mineral wool panels for construction of HVAC ducts in-situ. Its contribution to sustainability in buildings

Silvia Herranz García[1], Justo García Navarro[2]

ABSTRACT

En materia de construcción, los materiales y las nuevas tecnologías empiezan a tener una conexión evidente y, cualquier estudio que haga que esa conexión sea factible es un paso hacia delante para su implementación en el día a día. El análisis de ciclo de vida de un edificio es uno de los puntos que contempla la Sexta Dimensión (6D) en la metodología BIM: Sostenibilidad. Por ello, toda la información que se tenga de los materiales intervinientes en la construcción de un edificio hace que la evaluación ambiental del mismo sea más precisa y veraz.

Dentro de las soluciones habituales en los sistemas constructivos los paneles de lana mineral de vidrio son un clásico ampliamente utilizado a lo largo y ancho del mundo. La información del ciclo de vida de estos paneles es conocida. Sin embargo, en los paneles de lana mineral de vidrio empleados para la construcción de conductos de climatización in-situ no ocurre lo mismo; la información de su comportamiento medioambiental es escasa. Existen grandes diferencias en el proceso de fabricación de unos y otros, así como en sus prestaciones y características técnicas, debido simplemente a que son conformes a distintas normas UNE.

Los paneles de lana mineral de vidrio para la construcción de conductos han sufrido una evolución muy significativa desde su aparición en EEUU, allá por los años treinta, hasta nuestros días. Es el mercado español, después del americano, el que más fabrica y comercializa estos paneles.

Los conductos realizados con paneles de lana mineral de vidrio son una alternativa excelente a los conductos realizados en chapa metálica, que deben ser aislados bien por el exterior o bien por el interior, para cumplir la normativa en materia de eficiencia energética. Sin embargo, los conductos fabricados in-situ con paneles de lana mineral de vidrio tienen una excelente resistencia térmica por lo que no es necesario aislarlos para conseguir disminuir al máximo las pérdidas energéticas a lo largo de la red.

Este estudio se centrará en la contribución de estos materiales en la evaluación ambiental de los edificios, pasando por el proceso de fabricación, el transporte hasta la obra y la instalación en el edificio, estudiando diferentes escenarios posibles de estos dos últimos puntos. Se evaluará también el confort aportado al propio edificio con su utilización.

Para realizar el análisis se tomará un muestrario de dos paneles de diferente espesor, caracterizado por sus propiedades técnicas. Se aplicarán varias hipótesis posibles teniendo en cuenta el transporte marítimo y terrestre en función de las ciudades más representativas.

Key Words: Lana mineral de vidrio, Conductos, Análisis de ciclo de vida, Climatización, Declaración Ambiental de Producto. Mineral wool, Ducts, Life cycle Assessment, HVAC, Environmental Product Declaration**.**

(1) Master en Innovación Tecnológica en Edificación. Departamento técnico de URSA Ibérica Aislantes S.A. Madrid. Spain. silvia.herranz@ursa.com. Tel.: 634 209 653. (2) Doctor Arquitecto. Grupo de Investigación Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria giSCI-UPM. Universidad Politécnica de Madrid, ETSIAAB. Av. Puerta de Hierro, 2-4. 28040 Madrid. Spain

1. Introducción

El sector de la construcción aspira cada vez más a desarrollar proyectos competitivos, tanto a nivel de diseño como de eficiencia energética y control de costes, que les haga diferenciarse del resto. Este objetivo obliga a estudiar el edificio con un gran nivel de detalle. Para ello es imprescindible partir de la mayor información posible y disponer, además, de las herramientas necesarias para hacerlo de una forma precisa y veraz. BIM es esa herramienta que puede concentrar toda la información y que permite gestionarla, para obtener el mayor rendimiento posible.

Una parte importantísima dentro de la metodología BIM, es la librería de objetos, de los cuales se extrae la información. Estos objetos pueden ser sistemas constructivos o materiales, pero en ambos casos la información contenida en ellos es un requerimiento para que esta metodología alcance diferentes dimensiones, ya sea a través de su geometría, características técnicas, precios, mediciones o de su comportamiento medio ambiental. El análisis de ciclo de vida de un material da la información de los impactos medioambientales según los diferentes módulos de las etapas durante su ciclo de vida.

Uno de los materiales que se utiliza a día de hoy en numerosos proyectos de edificación son los paneles de lana mineral de vidrio para la construcción de conductos in situ que, conforme a la UNE EN 14.303, es un material idóneo para fabricar las redes de conductos para distribución de aire de climatización en los edificios. Disponer de la máxima información técnica, conforme a las normas, proporcionada por el fabricante, nos permitirá analizar y obtener conclusiones determinantes, en las diferentes dimensiones del proyecto.

El análisis del ciclo de vida de estos paneles, sirve para nutrir la herramienta de información medioambiental en esta metodología, y conseguir una evaluación medioambiental de edificios más precisa.

El objetivo de este estudio es mostrar información medioambiental utilizando el análisis de ciclo de vida y analizando diferentes escenarios que contemplan diferentes hipótesis de transporte y de mermas en la instalación en obra, partiendo de un muestreo de dos paneles de lana mineral de vidrio de diferente espesor, 25 y 40 mm.

2. Materiales y metodología

El estudio se centrara en las etapas del proceso de construcción, formada por el transporte del panel a obra y la instalación en el edificio, que corresponden a los módulos A4 y A5, respectivamente, durante las etapas del ciclo de vida del panel. En la siguiente tabla se pueden observar las diferentes etapas. (Tabla 1).

1. Introduction

The construction sector is increasingly striving to develop competitive projects, both in terms of design and energy efficiency and cost control, to differentiate them from the rest. This aim carry throught a building with a high level of details. For that reason, it is so important to begin with, all information and use tools make a verified and measurable project. BIM is that tool that can concentrate all the information and that allows to manage it, to obtain the greater yield possible.

A very important part within the BIM methodology is the object library, from which the information can be used. These objects can be systems or materials, but in both cases, the information contained in them is a requirement for this methodology to reach different levels, through its geometry, performances, prices, measurements or its environmental behavior. The life cycle analysis of a material gives the information of the environmental impacts according to the different modules of the stages during their life cycle.

One of the materials used today in a lot of building projects are mineral wool panels for the HVAC ducts in situ, which, according to UNE EN 14.303, is an ideal material to manufacture ducts systems for distribution of air conditioning in buildings. Having the maximum technical information, according to the regulations, provided by the manufacturer, will allow us to analyze and obtain determinant conclusions, in the different levels of the project.

The analysis of the life cycle of these panels can give environmental information to the tool in this methodology. And also obtain a precise environmental evaluation of buildings.

The objective of this study is to show environmental information using the life cycle assessment and analyzing different scenarios of transportation hypotheses and depletion in the installation on site, starting from a sampling of two panels of mineral wool of different thickness, 25 and 40 mm.

2. Materials and methodology

The study will focus on the stages of the construction process, consisting of the transport from panel to building and its installation, corresponding to modules A4 and A5, respectively, during the stages of the panel's life cycle. The following table shows the different steps. (Table 1).

In the Module A4, consider an average distance of 460 mm and 15% of waste products created

Tabla 1. Aplicación de datos genéricos y específicos UNE EN 15804. Application of generic and specific data. UNE EN 15804

Módulos (Modules)	A1-A3		A4 y A5	B1-B7	C1-C4
	Producción de productos básicos, materias primas (Production of commodities, raw materials)	Fabricación del producto (Product Manufacture)	Proceso de construcción/ instalación (Installation processes)	Procesos de uso (Use processes)	Procesos de fin de vida (End-of-life processes)
Tipo de proceso (Process type)	Procesos aguas arriba (Upstream processes)	Procesos sobre los que el fabricante tiene influencia (Processes the manufacturer has influence over)	Procesos aguas abajo (Downstream processes)		
Tipo de datos (Data type)	Datos genéricos (Generic data)	Datos medios o específicos del fabricante. (Manufacturer´s average or specific data)	Datos genéricos (Generic data)		

Tabla 2. Transporte a la obra. Transport to the building site

Según Norma UNE EN 15804 (According to UNE EN 15804)		Valores Adoptados de Panel de 25 mm. (Values of panel of 25 mm)	Valores Adoptados de Panel de 40 mm. (Values of panel of 40 mm)
Parámetro (Parameter)	Unidad / Parameter unit		
Tipo y consumo de combustible del vehículo, tipo de vehículos utilizados para el transporte; por ejemplo camiones de larga distancia, barco, etc. (Fuel type and consumption of vehicle or vehicle type used for trasnport e.g. long distance truck, boat, etc.)	Litro de tipo de combustible, por tipo de vehículo o por distancia, Directiva 2007/37/CE (norma europea sobre emisiones). Litre of fuel type per distance or vehicle type, Comission Directive 2007/37/EC (European Emission Standard)	Camión con una carga útil de 24 t; consumo de diésel de 38 litros/100km. (Lorry with useful load of 24 t diesel consumption of 38 litres per 100 km)	
Distancia / Distance	km	460 km	460 km
Utilización de la capacidad, incluyendo el retorno en vacío. (Capacity utilisation, including empty returns)	%	100% de la capacidad en volumen. (100% volumen capacity) 30% de retornos sin carga. (30% of empty returns)	
Densidad aparente de los productos transportados (Bulk density of trasnsported products)	Kg/m^3	151,20 m^2 por palet y 8 palets por camión. (151,20 m^2 par pallet et 8 pallets per lorry) Densidad del producto (Density of product) = 1875/ 25 = 75 kg/m^3	140,4 m^2 por palet y 8 palets por camión (140,4 m^2 par pallet et 8 pallets per lorry) Densidad del producto (Density of product) = 2600 / 40 = 65 kg/m^3
Factor de capacidad útil (factor = 1 o ‹1 o ≥ 1 para los productos que se empaquetan comprimidos o anidados). Volume capacity utilisation factor (factor. = 1 o ‹1 o ≥ 1 for compressed or nested packaged products)	No aplicable. (Not applicable)	›1 (productos comprimidos en los embalajes). (products compressed in the packaging)	

Para el Módulo A4 se tomara una distancia media que se estima 460 mm y para el módulo A5, el valor de mermas será de 15 % de mermas, tomado como valor medio, según el método de construcción de conducto in situ que se utilice, ya sea el de "tramo recto" o el de "tapas y tabicas". En ambos casos los valores se determinan para abarcar todos los escenarios posibles y compensar los desfavorables con los favorables. Los datos tomados son los siguientes: (ver tablas 2/3).

La metodología constara de una valoración de la información ambiental cuantificada sobre el ciclo de vida de estos paneles en los módulos A4 y A5, y una comparativa de la capacidad de un camión en

during installation in the building, like an average value, according to in situ construction methods.In both cases, the values are determined to cover all the possible scenarios and compensate the unfavorable with the favorable ones. The data taken are: (see tables 2/3).

The methodology provides a quantified environmental information about the life cycle of these panels in modules A4 and A5, and a comparison of the capacity of a lorry to transport different materials for the manufacture of the same ducts. According to the following hypotheses:

Tabla 3. Instalación del producto en el edificio. Installation of the product in the building

Según la Norma UNE EN 15804 (According to UNE EN 15804)		Valores Adoptados de Panel de 25 mm. (Values of panel of 25 mm)	Valores Adoptados de Panel de 40 mm. (Values of panel of 40 mm)
Parámetro (Parameter)	Unidad (Parameter unit)		
Materiales auxiliares para la instalación (especificando cada material) (Ancillary materials for installation, specified by material)	kg u otras unidades apropiadas	Sin productos auxiliares. (No ancillary inputs)	
Uso de agua (Water use)	m^3	No se utiliza agua. (No water used)	
Uso de otros recursos / Other resource use	kg	No se utilizan otros recursos. (No energy required)	
Descripción cuantitativa del tipo de energía (mix regonial) y el consumo durante el proceso de instalación. (Quantitative description of Energy type, regional mix, and consumptio during the installation process)	kWh o MJ	No se necesita energía. (No energy required)	
Desperdicio de materiales en la obra antes de tratamiento de residuos, generados por la instalación del producto (especificado por tipo). Wastage of material son the building site before waste processing, generated by the product´s installation, specified by type	%	15 % de lana mineral (of mineral wool)	15 % de lana mineral (of mineral wool)
Salida de materiales (especificados por tipo) como resultado del tratamiento de residuos en la parcela del edificio, por ejemplo recogida para el reciclaje, valorización energética, eliminación (especifica por ruta). (Output materials, specified by type, as result of waste processing at the building site e.g. of colletion for recycling, for Energy recovery, disposial, specified by route)	kg	Todos los residuos de lana mineral, sus embalajes y los derivados de producción para la instalación se consideran como eliminados en vertedero. (All glass wool waste, its packaging and waste deriving from excess production for installation are considered as disposed of in landfill)	
		834 gr/UF	1258 gr/UF
Emisiones directas al aire ambiente, al suelo y al agua. (Direct emissions to ambient air, soil and water)	kg	No se prevén emisiones (No emissions to be considered)	

transportar diferentes materiales para la fabricación del mismo conducto. Según las siguientes hipótesis:

3. Hipótesis de transporte

Estudio de transporte con un camión estándar

Camión con una carga útil de 24 t; consumo de diésel de 38 litros/100km. Cuyas dimensiones son 13,95 x 2,55 x 2,40 m.

A. Con conductos de chapa metálica y manta de lana mineral de vidrio.
Los conductos de chapa metálica para conductos de climatización, se realizan en taller y se transportan a obra en camión. El Reglamento Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), exige que estos conductos tienen que ir aislados térmicamente, por lo que se emplean mantas de lana mineral para su cumplimiento.

B. Con paneles de lana mineral de vidrio.
Los paneles de lana mineral para la construcción de conductos de climatización in situ, se transportan a la obra apilados unos encima de otros y siendo cortados y montados en obra. Siendo las dimensiones de un panel 25 mm x 1,20 m x 3 m. necesitando solamente grapas y cinta de aluminio para su realización.

Si se fabrica un conducto de 35 x 35 mm y 1,20 m, se debe hacer las marcas a 33 cm. (35-2), 39cm. (35+4), 39 cm. (35+4) y a 39 cm. (35+4), con una longitud de 1,50 m, por lo que si un panel tiene de largo 3 m, este nos servira para hacer 2 conductos de las dimensiones previstas.

3. Transport hypothesis

Transport case with standart lorry

Lorry with useful load of 24 t diesel consumption of 38 litres per 100 km. Dimensions are 13.95 x 2.55 x 2.40 m.

A.with metal ducts and mineral wool blancket with metal ducts and mineral wool blanket.
The metal HVAC ducts are made in a plant and are transported to construction size by truck. The Regulations on Thermal Installations in Buildings (RITE) requires that these ducts have to be thermal insulated, so that mineral wool blankets are used for compliance.

B. Mineral wool panels for HVAC ductwork.
Mineral wool panels for HVAC ducts in situ, are transported to the construction size stacked on top of one another and being cut and assembled on site. The dimensions of a panel are 25 mm x 1.20 m x 3 m. Using only staples and aluminum tape for its manufacture.

If a 35 x 35 mm and 1.20 m duct is made, the marks should be made at 33 cm. (35-2), 39cm. (35 + 4), 39 cm. (35 + 4) and at 39 cm. (35 + 4), with a length of 1.50 m, so if a panel has a length of 3 m, this will serve to make 2 ducts of the dimensions provided.

C.Transport Comparative of mineral wool panels of HVAC ducts and metal ducts.

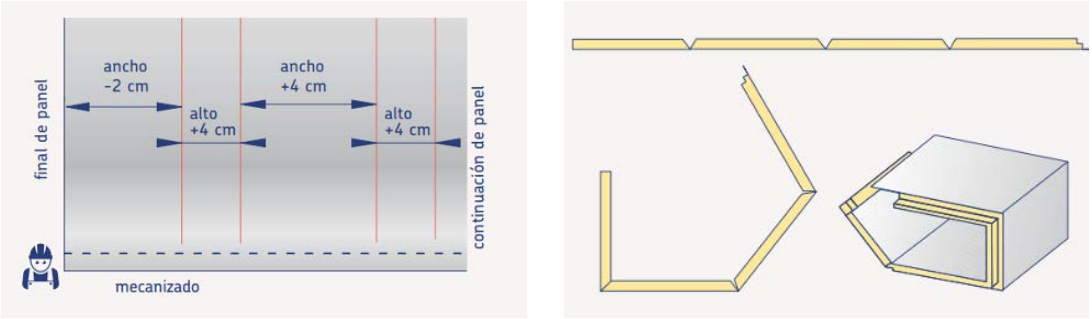


Fig. 1. Esquema de corte de un panel de lana mineral y construcción de conducto.
Cutting scheme of a mineral wool panel and constructing duct.

Tabla 4. Datos logísticos. Logistic datas

Producto / product	Panel de lana mineral 25 mm / MW panel 25 mm.	Panel de lana mineral de 40 mm / MW panel 40 mm.	Conducto de chapa /metal duct	Manta de lana mineral de 50 mm / MW blancket 50 mm
Ud/paquete (pack size)	6	29		1
m^2/paquete (pack size)	21,6	104,4		19,8
m^3/conducto (duct)			0,84	
Paquete/palet (Pack per pallet)	7	1		18
m^2/palet (pallet)	151,2	104,4		356,4
palet/camión (pallet per lorry)	16	16		18
ud/palet (pallet)	42	29		18
ud/camión (lorry)	672	464		324
m^3 panel ó manta /panel or blanket	0,09	0,14		0,99
nº de conductos (number of ducts)	1344	928	115,5	648
m^3/camión (lorry)	121,0	133,6	97	320,8
m^3 camión (lorry)	97	97	97	97
m^3 compresibilidad / compressibility	24,0	36,6		223,8
Disponibilidad de camión teniendo en cuenta la manta (capacity of lorry without blanket)			77,2	
nº de conductos con manta (number of ducts with blancket)			91,9	

Nota: un paquete de manta sirve para aislar 11 conductos. One pack of blanket is used to insulated eleven metal ducts.

C. Comparativa de transporte de los paneles de lana mineral con los conductos de chapa metálica. Se determina que en un camión estandar se tiene que transportar conductos de 35 cm. x 35 cm. x 1,20 m, y se compara el material necesario para construirlos con paneles de lana mineral de 25 mm, de 40 mm y con chapa metalica que incluira la manta de lana mineral para cumplir con la normativa.

En la tabla 4 se puede valorar como el número de posibles conductos es mayor en el caso de los paneles de lana mineral, siendo el de 25 mm, debido a sus dimensiones y paletizado.

Estudio de transporte en barco de paneles de 25 mm para diferentes ciudades

Para las ciudades de Palma de Mallorca y Santa Cruz de Tenerife los datos obtenidos para el módulo A4, respecto a un panel de 25 mm son los siguientes: (ver tabla 5)

It is determined that in a standard lorry has to transport ducts of 35 cm. X 35 cm. X 1.20 m, and the material needed to made them with panels of mineral wool of 25 mm, of 40 mm and with metal ducts that includes the mineral wool blanket to fulfill with the regulations.

In the previous graph (table 4) can be evaluated as the number of possible ducts is greater in the case of the panels of mineral wool, being the one of 25 mm, due to its dimensions and palletizing.

Sea freight case of mineral wool panels of 25 mm. in some diferent cities

The values obtained with respect to a panel of 25 mm for the module A4 in the cases of the cities of Palma de Mallorca and Santa Cruz de Tenerife, are: (see table 5)

Tabla 5. Indicadores de Análisis del ciclo de vida de dos ciudades / Life cycle assessment indicators of two cities

		Palma de Mallorca			Santa Cruz de Tenerife		
Km desde el puerto Barcelona. Km since Barcelona Port		218			2505		
		Transporte			Transporte		
		Marítimo Sea Freight	**Terrestre** Ground Transportation	**%***	**Marítimo** Sea Freight	**Terrestre** Ground Transportation	**%***
Potencial de Calentamiento Global Global warming	Kg CO_2 equiv.	6,10E-03	3,95E-01	2	7,01E-02	3,95E-01	15
Potencial de Agotamiento de Ozono Estratosférico Depletion of the ozone layer	Kg CFC_{11} equiv	1,01E-11	2,86E-07	0	1,16E-10	2,86E-07	0
Potencial de Acidificación de suelo y agua Acidification of soils and water	Kg SO_2 equiv.	2,02E-04	1,81E-03	10	2,32E-03	1,81E-03	56
Potencial de Eutrofización. Eutrophication	Kg	1,92E-05	4,25E-04	4	2,20E-04	4,25E-04	34
Potencial de Formación de Ozono Fotoquímico Formation of photochemical ozone	Kg etano equiv.	9,90E-06	2,83E-04	3	1,14E-04	2,83E-04	29
Potencial de Agotamiento de Recursos Abióticos – elementos Depletion of abiotic resources (elements)	Kg Sb equiv.	2,16E-10	3,70E-10	37	2,48E-09	3,70E-10	87
Potencial de Agotamiento de Recursos Abióticos - combustibles fósiles Depletion of abiotic resources	Kg Sb equiv.	7,58E-02	5,06E+00	1	8,71E-01	5,06E+00	15
Contaminación del aire. Air pollution	m^3/UF	na	2,54E+01		na	2,54E+01	
Contaminación del agua. Water pollution	m^3/UF	na	1,12E-01		na	1,12E-01	
Uso de la energía primaria renovable, excluyendo los recursos de energía primaria renovable utilizada como materia prima Use of primary renewable energy, with the exclusion of primary renewable energies used as raw materials	MJ	0,00E+00	2,47E-03		0,00E+00	2,47E-03	
Uso de los recursos renovables de energía primaria utilizada como materia prima Use of renewable primary energy resources as raw materials	MJ	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	
Uso total de los recursos renovables de energía primaria Total use of renewable primary energy resources (primary energy and primary energy sources used as raw materials	MJ	9,65E-05	2,47E-03	4	1,11E-03	2,47E-03	31
Uso de energía primaria no renovable, excluyendo los recursos energéticos primarios no renovables utilizados como materias primas Use of non-renewable primary energy, with the exclusion of non-renewable primary energy resources used as raw materials	MJ	0,00E+00	5,09E+00		0,00E+00	5,09E+00	
Uso de fuentes de energía primaria no renovables utilizados como materias primas Use of non-renewable primary energy resources as raw materials	MJ	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	
Uso total de los recursos de energía primaria no renovable Total use of renewable primary energy resources (primary energy and primary energy sources used as raw materials	MJ	7,62E-02	5,09E+00	1	8,76E-01	5,09E+00	15
Uso de materiales secundarios Use of secondary materials	MJ	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	
Uso de combustibles secundarios renovables Use of renewable secondary fuels	MJ	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	
Uso de combustibles secundarios no renovables Use of non-renewable secondary fuels	MJ	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	
Uso neto de agua dulce. Net use of fresh water	m3	5,35E-07	4,83E-04		6,15E-06	4,83E-04	1
Residuos peligrosos eliminados Hazardous wastes eliminated	Kg	0,00E+00	1,54E-04		0,00E+00	1,54E-04	
Residuos no peligrosos eliminados. Non-hazardous wastes eliminated	Kg	1,82E-04	4,18E-04	30	2,09E-03	4,18E-04	83
Residuos Radioactivos eliminados. Radioactive wastes eliminated	Kg	0,00E+00	8,13E-05		0,00E+00	8,13E-05	
Componentes para su reutilización. Components destined for reuse	Kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	
Materiales para el reciclado Materials destined for recycling	Kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	
Materiales para la recuperación de energía Materials destined for energy recovery	MJ	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	
La energía eléctrica suministrada fuera Electricity power supplied to the exterior	MJ	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	
Energía del vapor suministrado de fuera Steam power supplied to the exterior	MJ	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	
Energía del gas del proceso suministrada fuera Gas power supplied to the exterior	MJ	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	

* Repercusión del Transporte marítimo sobre el total

Confort

El confort es un parámetro difícil de medir, pero cuando hablamos de él, nos referimos a seguridad, que no existan molestias, sin cambios de temperatura.

En el caso de los paneles de lana mineral para la construcción de conductos de climatización in situ, sus características hacen que confieran este parámetro a las redes de climatización. Dado que aportan a la red una mínima propagación del sonido a través del conducto, debido a su excelente absorción acústica, que en el caso del panel con espesor de 40 mm es de 0,90.

Otro punto que ayuda a conseguir confort es que la lana mineral en si no es soporte para la proliferación de hongos o bacterias, y al añadirle el revestimiento interior que consta de un tratamiento antimicrobiano que inhibe el crecimiento de las colonias bacterias, y este revestimiento además de que puede ser limpiado, reduce al mínimo la suciedad acumulado en el interior del conducto, por lo que se consigue una excelente calidad del aire interior de los lugares donde se coloques estos conductos.

Además las exigencias de comportamiento frente al fuego y las mínimas pérdidas energéticas según exige la normativa, hacen que proporcionen condiciones óptimas de confort donde se instalen.

Conclusiones

Según las hipótesis estudiadas, se observa las siguientes conclusiones:

En un camión estándar, puede transportar:
• 672 paneles de 25 mm que se transformarían en 1344 conductos de 0,35 x 0,35 x 1,20 m
• 464 paneles de 40 mm que se transformarían en 928 conductos de 0,35 x 0,35 x 1,20 m
• 91 conductos de chapa metálica de 0,35 x 0,35 x 1,20 m y su correspondiente manta de lana mineral.

Por lo que se necesitaría 14 camiones de conductos de chapa metálica para llegar a la cantidad de paneles de lana mineral.

Se necesita personal cualificado en obra para la construcción de los conductos de lana mineral, mientras que los conductos de chapa ya vienen con las medidas específicas desde el taller.

En el transporte, de los paneles de lana mineral para la construcción de conductos de climatización, a las islas Canarias y Baleares, el peso del marítimo es más representativo en indicadores como Residuos no peligrosos eliminados, Potencial de Agotamiento de Recursos Abióticos – elementos.

En el peso del transporte referente al Potencial de Calentamiento Global, es de 2% para Baleares y un 15% para Canarias.

Comfort

Comfort is a parameter difficult to measure, but when we talk about it, meaning safety, that there are no annoyances, no changes in temperature.

In the case of mineral wool panels for the construction of in-situ of HVAC ducts, their performances make this parameter to the air-conditioning systems. Since they contribute to the installation a minimum propagation of the noise through the ducts, due to its excellent acoustic absorption, that in the case of the panel with thickness of 40 mm is of 0,90. Another point, which helps to achieve comfort, is that the mineral wool is not support for the proliferation of fungi or bacteria. In addition, when adding the inner lining that consists of an antimicrobial treatment that inhibits the growth of the colonies bacteria. This facing can be cleaned, minimizes the dirt accumulated inside the duct, so that an excellent air quality of the interior of the ducts and where these are placed.

In addition, the regulations of fire behavior and a few energetic losses as required, make them provide optimum conditions of comfort where they are installed.

Conclusions

According to the hypotheses studied, the following conclusions are:

In a standard lorry, can carried:
• 672 panels of 25 mm that will be transformed into 1344 ducts of 0.35 x 0.35 x 1.20 m
• 464 panels of 40 mm that will be transformed into 928 ducts of 0.35 x 0.35 x 1.20 m
• 91 metal ducts of 0,35 x 0,35 x 1,20 m and its corresponding mineral wool blanket.

Therefore, it is required 14 lorry of metal ducts to become the amount of panels of mineral wool.

Qualified personnel are required on site for the construction of mineral wool ducts, while metal ducts already come with specific measures from the plant.

In transport, from the mineral wool panels for the HVAC ducts, to the Canary Islands and the Balearic Islands, the weight of the sea freight is more representative in indicators like Non-hazardous wastes eliminated and Depletion of abiotic resources (elements).

In the weight of sea freight related to the Global Warming, it is 2% for the Balearic Islands and 15% for the Canary Islands.

BIBLIOGRAFÍA

1 AENOR. UNE-EN 14.303:2010+A1 Productos aislantes térmicos para equipos en edificación e instalaciones industriales. Productos manufacturados de lana mineral (MW). Especificación. Madrid; 2013.

2 AENOR. UNE-EN 15804:2012+A1 - Sostenibilidad en la Construcción - Declaraciones Ambientales de Producto - Reglas de Categoría de productos básicas para productos de construcción. Madrid; 2014.

3 URSA. FICHE DE DECLARATION ENVIRONNEMENTALE ET SANITAIRE DU PRODUIT [Internet]. 2016. Available from: www.ursa.es

4 AENOR. UNE-ISO 21930. Sostenibilidad en la construcción de edificios. Declaración ambiental de productos de construcción. Madrid; 2010.

5 AENOR. UNE ISO 14025: Etiquetas y declaraciones ambientales, declaraciones ambientales tipo III, principios y procedimientos. Madrid; 2010.

Soluciones prefabricadas y Herramientas digitales y de automatización para la optimización del proceso integral de rehabilitación energética

Prefabricated Solutions and Automated and Digital Tools for the optimisation of a Holistic Energy Refurbishment Process

Natalia Lasarte[1], Jose Antonio Chica[1], Ignacio Gomis[1], Josu Benito[1],Natalia Lasarte[2]

ABSTRACT

Este artículo es una revisión del proyecto de investigación en curso BERTIM (Building Energy Renovation through Timber Prefabricated Modules), que contempla un procedimiento automatizado incluyendo el diseño, fabricación e instalación de módulos prefabricados de madera para la Rehabilitación Energética de edificios. La Rehabilitación Energética se prevé como una estrategia clave para reducir el impacto energético del sector de la construcción. Además, es necesario promover el uso de materiales con baja demanda de energía primaria y huella de carbono, como es el caso de la madera, cuyo rendimiento es adecuado en términos de potencial calentamiento global, huella de carbono, uso de recursos, contaminación, desechos sólidos y energía interna considerando la vida útil de un edificio. Para fomentar la Rehabilitación Energética se requiere un enfoque holístico e integral del proceso, desde la adquisición de datos hasta la instalación, a fin de reducir el tiempo de las operaciones de rehabilitación. La adopción de soluciones prefabricadas para la rehabilitación integral de edificios, junto con la implementación de herramientas digitales integrando todo el proceso, supondrá una reducción significativa del tiempo en la fabricación y la instalación y, en consecuencia, minimizará el impacto para los usuarios, a la vez que se obtendrá una mejor calidad en el proceso.

En este contexto, el proyecto colaborativo de I+D, BERTIM, desarrolla soluciones prefabricadas que brindan la oportunidad de rehabilitar, mejorando el rendimiento energético, la calidad del aire, la estética, la comodidad y el valor de la propiedad al tiempo que garantizan una baja intrusión durante las obras de rehabilitación. El desarrollo se basa en módulos prefabricados de madera para la rehabilitación energética cuyo fin es asegurar una significativa reducción del consumo de energía primaria en edificios mediante altas propiedades de aislamiento. Pueden integrar, asimismo, carpinterías, aislamiento, sistemas HVAC colectivos, sistemas de energía renovable y de suministro de energía. Gracias a la conservación de la estructura de los edificios existentes y la integración de los servicios, las operaciones in situ se minimizan, atenuando las molestias para los inquilinos, generando menos polvo y ruido y logrando una mayor productividad para todo el proceso y reduciendo el tiempo de instalación. Los módulos prefabricados integran en fábrica todos los componentes del edificio (ventanas, balcones, aislamiento, tuberías y conductos).

Con el fin de optimizar la integración de todo el proceso con precisión y efectividad, también se está desarrollando una herramienta informática basada en BIM para implementar la metodología de fabricación en masa desde el diseño hasta la instalación, permitiendo un flujo de datos digitales entre las todos los elementos del proceso. La plataforma incluye la metodología, las herramientas de apoyo para capturar datos reales de edificios (mediante técnicas de escaneado láser) y transferirlos a un entorno Web3D basado en BIM, así como una comunicación del proyecto de rehabilitación con el sistema de fabricación CNC mediante el uso de BIM, minimizando el riesgo de cualquier posible error de pre-fabricación. Como último paso del proceso se considerarán procedimientos de instalación automatizados e incluso robóticos para reducir el tiempo y garantizar la seguridad durante la instalación in situ.

Key Words: Refurbishment, Timber, Energy Efficiency, Prefabricated, BIM, automation

(1) Tecnalia. Sustainable Construction Division. natalia.lasarte@tecnalia.com (2) Technische Universität Münche. Chair for Building Realisation and Robotics. kepa.iturralde@br2.ar.tum.de



Fig. 1. El Proyecto BERTIM se basa en una captura de datos de precisión, diseño digital con la ayuda de la herramienta RenoBIM, fabricación CNC, montaje y rápida instalación de los módulos de madera.
BERTIM project is based on the accurate data acquisition, digital design with the help of RenoBIM, CNC manufacturing, assembly and rapid installation.

1. Introducción

El sector de la construcción tiene un enorme impacto en la sostenibilidad y el medio ambiente (representando el 40% del consumo total de energía en Europa) ***(DIRECTIVE 2002/91/EC Energy Performance of Buildings).*** Además, en Europa, más del 70% del stock de viviendas se construyó antes de la primera crisis energética (años 70) sin tener en cuenta los criterios de eficiencia energética ***(http://infohouse.p2ric.org/ref/17/16352).*** Teniendo en cuenta estos datos, al mejorar la eficiencia energética de los edificios, se puede estimar una reducción del consumo energético de la UE en un 5-6% y las emisiones de CO2 en un 5%. Aunque actualmente las directivas europeas son en su mayoría las impulsoras de la Eficiencia Energética, se prevé que en un futuro corto el ahorro energético será el motor del cambio. Hoy en día las principales barreras para la rehabilitación son el precio y la interferencia con la actividad habitual del edifico, debido a los inconvenientes generados por las obras. En este sentido, los esfuerzos deben centrarse en abordar las actuales barreras del sector de la Rehabilitación Energética, mediante soluciones que garanticen una ejecución rápida y económica gracias a la optimización de tiempos a lo largo de todo el proceso.

El uso de módulos prefabricados para la Rehabilitación Energética de edificios permite la reducción de los trabajos in-situ, minimizando el consumo de materias primas, incrementando la eficiencia energética y de recursos en el sector de la construcción (Iturralde et al, 2016). En este contexto, la madera y los materiales de construcción basados en la madera cobran mayor importancia debido a su baja demanda de energía primaria y huella de carbono (véase la figura 1).

2. Objetivos

En el proyecto se abordan una serie de objetivos técnicos destinados a alcanzar el reto de aumen-

1. Introduction

The building sector has an enormous impact in sustainability and environment (representing 40% of the overall energy consumption) (DIRECTIVE 2002/91/EC Energy Performance of Buildings). Furthermore in Europe more than 70% of the building stock was built before the first energy crisis (70's) without consideration of Energy Efficiency criteria ***(http://infohouse.p2ric.org/ref/17/16352).*** Taking into account these data, by improving the Energy Efficiency of buildings, it may be estimated a reduction of EU energy consumption by 5-6% and CO2 emissions by about 5% Although currently the European Directives are mostly the drivers for Energy Retrofitting, it is foreseen that in a short future the drivers will be the energy savings for the building owners. Nowadays the main barriers for the rehabilitation are the price and the nuisances for the tenants due to the works. In this sense the efforts must be focused on overcoming the current barriers of the energy retrofitting sector by means of solutions which guarantee a fast and cheap application through the saving of lost times during the whole process.

The use of prefabricated modules for the energy efficient building renovation allows the reduction of on-site works, minimising the consumption of raw materials, increasing the energy and resource efficiency in the construction sector (Iturralde et al, 2016). In this context, timber and timber based building materials gain added importance due to their low primary energy demand from cradle to grave and carbon-footprints (see Fig. 1).

2. Objectives

The following technical objectives are addressed in the project in order to reach the target of improving the rehabilitation rate by the enhancement of the whole process through

tar la tasa de rehabilitación mediante la mejora de todo el proceso mediante el desarrollo de nuevos productos y procesos eficientes de fabricación e instalación, apoyados por herramientas digitales. En primer lugar, en relación con las **nuevas estrategias para el proceso holístico de rehabilitación energética** de los edificios, destacan las siguientes actividades en el marco del proyecto:

- Definir una metodología para un proceso integral de rehabilitación de edificios basado en el flujo digital de datos. El objetivo es evitar la duplicidad en las tareas de diseño.

- Definir una metodología general para la eficiencia en los proceso de fabricación en masa, transporte e instalación de los módulos prefabricados en madera.

- Desarrollar un sistema de módulos prefabricados de madera destinados a la rehabilitación integral del edificio para mejora de la Eficiencia Energética diseñados para diferentes zonas climáticas de Europa.

- Prototipar y validar el comportamiento energético, los estándares de calidad y la mejora de la calidad del aire gracias a la rehabilitación con módulos prefabricados de madera en un infraestructura para investigación a escala real.

En cuanto a la **plataforma de software** que da apoyo a la metodología del proceso de rehabilitación energética:

- Desarrollar una herramienta de software para implementar la metodología para el proceso de renovación energética eficiente del edificio holístico.

- Desarrollar un repositorio en BIM de los módulos prefabricados desarrollados para la rehabilitación.

- Desarrollar una herramienta de apoyo a la toma de decisiones en proyectos de renovación que permita la adaptación de los módulos prefabricados de madera desarrollados para el cliente.

- Asegurar la interoperabilidad de la herramienta con software sectorial (software de cálculo de eficiencia energética, software de cálculo estructural) y con software CNC utilizado en la industria para la fabricación de madera.

El **edificio tipo** para ser rehabilitado mediante módulos BERTIM ha sido seleccionado después de un profundo análisis, dentro de una amplia gama de edificios teniendo en cuenta el mercado que los módulos BERTIM pueden abordar y las tipologías más adecuadas para rehabilitación con sistemas prefabricados.

the development of new products and efficient manufacturing and installation procedures supported by digital tools. First, regarding to the new **strategies** for buildings' holistic energy efficient renovation process, the next points can be highlighted:

- Define a methodology for a holistic building renovation process based on digital data workflow. The objective is to avoid the duplicity in the design tasks (currently each involved technicians must erect their own building model for their own analysis).

- Define a general methodology for the efficient mass manufacturing, transport and installation processes of prefabricated modules in the timber manufacturing industry.

- Develop a system of timber prefabricated modules for building energy efficient deep renovation of very for the different climatic zones in Europe.

- Prototype and validate the energy performance, quality standard and improvement of air quality due to the renovation with timber prefabricated modules in a real scale research infrastructure.

About the a **software platform** that supports the energy efficient renovation process methodology,

- Develop a software tool to implement the methodology for the holistic building energy efficient renovation process.

- Develop a repository of the developed prefabricated modules in BIM for building renovation.

- Develop a renovation project decision support tool that will allow the customization of the developed timber prefabricated modules requirements .

- Assure the interoperability of the tool with sectorial software (energy efficiency calculation software, structural calculation software) and with CNC software used in timber industry for manufacturing.

The **targeted building type** to be refurbished by the BERTIM module has been identified after a deep analysis among a wide range of buildings, taking into account the market that the BERTIM modules could cover and the most suitable typologies to be refurbished with prefabricated sytems,

In order to define the **settings of products to be developed,** there has been an analysis of the



Fig. 2. Imágenes del módulo 2D de fachada y del ·3D residencial
Images of the 2D envelope module and 3D residential

Con el fin de definir la configuración de los productos a desarrollar, se ha realizado un análisis de las empresas fabricantes que participan en el proyecto BERTIM (EGOIN, POBI y SETRA), permitiendo identificar los productos más adecuados. El objetivo es que los módulos BERTIM sean una evolución natural de sus productos existentes. En función de ello, se desarrollan cuatro productos diferentes en el proyecto BERTIM orientadas a la rehabilitación energética de las tipologías de edificios seleccionadas:

- Módulo de envolvente 2D con aislamiento (= A)
- Módulo de envolvente 2D con aislamiento + instalaciones embebidas (= B)
- Módulo de instalaciones 3D (= C)
- Módulo residencial 3D (= D)

El concepto de renovación de BERTIM no sólo incluye la renovación de la envolvente del edificio, sino también las instalaciones existentes obsoletas. La renovación de las instalaciones existentes es un punto relevante en los trabajos de rehabilitación energética de los edificios, que se traduce en ahorros de energía considerables.

2. Methodology

¿Cómo alcanzar las metas definidas en el punto anterior? Para lograr ese objetivo, es necesario una perspectiva general. Se han definido tres subsistemas principales. El subsistema 1 define la configuración o el diseño del módulo prefabricado basado en el tiempo. El subsistema 2 trata del proceso de fabricación off-site (o fuera de la obra) de los módulos. Finalmente, el subsistema 3 se basa en el proceso de instalación in situ. El desarrollo de todos estos subsistemas se logra gracias a una metodología de investigación general (ver Figura 3) que incluye los siguientes pasos:

- Revisión de Literatura y Estado del arte con respecto al uso de módulos prefabricados para la rehabilitación de edificios.

- Definición del marco conceptual. En este punto, el diseño de los módulos, el proceso de fabricación y el proceso de instalación se han definimanufacturer companies that participate in the BERTIM project (EGOIN, POBI and SETRA). This has allowed to identify the most suitable products. The objective is that the BERTIM modules will be a natural evolution of their existing products. Four different products will be developed in the BERTIM project for the energy renovation of the targetable buildings typologies defined:

- 2D envelope module with insulation (=A)
- 2D envelope module with insulation + embedded installations (=B)
- 3D installations module (=C)
- 3D residential module (=D)

The BERTIM renovation concept not only includes the renovation of the envelope of the building, but also the **existing obsolete services**. The renovation of existing installation systems is a relevant point in the building energy efficiency renovation activities, resulting in considerable energy savings.

2. Methodology

How to reach the goals defined in the previous point? For achieving that goal, it is necessary an overall perspective. Three main sub-systems have been defined. Sub-system 1 defines the timber based prefabricated module configuration or design. Sub-system 2 deals with the off-site manufacturing process of the modules. Finally, Sub-system 3 is based on the on-site installation process. The development of all these subsystems is being accomplished thanks to an overarching research methodology (see Figure 3) that include the next steps:

- Review of Literature and State of the Art regarding the use of prefabricated modules for building renovation.

- Conceptual framework definition. At this point, the design of the modules, the manufacturing process and the installation process have been defined theoretically. Axiomatic Design (Suh, N.P., 2001) has been used for this purpose. Previous automated and robotic de-

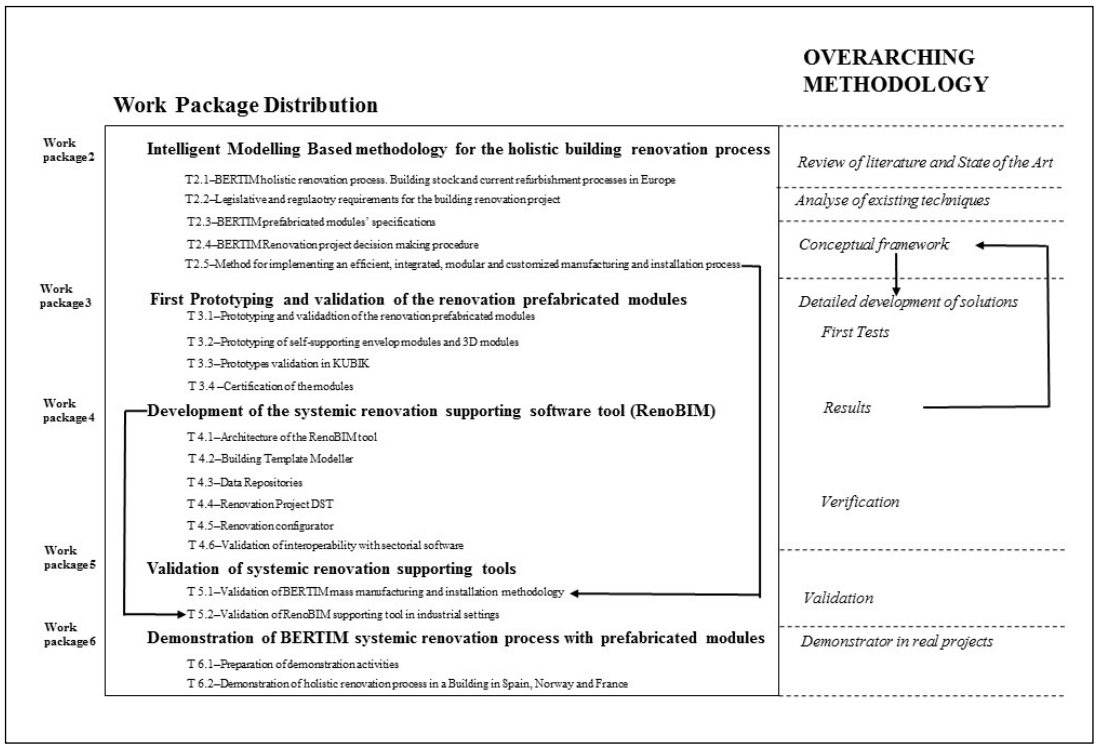


Fig. 3. Esquema de la metodología general del Proyecto BERTIM.
Scheme of the overarching methodology of the BERTIM project.

do teóricamente. Axiomatic Design (Suh, N.P., 2001) se ha utilizado para este propósito. Se han considerado desarrollos automatizados y robóticos anteriores en construcción (Bock, Linner 2016).

- Desarrollo detallado de soluciones, habiéndose definido con detalle los módulos, el proceso de fabricación y el proceso de instalación.

- Primeros ensayos en entorno relevante, que en este caso se refiere al demostrador realizado en el edificio Kubik de TECNALIA.

- Desarrollo de software de apoyo, que en el caso de BERTIM, se refiere al software de RenoBIM.

- Validación de módulos y software. Los módulos están siendo validados de acuerdo con los resultados del primer demostrador en el edificio Kubik.

- Implementación de nuevos procesos de fabricación e instalación robótica, que se desarrollarán en próximas fases del proyecto.

- Demostración real en proyectos piloto. Se instalarán los módulos y se validará el proceso en 3 demostradores: un caso virtual en Madrid (España) y dos casos reales, en La Charité sur Loire (Francia) y Oslo (Noruega).

Como en todos los proyectos europeos, la investigación se desglosa en Paquetes de Trabajo (WP) que se organizan correlativamente en un calendario, dentro de los cuales se desarrollan tareas es-

velopments in construction have been considered (Bock, Linner 2016)

- Detailed development of solutions. The modules, the manufacturing process and the installation process were defined deeply.

- First Tests in relevant environment. This refers to the Demonstrator performed at the Kubik building in TECNALIA facilities.

- Development of supporting software, being in the case of BERTIM, the RenoBIM software.

- Validation of modules and software. The modules are being validated according to the results of the first demonstrator at the Kubik building.

- Implementation new robotic manufacturing and installation processes that should be developed further in the project. .

- Demonstration in projects. There will be three different demonstrators: a virtual case in Madrid (Spain), and two real cases, in La Charité sur Lore (France) and Oslo (Norway).

As in every European Project, the research is based on Work Packages (WP) that are organized correlatively in a calendar. Within these WP there are tasks that focus on specific matters. On task 3.1, a generic and standard solution was defined. But when applying this solution to each specific building-case, some other steps must be considered. First there is a measurement

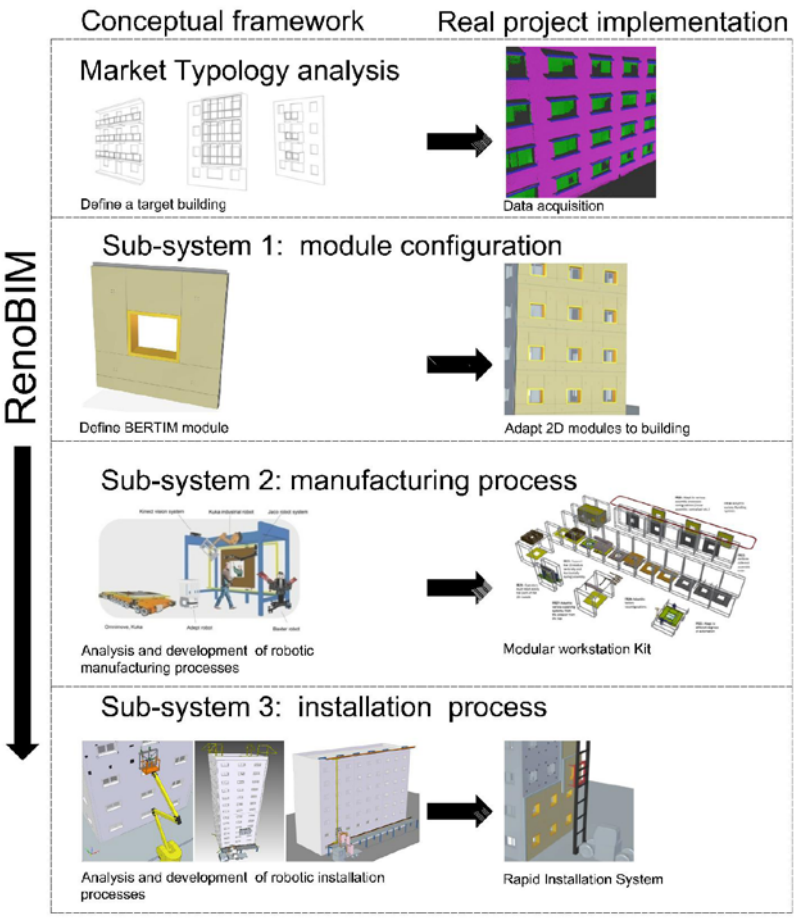


Fig. 4. Tres subsistemas en el Proyecto BERTIM.
Three sub-systems in the BERTIM project.

pecíficas. En la tarea 3.1, se definió una solución genérica y estándar, pero al particularizar esta solución al caso específico, hay que considerar otros factores. En primer lugar, se debe medir el edificio existente. El objetivo principal de la medición es adaptar la solución con precisión al edificio existente. A continuación, se debe lograr el re-diseño o adaptación de los módulos BERTIM al caso de estudio en primer lugar con CAD primero y posteriormente con la herramienta diseñada, RenoBIM. Con esta información se pueden fabricar los módulos a partir de CAD o BIM. Antes de la instalación de los módulos in-situ, el edificio debe estar preparado, entendiendo por "preparar el edificio" a la eliminación de elementos innecesarios del edificio. Finalmente, los módulos deben ser instalados. En principio, el escenario ideal implica llevar a cabo un proceso de instalación rápido y fácil, evitando el rehacer el trabajo nuevamente. Estos conceptos y procedimientos se explican en la Figura 4.

3. Fase actual de investigación

El proyecto de investigación está actualmente en el mes 24, de 48, lo que significa que la mitad del proyecto ya se ha logrado. La mayor parte de la información está sujeta a la confidencialidad, pero hay tres aspectos principales que se pueden señalar.

of the building-case. The main purpose of the measurement is to accurately adapt to the existing building. After that, the re-design or adaptation of the BERTIM modules to the building-case using a CAD first and with RenoBIM must be achieved. With that information, the manufacturing of the modules according to CAD or BIM can be carried out. Before the installation of the modules on-site, the building must be prepared meaning the removal of unnecessary elements from the building. Finally, modules must be installed. In principle, the ideal scenario would be to carry out a fast and smooth installation process while avoiding re-work. This concepts and procedures are explained in Figure 4.

3. Current research phase

The research project is currently in month 24, out of 48, which means that half of the project has been already achieved. Most of the information is subject to confidentiality, but there are three main aspects that can be pointed out.

3.1 Definition and development of prefabricated timber panels and its manufacturing and installation processes

In the BERTIM project, 2D and 3D modules will be used. The 2D panels of light wood frame are modular systems that are anchored to the existing facade and are destined to their energetic rehabilitation. They integrate both the insulation and the elements of carpentry and can eventually be embedded inside the building community facilities (water supply and ventilation). The envelope 2D modules holds ducts and pipes to distribute the fluids from the installation to the dwellings, assuring a deep renovation with very low intrusiveness.

The 3D modules also in timber are self-supporting and are located on the roof of the building and can be used either residential, increasing the living space of the building, or as a technical room to house centralized facilities of the building. These 3D modules have the possibility of incorporating renewable energies on the roof. In cases where it is possible to install a 3D installation module in the roof, it will contain services of heating, cooling, mechanical ventilation, DHW with solar panels coming from the ducts and pipes embedded in the panel. Furthermore, the 3D residential module, raising a floor on the existing building may be implemented as also a business model to allow the funding of the renovation works.

The main criteria for designing the selected products (2D envelope module without installations, 2D envelope module with installations, 3D

3.1. Definición y desarrollo de paneles prefabricados de madera y sus procesos de fabricación e instalación

En el proyecto BERTIM se utilizarán módulos 2D y 3D. Los paneles 2D de entramado ligero de madera ligera son sistemas modulares que se anclan a la fachada existente y están destinados a su rehabilitación energética. Integran el aislamiento y los elementos de la carpintería y ocasionalmente pueden embeber en su interior las instalaciones comunitarias del edificio (suministro de agua y ventilación). Los módulos de envolvente 2D pueden contener conductos y tuberías para distribuir los fluidos de las instalaciones desde los paneles al interior de las viviendas, asegurando una rehabilitación integral con baja intrusividad.

Los módulos 3D de madera son autoportantes y están situados en la cubierta del edificio y pueden utilizarse para aumentar la superficie habitable del edificio o como sala técnica para albergar instalaciones centralizadas del edificio. Estos módulos 3D tienen la posibilidad de incorporar energías renovables en el techo. En los casos en que sea posible instalar un módulo de instalación en 3D en el techo, podrá contener servicios de calefacción, refrigeración, ventilación mecánica, ACS con paneles solares procedentes de los conductos y tuberías embebidas en el panel. Además, el módulo residencial 3D, que aumenta un piso en el edificio existente, puede ser implementado como un modelo de negocio para permitir la financiación de las obras de rehabilitación.

Los criterios principales para el diseño de los productos seleccionados (módulo de envolvente 2D con y sin instalaciones, módulo 3D de instalaciones 3D, módulo 3D residencial) se establecen en relación a las especificaciones generales de los módulos prefabricados. Los criterios de diseño más relevantes para el los distintos módulos se definen a continuación:

- Criterios de Eficiencia Energética: Soluciones de aislamiento, evaluación del comportamiento térmico de la fachada con soluciones BERTIM, análisis de condensaciones en los paneles, estimación de la reducción del consumo de energía HVAC.

- Criterios de diseño de servicios, específicamente para módulos de envolvente con instalaciones y módulos 3D para albergar instalaciones en la cubierta: aislamiento de conductos y tuberías por el exterior, análisis térmico del módulo de instalación 2D y especificaciones de diseño para paneles con instalaciones embebidas.

- Criterios de diseño estructural: diseño de módulos, evaluación estructural del edificio existente y criterios de diseño de elementos de soporte de módulos.

installations module, 3D residential module) are set regarding the general specifications of prefabricated modules. The most relevant design criteria for the 2D envelope and 3D modules are defined below:

- Energy Efficiency criteria: Insulation solutions, façade's thermal performance assessment with BERTIM solutions, analysis of condensations in the panels, assessment of HVAC energy consumption reduction

- Services design criteria, specifically for 2D envelope modules with installation and 3D installation modules: Insulation requirements for building outdoor ducts and pipes, thermal analysis of 2D installation module and design specifications for panels with embedded installation.

- Structural design criteria : Modules design, existing building structural performance and modules' support elements design criteria

- Fire resistance criteria: Fire resistance and Reaction to fire of external façade

Apart from the general criteria, each manufacturer has their own restrictions and limitations in the design of the modules, due to the manufacturing system, transport and installation procedure. Those restrictions are analysed in order to define the final design of the module.

3.2. Validation in experimental building Kubik

KUBIK by Tecnalia is a full-scale R&D test facility for the development of new concepts, products and services in order to improve energy efficiency in buildings. KUBIK offers a flexible infrastructure able to build realistic scenarios with different building components and systems, for that is compulsory to make possible the assembly and disassembly of them. This permits not only in service performance assessment but also help to develop and to evaluate assembly and erection procedures. KUBIK allows the validation of products or systems in conditions close to those of service. This speeds up the product development and reduces the risk of malfunction of highly innovative products or products without previous experiences on the market place. The experimentally-obtained results enable diagnoses and proposals for potential product improvements to be made.

Two kinds of 2D envelopes modules have been tested: modules with embedded installations and without installation. Envelope modules will be placed on the facade to be rehabilitated in KUBIK at the 2 levels. This façade is a typical Spanish

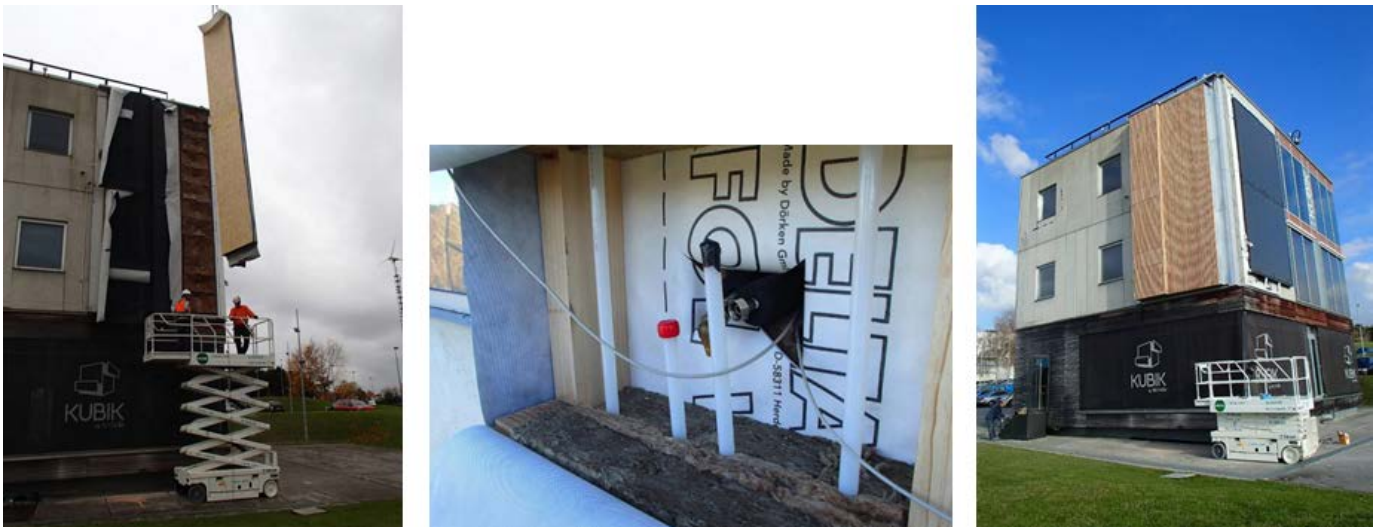


Fig.5. Demostrador en el edificio Kubik donde se aprecia el montaje de los paneles, el ensamblado de instalaciones y el acabado final tras la instalación de los módulos.
The demonstrator at the Kubik building, based on the installation of the modules, fitting the services and final finishing.

- Criterios de resistencia al fuego: Resistencia al fuego y Reacción al fuego de la fachada externa

Aparte de los criterios generales, cada fabricante tiene sus propias restricciones y limitaciones en el diseño de los módulos, debido al sistema de fabricación, transporte e instalación. Estas restricciones se han tenido en cuenta para definir el diseño final del módulo.

3.2. Validation en el edificio experimental Kubik

KUBIK by Tecnalia es una instalación de ensayos de I + D a escala real para el desarrollo de nuevos conceptos, productos y servicios destinados a mejorar la eficiencia energética en edificios. KUBIK ofrece una infraestructura flexible capaz de construir escenarios realistas con diferentes componentes y sistemas de construcción, para lo que es necesario que sea posible su montaje y desmontaje. Esto permite no sólo evaluar el comportamiento térmico del servicio sino también desarrollar y evaluar los procedimientos de montaje. KUBIK permite la validación de productos o sistemas en condiciones cercanas a las de servicio. Esto acelera el desarrollo del producto y reduce el riesgo de funcionamiento inadecuado de productos altamente innovadores o productos sin experiencias previas en mercado. Los resultados obtenidos experimentalmente permiten diagnosticar y proponer posibles mejoras en el producto.

Se han validado dos tipos de módulos 2D de envolvente: módulos con y sin instalaciones integradas. Los módulos se han colocado en la fachada de Kubik a rehabilitar en dos alturas. Esta fachada es una pared típica de la construcción española de los años 70, que consiste en una fachada de ladrillo con cámara de aire sin aislamiento: (U-valor 1,6-W / (m2K). Representa las condiciones de un edificio real, construido y en servicio, en oposición a las condiciones de laboratorio controladas. La configuración de los paneles se ha elegido de tal manera que se puedan estudiar diferentes tipos de construction wall from the 70's, that consist of a cavity wall: brick, air cavity and brick (U-value 1,6-W/(m2K). This wall is intended to represent conditions of an actual building, as built and in service, as opposed to controlled laboratory conditions. The configuration of the panels has been chosen in such a way that different joins between panels can be studied. It means the assembly of: two installation panel of 3m height , two standard panels of 3m height and one standard panels of 6m height , as it is defined in the Fig. 6

The standard panels are made of timber frame and the installation panels made of CLT have embedded air and water ducts. The finishing of the panels implemented in KUBIK is made of wooden slats supported by battens. The installation panels are provided of removable covers with the purpose of accessing to the critical points of the services in order to proceed with common maintenance operations. In addition there is another removable cover in the horizontal section where the installation panels are joined aimed at assembling the services after placing both panels.

The main goals of this prototype in Kubik are the following ones:

- Energy assessment of the BERTIM envelope modules achieved from the characterization of dynamic thermal characteristics of the envelope based on empirical data driven models will be determined.
- Heat losses assessment in the ducts and pipes embedded in the installation panel
- Analyse of the interaction between existing building and timber envelope according mechanical performance and hygrothermal behaviour.
- Validation of the BERTIM panels design that will provide feed-back to improve the detailed design further.

uniones entre paneles, dos paneles estándar de 3m de altura, dos paneles de instalaciones de 3m de altura y un estándar de 6m de altura, tal y como se define en los esquema (ver figura 6)

Los paneles estándar son de entramado ligero de madera y los paneles de instalación que albergan conductos de aire y agua son de Cross Laminated Timber (CLT). El acabado de los paneles instalados en KUBIK es de emparrillado de madera soportados por listones. Los paneles de instalación están provistos de tapas extraíbles, a modo de registros, con el fin de acceder a los puntos críticos de los servicios para operaciones de mantenimiento. Además hay otro registro en la sección horizontal donde se unen los paneles de instalación destinados a ensamblar los servicios después de colocar ambos paneles.

Los objetivos principales de este prototipo en Kubik son los siguientes:

- Determinación del comportamiento energético de los módulos BERTIM para envolvente, obtenido a partir de la caracterización de las características térmicas dinámicas de la envolvente basada en modelos de datos empíricos.
- Evaluación de las pérdidas de calor en los conductos y tubos integrados en el panel de instalación.
- Análisis de la interacción entre el edificio existente y la envolvente de madera, en relación al comportamiento mecánico e higrotérmico.
- Validación del diseño de los paneles BERTIM, que proporcionará retroalimentación para mejorar el diseño detallado.
- Seguimiento y recopilación de información sobre el proceso de fabricación e instalación, especialmente en lo referente al tiempo y los aspectos logísticos. Un vez que los datos se han obtenido y analizado éstos se usarán como punto de partida de tareas futuras, relativas a la optimización del proceso.
- Resolución de detalles constructivos menores identificados in-situ.
- Identificación de actividades más ineficaces con objeto de reducir los tiempos de inactividad, optimizar el tiempo de fabricación y de montaje en obra así como reducir los recortes de material.
- Determinación de las limitaciones del montaje e instalación debido a las condiciones climáticas, condiciones de transporte y estado de la fachada existente, entre otros.

Las limitaciones que figuran en el proceso y la ineficiencia en algunas actividades se describen en

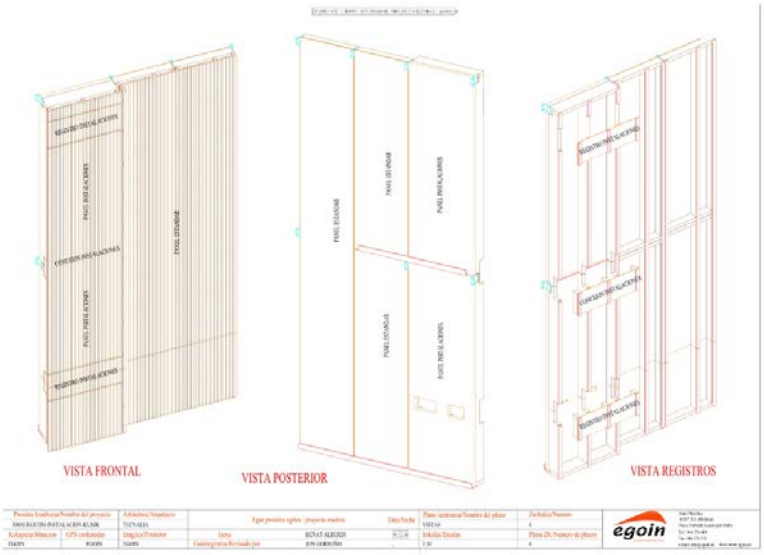


Fig. 6. Diseño y configuración de paneles instalados en Kubik
Drawings of the layout in Kubik

- To track and gather information about the manufacturing and installation process, especially regarding to timing and logistic issues. Once the data have been collected and analysed, these will be used as a benchmark in following tasks, regrading the optimisation of the process.
- Resolution of minor constructive details identified on jobsite
- Identification of less effective activities in order to reduce down-time costs, optimize the time of manufacturing and on-site works and decrease material wastes.
- To figure out the limitations of the erection and installation due to climate conditions, transport conditions, status of the existing façade, among others.

The limitations figured out in the process and the inefficiency in some activities are described in the chapter of conclusion of the current deliverable , giving inputs for improving the whole process thanks to the industrialisation of the manufacturing and automation during the assembly.

From this task, mainly conclusions related to improvements in manufacturing and installation of the prototype are achieved. Furthermore, the 2D modules will be validated on terms of energy efficiency during the experiment developed in KUBIK facilities

3.3. Development of RenoBIM tool

The tool will act as a collaboration platform where potential clients (building owners) and manufacturers define and assess the renovation project adapted to the stages defined in

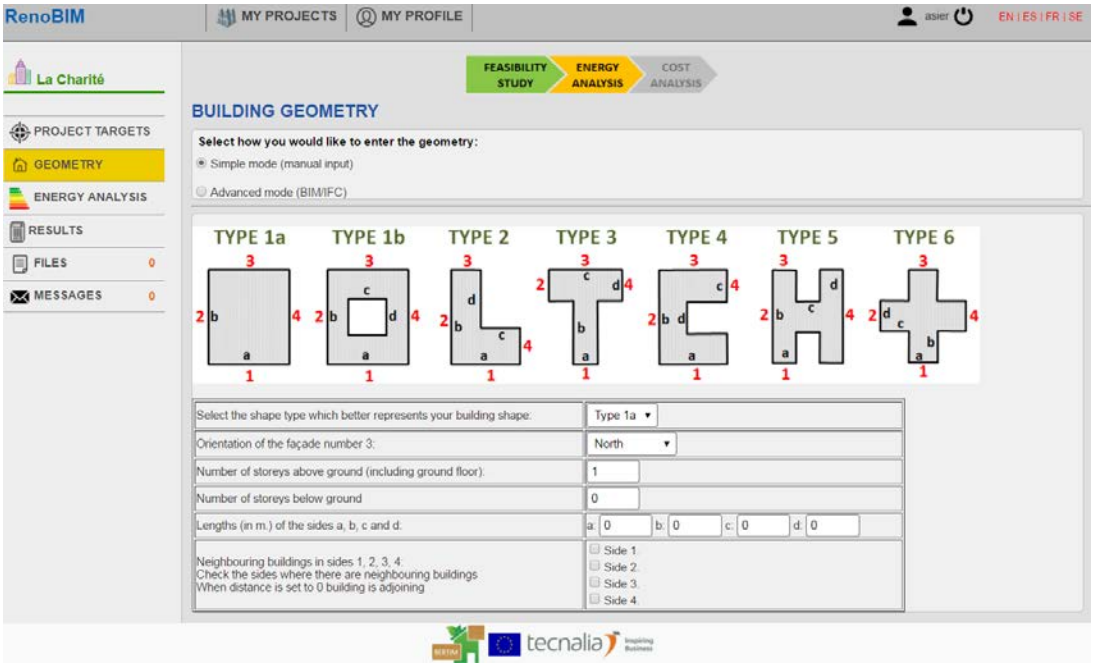


Fig. 7. Ejemplo de cuestionario de entrada de datos para la fase de viabilidad
Sample data entry questionnaire for feasibility phase

el capítulo de conclusión de la entrega actual, dando insumos para mejorar todo el proceso gracias a la industrialización de la fabricación y la automatización durante el montaje.

A partir de esta tarea, se logran principalmente conclusiones relacionadas con mejoras en la fabricación e instalación del prototipo. Además, los módulos 2D serán validados en términos de eficiencia energética durante el experimento desarrollado en las instalaciones de KUBIK.

3.3-Desarrollo de la herramienta RenoBIM

Con el fin de permitir la integración con suficiente precisión y efectividad, también se está desarrollando una herramienta informática basada en BIM, denominada RenoBIM, para implementar la metodología de fabricación en serie y permitir un flujo de datos digitales entre las distintas fases y agentes involucrados en el proyecto.

La herramienta actuará como una plataforma de colaboración donde los potenciales clientes (propietarios de edificios) y fabricantes definen y evalúan el proyecto de rehabilitación adaptado a las etapas definidas en la metodología de toma de decisiones. Así, en una etapa preliminar, el cliente puede evaluar si la renovación mediante soluciones BERTIM es técnicamente factible (según accesibilidad, legislación o criterios estructurales introducidos a través de formularios web) y, de ser así, RenoBIM proporcionará indicadores iniciales relacionados con el ahorro energético o el coste de retorno sobre la inversión. Para ello, se están desarrollando cuestionarios básicos para recopilar las condiciones existentes y la geometría del edificio. En esta etapa, RenoBIM puede ser visto como una herramienta de marketing para las so-

the decision making methodology. Thus, in a preliminary stage, the client can evaluate if the renovation using BERTIM solutions is technically feasible (according to accessibility, legislation or structural criteria entered via web forms) and if so, RenoBIM provides initial indicators related to energy savings, cost of return on investment. In order to do so, basic questionnaires to gather the existing conditions and geometry of the building are being developed. In this stage, RenoBIM can be seen as a marketing tool for manufacturers' solutions, who can engage potential end-users with a minimal effort. Gathering information of many potential end-users in different locations through the web tool can also serve for a market analysis that can provided valuable inputs to manufacturers. (Figure 7/

Additionally, RenoBIM will also offer the possibility of a more detailed analysis based on a real BIM model of the building. This situation will typically occur once client and manufacturer are engaged in a contract, but is not necessarily restricted to that. For this situation, a guideline has been developed in the project in order to properly scan the building to be modelled considering BERTIM requirements. The analysis done in this step will be more accurate since we have a realistic geometry model of the building.

Furthermore, the BIM model will be the basis of a 3D configurator of the renovation project, where the user can visually define different façade splitting configurations (including rendering aspects) optimized to each manufacturer requirements (e.g. size of panels) and providing a cost estimation based also in the rendering material selected). This module is based on Web3D technologies and the output configuration will

luciones de los fabricantes, que puede involucrar a los potenciales usuarios finales con un esfuerzo mínimo. La recopilación de información de muchos potenciales usuarios finales en diferentes lugares a través de la herramienta web también puede servir para un análisis de mercado que puede proporcionar información valiosa a los fabricantes. (Figura 7)

Además, RenoBIM también ofrecerá la posibilidad de un análisis más detallado basado en un modelo BIM real del edificio. Esta situación suele ocurrir una vez que el cliente y el fabricante están comprometidos en un contrato, pero no necesariamente se limita a eso. Para esta situación, se ha desarrollado una guía en el proyecto para escanear adecuadamente el edificio a ser modelado, teniendo en cuenta los requisitos de BERTIM. El análisis realizado en este paso será más preciso ya que tenemos un modelo de geometría real del edificio. Además, el modelo BIM será la base de un configurador 3D del proyecto de rehabilitación, donde el usuario puede definir visualmente diferentes configuraciones de división de fachadas (incluyendo aspectos de renderizado) optimizadas según las necesidades de cada fabricante (por ejemplo, tamaño de los paneles, o materiales de representación). Este módulo está basado en tecnologías Web3D y la configuración de salida será enviada a herramientas de CAD / CAD (por ejemplo, Dietrich) para producir los detalles finales y enviarlas a máquinas CNC, minimizando el riesgo de cualquier error de pre-fabricación. (Figura 8)

El aspecto clave en todo el proceso RenoBIM es que se basa en el soporte de flujos de trabajo BIM abierto, utilizando el estándar IFC y la implementación de mecanismos de interoperabilidad entre herramientas. Así, las diferentes herramientas implicadas (herramientas de creación de BIM para generar el modelo existente basado en escaneo

be sent to CAD/CAD tools (e.g. Dietrich's) in order to produce the final details and sent to CNC machines, minimising the risk of any possible pre-fabrication mistake. (Figure 8)

The key aspect in the whole RenoBIM process is that it relies on the support of Open BIM workflows, using the IFC standard and implementing interoperability mechanisms among tools. Thus, the different tools involved (BIM authoring tools to create the existing model based on 3D scanning), 3D configuration inside RenoBIM and CAD/CAM software will exchange the data using IFC. It is also worth noting that automated energy simulation is provided by using the Open Source engine EnergyPlus. With this aim, an exporter from IFC to IDF (the input file format for Energy Plus) is also being created, adapted to BERTIM needs. These Open BIM workflow will enable the reduction of renovation operation time, customized mass production, and lower financial risk for investors.

4. Preliminary research outcome and future work

The **re-design, manufacturing and installation** of a prototype within the BERTIM project has led to identify the areas of improvement areas in every phase of the process to improve its efficiency, which will be tackled in further steps of the project and demonstrated in real cases Therefore, the further steps must be focused on some issues that would need to be solved in order to improve the manufacturing and installation process, described below:

- As regards the data acquisition of the existing building, it must be accurate enough to get the level of detail necessary for the installation of prefabricated solutions for renovate the envelope and handy enough to be introduced in a BIM model which manage the

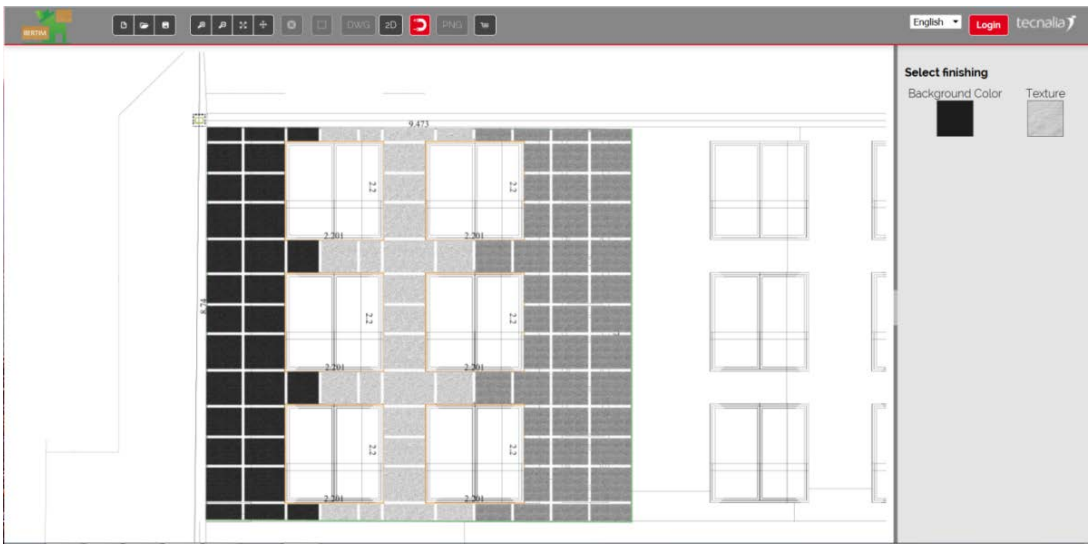


Fig. 8. Configurador 3D basado en un modelo real BIM del edificio
3D configurator based on the real BIM model of the building

3D), la configuración 3D dentro de RenoBIM y el software CAD / CAM intercambiarán los datos utilizando IFC. También debe señalarse que la simulación energética automatizada se proporciona mediante el uso del motor de código abierto EnergyPlus. Con este objetivo, también se está creando un exportador de IFC a IDF (el formato de archivo de entrada para Energy Plus), adaptado a las necesidades de BERTIM. Este flujo de trabajo BIM abierto permitirá reducir el tiempo de operación de todo el proceso, personalizar la producción en serie masa personalizada y disminuir el riesgo financiero para los inversores.

4. Resultados preliminares de la investigación y trabajo futuro.

El **re-diseño, la fabricación y la instalación de un prototipo** dentro del proyecto BERTIM ha llevado a identificar las áreas de mejora en cada fase del proceso para incrementar su eficiencia, que serán abordadas en otras etapas del proyecto y demostradas en casos reales. Por lo tanto, los pasos siguientes deben centrarse en algunas cuestiones que deberían resolverse para mejorar el proceso de fabricación e instalación, descritas describen a continuación:

- En cuanto a la adquisición de datos del edificio existente, debe ser lo suficientemente preciso para obtener el nivel de detalle necesario para la instalación de soluciones prefabricadas de renovación de fachada y lo suficientemente ágil como para ser introducido en un modelo BIM que gestiona todo el proceso. En el caso analizado, la técnica más adecuada ha demostrado ser el láser 3D. Sin embargo, se pueden abordar nuevas tecnologías de captura de datos para superar la falta de información de construcción de una manera rentable.

- En el proceso de fabricación, es conveniente la automatización en algunos procesos hasta ahora manuales, como el ensamblado del entramado de lamas de acabado, la colocación de los conductos de instalaciones, etc. para lograr un producto viable y evitar el desperdicio de material.

- En cuanto al proceso de instalación, se pueden realizar algunas mejoras para permitir y acelerar los trabajos de ejecución in situ, como la sustitución de la instalación flexible colocada entre los paneles y el edificio existente por lana mineral de alta densidad.

- Algunos detalles constructivos sobre la interacción con el edificio existente (por ejemplo, placas de acero) tuvieron que ser resueltos in situ, lo que implicaron un gran consumo de tiempo que se tradujo en un aumento considerable del tiempo de instalación.

whole process. In the analysed case the most suitable technique has proven to be the laser 3D. Nevertheless, new data capturing technologies can be addressed to overcome lacking building information in a cost-effective way.

- In the manufacturing process, it is convenient the automation on some manual processes, such as timber cladding, placing of services etc... in order to achieve a cost-efficient product and avoid waste of material.

- Regarding the installation process, some improvements may be addressed to enable and speed up the execution works on-site, such as the substitution of the flexible installation placed between the panels and existing building by high density mineral wool attached to the actual panels off-site, the development of specific products needed for wrapping/ connecting pipes and ducts with vapour barrier, and the upgrade of mechanical systems to allow a fast and easy connections with the existing building.

- Some constructive details regarding the interaction with the existing building have (e.g. steel plates) had to be sorted out on-site, involving an important time consuming and making higher the installation time.

- CLT could be replaced by OSB in 2D modules to make the product more cost-effective and faster to manufacture.

- The placement of insulation on-site (flexible insulation over the existing building and inside the removable cover in the installation panel) takes too much time in comparison with the whole process. It might be necessary somehow to add this insulation to the module in the factory. Moreover, it would be beneficial to apply high density mineral wool attached to the actual panels off-site instead, so that the time consumed on site would be diminished. Special care should be taken when detailing the junction between panels, as gaps/thermal bridges should be avoided.

- The installation process is strongly limited by weather conditions. The insulation placed on site should not be soaked in order to keep its thermal properties.

About the **embedded services** in the modules, there can be several commentaries and approaches.

- Using regular connectors to attach the BERTIM module to the existing façade produces some tolerance in the positions of the pipes embedded in it.This tolerance is handled where the

- El panel CLT podría ser reemplazado por OSB en módulos 2D para hacer el producto más económico y más rápido de fabricar y montar.

- El desarrollo de productos específicos puede ser necesario para la conexión de tuberías y conductos con barrera de vapor y la implantación de nuevos sistemas mecánicos para permitir una conexión rápida y fácil con el edificio existente.

- La colocación del aislamiento in situ (aislamiento flexible sobre el edificio existente y dentro de la cubierta extraíble en el panel de instalación) lleva demasiado tiempo en comparación con todo el proceso. Podría ser necesario de alguna manera agregar este aislamiento al módulo en la fábrica. Además, sería beneficioso aplicar la lana mineral de alta densidad unida a los paneles reales en fábrica, de manera que el tiempo consumido en el sitio disminuiría. Debe tenerse especial cuidado cuando se diseña la unión entre los paneles, ya que se deben evitar los huecos entre uniones y/o puentes térmicos.

- El proceso de instalación está fuertemente limitado por las condiciones climáticas. El aislamiento no debe almacenarse al aire libre para evitar que sea humedecido, perdiendo sus propiedades térmicas.

En cuanto a las **instalaciones integradas en los módulos**, se plantean varios enfoques de mejora:

- El uso de conectores regulares para fijar el módulo BERTIM a la fachada existente implica a necesidad de tolerancia en las posiciones de los tubos integrados en los paneles. Esta tolerancia se absorbe en los puntos donde están conectados los diferentes conductos del módulo 2D, entre módulos consecutivos o una red de conductos existente en la vivienda.

- El uso de tuberías PEX aporta flexibilidad al sistema para adaptar las leves diferencias de longitud en las tuberías, debido a las variaciones térmicas para diferentes condiciones de operación si las longitudes máximas son 6-7 metros.

- Si las longitudes rectas son superiores a 6-7 metros, se podrían utilizar componentes específicos para acoplar los segmentos de tubería y ayudar a absorber los cambios de longitud.

- Se han diseñado dos opciones diferentes de juntas, que se han validado en KUBIK: La primera opción tiene más rigidez y es una buena opción para acoplar tuberías entre módulos y la segunda es una manguera flexible común, que da más flexibilidad a los instaladores para conectarse a la parte interior del circuito de agua.

different 2D module ducts are connected, between consecutive modules or to an existing duct net in the dwelling.

- Using PEX pipes gives flexibility to the system to handle with the length differences due to the temperature differences for different operating conditions if the maximum lengths are 6-7 meters.

- Two different options of joints have been designed and used later in KUBIK: First option has more rigidity and it is a good option to couple pipes between modules.And the second one is a common flexible hose, giving more flexibility to the installers to connect to indoor part of the water loop.

- The continuity of vapour barrier should be maintained after the pipes have crossed it. Therefore, vapour barrier tape should be used to assure the continuity.

- Depending on the layout of the project, different hydraulic components should be needed to place in the water loop. For instance, in KUBIK layout, an air bleed is needed, leading to add a removable cover to allow accessibility for maintenance and commissioning services.

- The facility boxes are filled with insulation to reduce the thermal losses from components and to maintain the thermal resistance of the entire module.

Regarding the **thermal performance of the modules**, it can be said that in general terms, the assessed BERTIM assembly constitutes a successful retrofit intervention. As shown by a full scale experimental testing, the application of the BERTIM solution results in a 4x to 6x increase in the thermal resistance of the wall. Thermal properties of the BERTIM system are derived from the experimental dataset in KUBIK. In some cases (S11), the thermal assessment positions the BERTIM system in the vicinity of design values calculated in the design process of the experimental setup. However, several axes (S21 and S22) are more conductive than design values. This underperformance can be attributed to differences between the theoretical model and the as-built prototype. Although no clear conclusion can be drawn, some of the following causes may have occurred:

- The presence of an air gap between the BERTIM assembly and the original wall, in the case where the complete airtightness of this air layer cannot be guaranteed, can potentially result in infiltration of external air by natural or forced (wind-driven) convection. In Kubik this air gap is filled with compressible insu-

- La continuidad de la barrera de vapor debe mantenerse después de que los tubos la hayan cruzado. Por lo tanto, se debe usar cinta de barrera contra el vapor para asegurar la continuidad.

- Dependiendo del diseño del proyecto, se necesitarán diferentes componentes hidráulicos para colocar en el circuito de agua. Por ejemplo, en el diseño de KUBIK, se necesita una purga de aire, lo que lleva a añadir una cubierta extraíble para permitir la accesibilidad para los servicios de mantenimiento y puesta en marcha.

- Las cajas de instalaciones están rellenas de aislamiento flexible para reducir las pérdidas térmicas de los componentes y mantener la resistencia térmica de todo el módulo.

En cuanto al **comportamiento** térmico de los módulos, puede decirse que, en términos generales, el conjunto BERTIM evaluado constituye una intervención de rehabilitación energética de éxito. Como muestra de una prueba experimental a escala completa, la aplicación de la solución BERTIM da lugar a un aumento de 4x a 6x en la resistencia térmica de la pared. Las propiedades térmicas del sistema BERTIM se derivan del conjunto de datos experimentales en KUBIK. En algunos puntos la evaluación térmica sitúa el sistema BERTIM en la proximidad de valores de diseño calculados. Sin embargo, varios ejes son más conductores que los valores de diseño. Este bajo rendimiento puede atribuirse a diferencias entre el modelo teórico y el prototipo as-built. Aunque no se pueden obtener conclusiones claras, los resultados pueden justificarse por alguna de las siguientes causas:

- La posible presencia de una cámara de aire entre el panel BERTIM y la pared original. En el caso de que no se pueda garantizar la hermeticidad total de esta capa de aire, puede producirse una infiltración de aire externo por convección natural o forzada (eólica). En Kubik esta cámara está llena de material aislante compresible. Aunque esta configuración hace que sea más difícil que ocurran tales fenómenos, puede que el espesor del aislamiento sea irregular debido a las irregularidades de la fachada y por tanto de la cámara de aire. En el experimento ensayado, se tuvo cuidado en el sitio para sellar todas las juntas entre paneles.

- Los cálculos teóricos suponen una ejecución perfecta, lo que rara vez se lleva acabo in-situ. La mano de obra en la ejecución de ña rehabilitación en Kubik refleja la práctica general de la construcción, y el estudio experimental es representativo del comportamiento in-situ de un edificio típico, rehabilitado y en condiciones de servicio, con la solución BERTIM.

lation material, Although this configuration makes it more difficult for such phenomena to occur, uneven insulation may happen due to different air gap thickness. In the tested assembly, care was taken on site to seal all joints between panels.

- Theoretical calculations assume perfect execution, which is rarely, if ever, possible on site. The authors believe that the workmanship in the tested assembly reflects general construction practice, and the experimental study is representative of the in-situ performance of a typical building, as built and in service conditions, retrofitted with the BERTIM assembly studied.

Conclusions

To sum up, we can conclude that the BERTIM envelope panels apparently become a suitable solution for facade refurbishing from the technical point of view. Nevertheless, there is a big room for improvement to get the whole process more effective by means of industrialization and automation of manufacturing and installation process. The future challenge, therefore, will be the optimization of the time during the whole chain of implementation. For that purpose, automated and robotic performances and fast fitting connectors will be implemented in Task 5.1. Moreover, the RENOBIM tool, to be developed further in the project, will help this optimization by linking the main activities involved in the process. Finally, the real and virtual demonstrators will give us the opportunity to show the results of the developments on automation, robotics and software development in the field of building energetic renovation.

Acknowledgements

The research presented in this paper was fully carried out in the context of the H2020 project BERTIM. BERTIM has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 636984. The content of this report does not reflect the official opinion of the European Union. Responsibility for the information and views expressed in the report lies entirely with the authors.

Conclusiones

Para resumir, podemos concluir que los paneles de envolvente BERTIM son aparentemente una solución adecuada para la rehabilitación de fachadas desde el punto de vista técnico. Sin embargo, hay un gran margen de mejora para conseguir que todo el proceso sea más eficaz por medio de la industrialización y la automatización del proceso de fabricación e instalación. El reto futuro, por lo tanto, será la optimización del tiempo durante toda la cadena de implementación. A tal efecto, se profundizará en futuras tareas sobre el uso de soluciones automatizadas y robóticas para fabricación e instalación, así como conectores de conexión rápida para emplear en la ejecución in-situ. Además, la herramienta RENOBIM, que está actualmente en desarrollo en el proyecto, ayudará a esta optimización vinculando las principales actividades involucradas en el proceso. Por último, los demostradores reales y virtuales nos darán la oportunidad de mostrar los resultados de mejora del producto, los desarrollos en automación y robótica así como el desarrollo de software específico para el campo de la rehabilitación energética del edificio.

Agradecimientos

La investigación presentada en este trabajo se realizó en su totalidad en el contexto del proyecto H2020 BERTIM. BERTIM ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizon 2020 de la Unión Europea con el acuerdo de subvención nº 636984. El contenido de este informe no refleja la opinión oficial de la Unión Europea. La responsabilidad de la información y opiniones expresadas en el informe recae enteramente en los autores.

REFERENCIAS / REFERENCES

1 DIRECTIVE 2002/91/EC Energy Performance of Buildings

2 Suh, N.P., 2001. Axiomatic Design: Advances and Applications, the Oxford Series on Advanced Manufacturing

3 Iturralde, K., Linner, T., Bock, T., Development of a modular and integrated product-manufacturing-installation system kit for the automation of the refurbishment process in the research project BERTIM, 2016 Proceedings of the 33rd ISARC, Auburn, USA

4 Bock, T., Linner, T., 2016, Site Automation, Cambridge University Press.

Modelo metropolitano de barrios nZEB

NZEB neighbourhood Metropolitan model

Gil Lladó Morales[1], Ana Romero Càlix, Julia Hereza Atienza

ABSTRACT

Tras un proceso de identificación y selección de barrios y municipios candidatos, la Dirección de Servicios Ambientales del Área Metropolitana de Barcelona ha decidido realizar un estudio sobre la implementación de criterios NZEB en la totalidad de un municipio. De aquí nace ***BadiaNZEB***, objetivo del cual es avanzar hacia un diseño de estrategias integrales basadas en la totalidad de los tejidos urbanos de ciudades o barrios, definiendo un plan de actuaciones relacionadas con la eficiencia energética y las energías renovables que fijen las acciones a realizar a fin de convertirse en el primer municipio metropolitano nZEB. A la vez, pretende incidir en situaciones de pobreza energética y ayudar a reactivar la actividad económica del municipio.

El proyecto da las directrices necesarias para actuar en el parque edificado mejorando la eficiencia energética de los equipos existentes, añadiendo sistemas pasivos y activos para reducir la demanda e, instalando equipos de producción de energía renovable. De estas actuaciones no solo se obtiene una reducción de las emisiones de CO_2, sino que también se consigue mejorar la funcionalidad de las viviendas incrementando el espacio habitable, mejorando las fachadas y mejorando el confort térmico de los usuarios.

Para el análisis se valoran 2 perfiles de uso para las 4 tipologías de edificios existentes en el municipio; el perfil A, asociado a una ocupación permanente de la vivienda y el B, asociado a una ocupación intermitente. En todos los edificios se propone actuar en la envolvente térmica, instalar un sistema de producción de energía solar-térmica para ACS e instalar un sistema de producción de energía eléctrica fotovoltaica. Las simulaciones de demanda se han realizado con ***Energyplus***, considerando las 4 tipologías de edificios en el caso del perfil de uso A ya que representa el 80% del perfil municipal.

Con la realización de las actuaciones se obtendría una importante reducción de la demanda energética (75%), una reducción de la de calefacción (68%) y de la de refrigeración (8%), así como de las emisiones de CO_2 eq (74%). El parque edificado de la totalidad del municipio pasaría de una calificación energética D a una B. El coste de la inversión sobre la totalidad de la ciudad sería de 59.383.822€ (PEC IVA excluido), consiguiendo una amortización en 18 años en el caso de contar con subvención pública del 50%.

Key Words: Rehabilitación energética, Nearly Zero - Energy Building, Barrios nZEB, Eficiencia energética

(1)Àrea Metropolitana de Barcelona. 935069645, gllado@amb.cat

1. Introducción y objetivos

Con el fin de promover la competitividad, la sostenibilidad y la seguridad del suministro energético, la Comisión Europea ha elaborado una serie de políticas y medidas. En el marco legislativo actual, la Directiva Europea 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de edificios, establece como objetivo para el 31 de diciembre de 2020 que todos los edificios nuevos tengan un consumo de energía casi nulo. Para edificios públicos este objetivo se adelanta dos años, a 31 de diciembre de 2018.

En España, el sector de la edificación es uno de los que consume mayor cantidad de energía generando alrededor de dos tercios de las emisiones de CO_2, de ahí la importancia de implementar la normativa a edificios ya existentes con el fin de mejorar su eficiencia y avanzar hacia una transición energética sostenible. Actualmente existen diversas ayudas tanto europeas como estatales para que administraciones y privados puedan llevar a cabo estas rehabilitaciones, por ejemplo los fondos FEDER de la Comisión Europea y el programa PAREER CRECE del IDAE.

A partir de los estudios de viabilidad de rehabilitación NZEB (nearly Zero-Energy Buildings) en equipamientos públicos realizador durante 2015 por el Área Metropolitana de Barcelona, se considera imprescindible hacer un salto de escala en los planeamientos de rehabilitación NZEB.

El presente proyecto pretende avanzar hacia un diseño de estrategias integrales basadas no únicamente en un solo edificio, sino en la totalidad de los tejidos urbanos de las ciudades o barrios metropolitanos. Este primer estudio se centra en el municipio de Badia del Vallès, que tiene como objetivo principal la reducción del consumo energético del parque edificado de la ciudad y así, transformar los edificios existentes a edificios de estándar NZEB mediante:

- Reducción de la demanda energética
- Reducción del consumo de energía primaria no renovable
- Reducción de las emisiones de CO_2eq

Así mismo, el objetivo de transformar Badia del Vallès en una ciudad NZEB, tiene asociado otros valores importantes que deben considerarse como objetivos secundarios:

- Mejorar las condiciones de confort térmico de los usuarios
- Mejorar las condiciones de habitabilidad i salud de las viviendas (eliminación de elementos constructivos con amianto y mejora de la accesibilidad)
- Reducir la pobreza energética del municipio
- Poner en valor y visualizar la capacidad de innovación del municipio
- Luchar contra la exclusión por edad, económica o social

1. Introduction and objectives

In order to promote competitiveness, sustainability and security of energy supply, the European Commission has developed different policies and measures. In the current legislative framework, the European Directive 2010/31/EU on energy efficiency of buildings, sets the objective by 31 December 2020 that all new buildings have almost zero energy consumption. For public buildings this goal is advanced two years, to 31 December 2018.

In Spain, the building sector is one of those that consume more energy generating about two thirds of CO2 emissions, hence the importance of implementing the regulation to existing buildings in order to improve their efficiency and move forward towards a sustainable energy transition. Currently there are various European and state aid for administrations and private can carry out these rehabilitations, for example the FEDER funds of the European Commission and the IDAE's program PAREER CRECE.

Based on the NZEB (nearly Zero-Energy Buildings) rehabilitation feasibility studies carried out during 2015 by the Metropolitan Area of Barcelona, it is considered essential to make a leap of scale in NZEB rehabilitation planning.

The present project intends to advance towards a design of integral strategies based not only on a single building, but in the totality of the urban fabrics of the cities or metropolitan districts. This first study focuses on the municipality of Badia del Vallès, whose main objective is to reduce the energy consumption of the city's built-up park and thus transform existing buildings into NZEB standard buildings by:

- Reducing energy demand
- Reducing non-renewable primary energy consumption
- Reducing CO_2 emissions

Likewise, the objective of transforming Badia del Vallès into an NZEB city has associated other important values that should be considered as secondary objectives:

- Improve thermal comfort conditions
- Improve living conditions and health of homes (removal of building elements with asbestos and improved accessibility)
- Reduce municipality energy poverty
- Put in value and visualize the capacity of innovation of the municipality
- Fighting against exclusion by age, economic or social

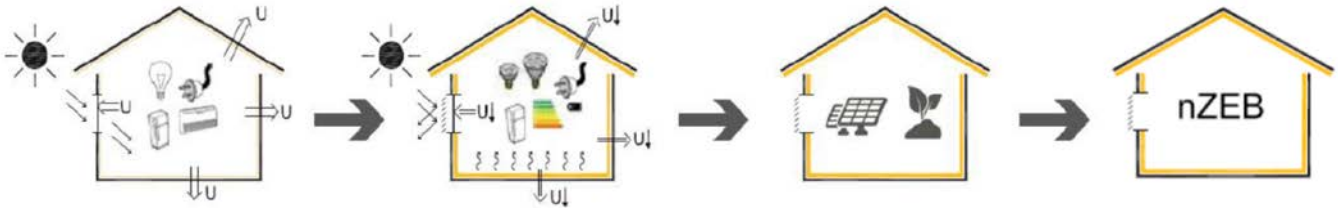


Fig. 1. Camino hacia un edificio nZEB | Fuente: Associació LIMA, AMB (2016)
Road to a NZEB building | By: Associació LIMA, AMB (2016)

2. Caracterización edificatoria y energética

2.1. Tipologías y modelos edificatorios

El parque edificado de Badia del Vallès está formado por un total de 5.372 viviendas repartidas en 177 los cuales se pueden catalogar según tres tipologías principales; el bloque Alcalà, el bloque Estrella y el bloque en H. Estas tres tipologías están estructuradas según diferentes orientaciones y alturas, generando situaciones diferentes dentro de una misma tipología.

2. Building and energy characterization

2.1. Typologies and building models

Badia del Vallès is formed by 5,372 dwellings distributed in 177 which can be classified according to three main types;Alcaà block, Estrella block and H block. These three tipologies are structured according to different orientations and heights, generating different situations within the same typology.

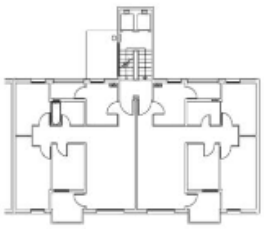
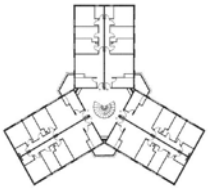
TIPOLOGÍA DE BLOQUE/ BLOCK TYPOLOGY	CARACTERÍSTICAS CHARACTERISTICS	PLANTAS FLOORS	ORIENTACIÓN FACHADA FAÇADE ORIENTATION	% RESPECTO EL TOTAL % BY THE TOTAL
  Bloque Alcalà	• 84 edificios con escalera adosada y dos viviendas por rellano • Viviendas no accesibles: ascensores a un rellano intermedio • 84 Buildings with attached stairs and two houses per landing • Non-accessible housing: lifts to an intermediate landing	• PB+8PP: 16 viviendas por bloque • PB+10PP: 21 viviendas por bloque • PB+8PP: 16 households per block • PB+10PP: 21 households per block	40º 130º 220º 310º 0º 180º	25%
  Bloque Estrella	• 48 edificios • Accesos des del núcleo central y seis viviendas por rellano • No dispone de ascensores • 48 Buildings • Accesses from the central core and six dwellings per landing • There are no lifts	• PB+4PP: 28 viviendas por bloque • PB+4PP: 28 households per block	• Una sola orientación • A single orientation	26%
  Bloque en H	• Bloques Alcalà unidos simétricamente por un núcleo de escala • 49 edificios • Alcalà blocks joined symmetrically by a scale core • 49 buildings	• PB+8PP: 16 viviendas por bloque • PB+10PP: 21 viviendas por bloque • PB+8PP: 16 households per block • PB+10PP: 21 households per block	40º/220º 130º/310º 0º/180º	39%
Otros bloques	• 34 bloques de entre 2 y 4 viviendas por planta • 34 blocks of between 2 and 4 dwellings per floor	• PB+4PP: 10 viviendas por bloque • PB+15PP: 63 viviendas por bloque • PB+15PP: 32 viviendas por bloque • PB+4PP: 10 households per block • PB+15PP: 63 households per block • PB+15PP: 32 households per block	40º/220º 130º 310º	10%

Fig. 2. Características del parque edificado de Badia del Vallès | Fuente: elaboración propia, AMB (2017)
Badia del Vallès built-up park characteristics | By: AMB (2017)

2.2. Metodología

Para evaluar los efectos de las propuestas de mejora sobre los consumos energéticos y las emisiones de CO_2eq, es necesario realizar simulaciones energéticas con programas que faciliten una aproximación el máximo de ajustada posible al comportamiento real de los edificios. Para este caso de estudio, se ha utilizado el software ***EnergyPlus*** (DOE, 2016), el cual permite modificar los perfiles de uso, la ocupación, las temperaturas de consignas de calor y frio, así como la ventilación según hábitos reales.

El modelo de trabajo ha seguido la metodología ***bottom-up***, es decir, a partir de un estudio detallado y la modelización de un número limitado de edificios reales, el estudio intenta definir el funcionamiento de un edificio medio, que sea extrapolable al conjunto de las edificaciones del municipio. Previamente se ha realizado una caracterización de las edificaciones existentes, estableciendo tipologías por usos, modelos constructivos y características del emplazamiento.

Los resultados obtenidos al simular la situación inicial se han contrastado con los datos de los consumos de energía reales de las viviendas del municipio con el fin de verificar la validez de los datos obtenidos y, el rango de ajuste entre éstos y la realidad.

2.2. Methodology

In order to evaluate the effects of the proposed improvements on energy consumption and CO-2eq emissions, it is necessary to carry out energy simulations with programs that facilitate an approximation as closely as possible to the actual behavior of buildings. For this study, the ***EnergyPlus*** software (DOE, 2016) has been used. It allows to modify the use profile, occupancy, temperature and ventilation according to actual habits.

The work model has followed the bottom-up methodology, which consist to define the operation of an average building from a detailed study and the modeling of a limited number of real buildings, and in this way, extrapolate it to the set of buildings. Previously, a characterization of the existing buildings has been made, establishing typologies by uses, construction models and characteristics of the site.

The results obtained by simulating the initial situation have been contrasted with the data of the real energy consumption of the municipal housing in order to verify the validity of the data obtained and the range of adjustment between these and reality.

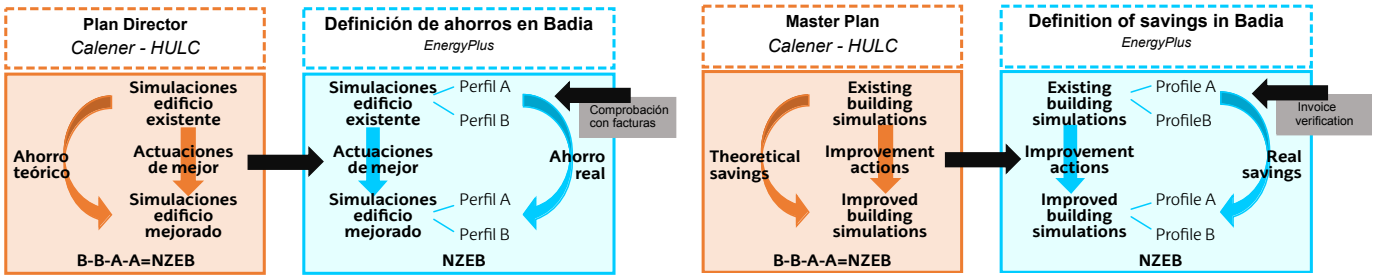


Fig. 3. Esquema del desarrollo del trabajo realizado con las herramientas HULC y EnergyPlus | Fuente: Associació LIMA, AMB (2016)
Diagram of work development done with HULC and EnergyPlus tools | By: Associació LIMA, AMB (2016)

La simulación del comportamiento de los edificios se ha realizado siguiendo los siguientes pasos:

a) Determinación de las tipologías y sistemas constructivos utilizados: búsqueda de fuentes documentales y visitas in situ alrededor de las viviendas, así como en detalle de un bloque de viviendas, incluyendo el acceso a cubierta.

b) Elaboración de un cuestionario básico y evaluación de las encuestas conducidas por el ayuntamiento de Badia del Vallès para determinar los perfiles de ocupación, la distribución de sistemas de climatización, cocina y producción de ACS. Estas encuestas se han utilizado para determinar los consumos reales según facturación.

The simulation of the behavior of buildings has been carried out by the following steps:

a) Determination of typologies and construction systems used: research for documentary sources and on-site visits around households as well as detailing a block of flats, including access to housing.

b) Elaboration of a basic questionnaire and evaluation of the surveys conducted by the municipality of Badia del Vallès to determine occupancy profiles, distribution of acclimatization systems, cooking and production of DHW. These surveys have been used to determine actual consumption.

c)Simulation of the initial state with the EnergyPlus software, with occupations, temperature and schedules according to the actual use of

c) Simulación del estado inicial con el programa EnergyPlus, con ocupaciones, temperaturas de consigna y horarios de acuerdo al uso real de las viviendas. Estos cálculos se han realizado según dos perfiles de uso:

- **Perfil A:** ocupación permanente, principalmente concebida como vivienda de gente mayor y/o familias con al menos un adulto sin ocupación laboral externa.
- **Perfil B:** ocupación intermitente, concebida como vivienda en la cual durante algunas horas al día no hay nadie debido a una ocupación laboral externa.

d) Verificación de los datos de consumo simulados, según el punto c) con los datos de consumo reales facturados. Para poder hacer esta comparación se ha diferenciado la fuente energética de calentamiento de la vivienda y se ha restado un valor habitual para otros usos como pueden ser la cocción de alimentos o el ACS, satisfechos con el mismo recurso energético.

e) Simulación de los edificios existentes con el programa oficial HULC y definición de la combinación de medidas de mejora a aplicar para conseguir el objetivo B-B-A-A.

f) Simulación del estado final del edificio, una vez aplicadas las medidas de mejora establecidas en el apartado anterior para obtener la clasificación B-B-A-A, con el programa EnergyPlus. Cálculo de los consumos finales y determinación del ahorro ambiental y económico.

g) Determinación de los sistemas de energías renovables a instalar en función de la superficie de cubierta disponible para la instalación de captadores solares térmicos y módulos fotovoltaicos.

h) Cálculo de la reducción de los consumos de energía primaria y emisiones de CO_2 eq asociadas.

dwellings. These calculations were made according to two usage profiles:

- **Profile A:** permanent occupation, mainly conceived as housing for elderly people and/or families with at least one adult without external employment.
- **Profile B:** intermittent occupation, mainly conceived as housing in which for some hours a day there is nobody because of an external occupation.

d) Verification of the simulated consumption data, according to c) with the actual consumption data invoiced. In order to make this comparison the energy source of heating has been differentiated and a usual value has been subtracted for other uses such as cooking food or DHW, satisfied with the same energy resource.

e) Simulation of existing buildings with the official HULC software and definition of the combination of improvement measures to be applied to achieve objective B-B-A-A.

f) Simulation of the final state of the building, once the improvement measures established in the previous section have been applied to obtain the classification B-B-A-A, with the EnergyPlus software. Calculation of final consumption and determination of environmental and economic savings.

g) Determination of the renewable energy systems to be installed depending on the cover surface available for the installation of solar thermal collectors and photovoltaic modules.

h) Calculation of the reduction of primary energy consumption and CO_2 emissions associated.

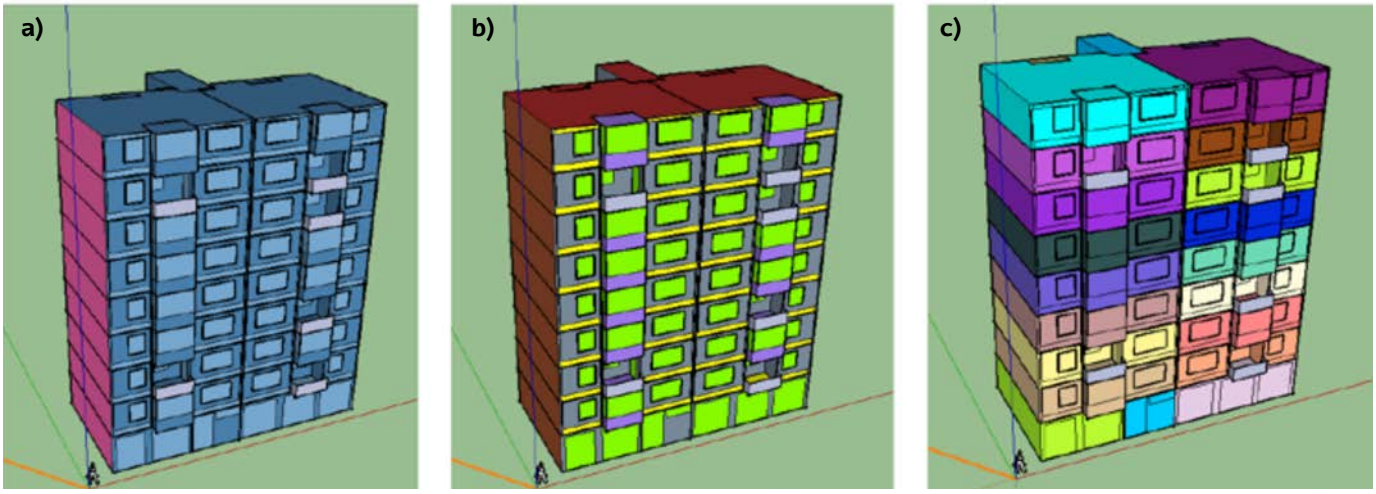


Fig. 4. Simulación realizada con EnergyPlus sobre la tipología de bloque Alcalà. a) Condiciones de contorno, b) Materiales, c) Zonas térmicas | Fuente: Associació LIMA, AMB (2016)
Simulation on Alcalà block by EnergyPlus. a) Boundary conditions, b) Materials, c) Thermal zones | By: Associació LIMA, AMB (2016)

3. Propuestas de actuación

Para transformar un conjunto residencial de los años 70 en un conjunto de edificios nZEB, es necesario aplicar una estrategia global que incluya todas las opciones de mejora energética disponibles. El presente estudio muestra la necesidad de actuar sobre la demanda, mejorando las prestaciones de la envolvente e incorporando sistemas de generación de energías renovables tanto solar-térmica como fotovoltaica.

Por lo contario, la mejora de los rendimientos de las instalaciones, en especial el cambio de calderas convencionales a otras de condensación, solo resulta significativo en el caso de tener demandas altas, perdiendo su potencial de ahorro una vez la demanda se ve reducida. En este sentido, los posibles incentivos para la compra de equipos de mayor eficiencia deberían reservarse para la sustitución de equipos obsoletos una vez acabada su vida útil.

Tomar medidas de reducción de la demanda de ventilación mediante la recuperación de calor en edificios residenciales solo tiene sentido en situaciones de clima muy fríos, no resultando de utilidad en el presente caso de estudio. De acuerdo a estas consideraciones, las actuaciones propuestas incluyen los siguientes aspectos:

1. Mejora de la envolvente térmica: aislamiento exterior de fachadas y cubiertas, y substitución de las ventanas y sistematización de las protecciones solares.

2. Incorporación de producción solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria (ACS).

3. Incorporación de producción eléctrica fotovoltaica.

4. Estudio económico-financero

La actuación de rehabilitación energética para alcanzar el objetivo nZEB teniendo en cuenta las intervenciones de mejoras necesarias, requiere una inversión aproximada de 11.000 € por vivienda, que representa una inversión de 59,4 millones de euros para la totalidad del conjunto de viviendas del municipio de Badia del Vallès. Tabla 1.

La rehabilitación energética del parque edificado también produce impactos económicos indirectos, sociales y ambientales los cuales también es importante tener en consideración. En estos se incluyen la mitigación de la pobreza energética que a la vez, permite una mejora de la salud de las personas, y la mejora ambiental del entorno derivada de la intervención arquitectónica y del uso de energías renovables.

Para el estudio se ha considerado la inversión total según tipología de edificio teniendo en cuenta 3 es-

3. Action proposals

To transform a residential complex from the 1970s into a set of nZEB buildings, it is necessary to implement a comprehensive strategy that includes all available energy improvement options. The present study shows the need to act on demand, improving the performance of the envelope and incorporating systems for the generation of renewable energies.

On the other hand, the improvement of the installations yield, especially the change from conventional boilers to condensing boilers, is only significant in the case of having high demands, losing its potential of saving once the demand is reduced. In this way, the possible incentives for the purchase of higher efficiency equipment should be reserved for the replacement of obsolete equipment after the end of its useful life.

Taking measures to reduce the demand for ventilation by recovering heat in residential buildings only makes sense in very cold weather situations, not being useful in the present case study. According to these considerations, the proposed actions include the following aspects:

1. Improvement of thermal envelope: external insulation of façades and roofs, and replacement of windows and systematization of solar protections.

2. Incorporation of solar thermal production for domestic hot water (DHW) production.

3. Incorporation of photovoltaic electricity production.

4. Economic and financial study

taking into account the necessary improvements to achieve the nZEB objective it requires an investment of approximately 11,000 EUR per dwelling, which means a total investment of 59.4 EUR millions for Badia del Vallès built-up park. Table 1.

The energetic rehabilitation of built-up park also has economic, social and environmental indirect impacts which it is also important to take into consideration. These include mitigation of energy poverty, which at the same time, allows an improvement of people health, as well as the environmental improvement derived from the architectural intervention and the use of renewable energies.

For this study, the total investment was considered according to the type of building taking into account 3 scenarios of profitability and returns: 0%, 25% and 50% of public subsidy.

cenarios de rendibilidad y retornos: 0%, 25 % y 50% de subvención pública.

Tal y como se observa en la tabla 2 (página siguiente), la rendibilidad de la inversión es realmente baja, llegando a valores de TIR negativos en la mayoría de casos. Para obtener una TIR a 30 años razonable y con pay-backs de menos de 20 años, sería necesario disponer de más de un 70% de ayudas económicas.

Para hacer más viable la ejecución del estudio, este contempla la posibilidad de financiación privada mediante el análisis de 51 entidades. También se considera la posibilidad de financiación pública a partir de fondos europeos (FEDER, PLA JUNCKER), estatales (PAREER, PLAN VIVIENDA), autonómicos (ICAEN, Secretaria Habitatge) y locales.

As shown in the table 2 (next page), the return on investment is really low, reaching negative IRR values in most cases. To obtain a reasonable 30-year IRR and pay-backs of less than 20 years, it would be necessary to have more than 70% of economic aid.

To make the execution of the study more viable, it contemplates the possibility of private financing through the analysis of 51 entities. The possibility of public funding from European funds (FEDER, PLA JUNCKER), state (PAREER, HOUSING PLAN), autonomous (ICAEN, Secretariat Habitatge) and local funds is also considered.

Tabla1. Inversión y retorno de la rehabilitación energética según vivienda y tipología de bloque
Investment and return of energy rehabilitation according to housing and block type

	BLOQUE ALCALÀ ALCALÀ BLOCK	BLOQUE ESTRELLA ESTRELLA BLOCK	BLOQUE H H BLOCK	OTROS OTHERS	INVERSIÓN TOTAL (MILES DE €) TOTAL INVESTMENT (EUR MILES)
Aislamiento exterior de fachada y ventanas. Exterior insulation of facade and windows					
Inversión (€/vivienda) Investment (EUR/household)	8.910,31	7.420,95	8.574,26	8.910,31	45.088,0
Ahorro de consumo (%) Consumption savings	40,17	48,31	40,35	40,05	
ACS solar - térmica. DHW solar - thermal					
Inversión (€/vivienda) Investment (EUR/household)	2.412,44	2.178,32	2.155,83	2.412,44	12.095,4
Ahorro de consumo (%) Consumption savings	27,85	24,60	27,57	29,35	
Fotovoltaica. Photovoltaic					
Inversión (€/vivienda) Investment (EUR/household)	453,75	453,82	340,72	453,75	2.200,5
Ahorro de consumo (%) Consumption savings	7,06	4,24	3,52	5,07	
Total nZEB. Total nZEB					
Inversión (€/vivienda) Investment (EUR/household)	11.776,50	10.053,09	11.070,81	11.776,50	59.383,8
Ahorro de consumo (%) Consumption savings	75,08	77,15	71,43	74,46	

Fuente: elaboración propia, AMB (2017)

Tabla 2. Escenarios de rendibilidad y retorno de inversiones globales para alcanzar los objetivos nZEB en función de los diferentes escenarios de subvención pública | Fuente: elaboración propia, AMB (2017)
Scenarios of profitability and return of global investments to achieve the objectives nZEB according to the different scenarios of public subsidy | By: AMB (2017)

	BLOQUE ALCALÁ ALCALÁ BLOCK	BLOQUE ESTRELLA ESTRELLA BLOCK	BLOQUE EN H H BLOCK	OTROS OTHERS	TOTAL	MEDIA SEGÚN TIPOLOGÍA AVERAGE ACCORDING TO TYPOLOGY
Con 0% subvención pública. 0% of public subsidy						
Inversión. (€/vivienda) Investment. (EUR/household)	11.776,50	10.053,09	1.070,81	11.776,50		11.054,32
TIR / IRR 15 años	-10,14%	-8,38%	-9,74%	-10,69%		-9,61%
TIR/ IRR 20 años	-5,00%	-3,53%	-4,67%	-5,46%		-4,55%
TIR/ IRR 30 años	-0,32%	0,82%	-0,06%	-0,66%		0,03%
Pay-Back (años) Pay-Back (years)	31	28	30	32		**30**
Inversión total. (miles €) Total investment (EUR miles)	**15.780,5**	**3.993,9**	**23.226,6**	**6.382,9**	**59.383,8**	

	BLOQUE ALCALÁ ALCALÁ BLOCK	BLOQUE ESTRELLA ESTRELLA BLOCK	BLOQUE EN H H BLOCK	OTROS OTHERS	TOTAL	MEDIA SEGÚN TIPOLOGÍA AVERAGE ACCORDING TO TYPOLOGY
Con 25% subvención pública. 25% of public subsidy						
Inversión. (€/vivienda) Investment. (EUR/household)	11.776,50	10.053,09	1.070,81	11.776,50		11.054,32
Subvención. (€/vivienda) Subsidy. (EUR/household)	2.944,13	2.513,27	2.767,70	2.944,13		2.763,58
Inversión neta. (€/vivienda) Net investment (EUR/household)	8.832,38	7.539,82	8.303,11	8.832,38		8.290,74
TIR / IRR 15 años/years	-7,44%	-5,53%	-7,01%	-8,03%		-6,86%
TIR/ IRR 20 años/years	-2,74%	-1,14%	-2,38%	-3,24%		-2,26%
TIR/ IRR 30 años/years	1,42%	2,67%	1,70%	1,04%		1,80%
Pay-Back (años) Pay-Back (years)	26	23	25	27		**25**
Inversión total. (miles €) Total investment (EUR miles)	15.780,5	3.993,9	23.226,6	6.382,9	59.383,8	
Subvención total. (miles €) Total subsidy. (EUR miles)	3.945,1	3.498,5	5.806,6	1.595,7	14.846,0	
Inversión neta total (miles €) Total net investment (EUR miles)	**11.835,4**	**10.495,4**	**17.419,9**	**4.787,1**	**44.537,9**	

	BLOQUE ALCALÁ ALCALÁ BLOCK	BLOQUE ESTRELLA ESTRELLA BLOCK	BLOQUE EN H H BLOCK	OTROS OTHERS	TOTAL	MEDIA SEGÚN TIPOLOGÍA AVERAGE ACCORDING TO TYPOLOGY
Con 50% subvención pública. 50% of public subsidy						
Inversión. (€/vivienda) Investment. (EUR/household)	11.776,50	10.053,09	1.070,81	11.776,50		11.054,32
Subvención. (€/vivienda) Subsidy. (EUR/household)	5.888,25	5.026,55	5.535,41	5.888,25		5.527,16
Inversión neta. (€/vivienda) Net investment (EUR/household)	5.888,25	5.026,55	5.535,41	5.888,25		5.527,16
TIR / IRR 15 años /years	-3,23%	-1,06%	-2,75%	-3,90%		-2,58%
TIR/ IRR 20 años /years	0,79%	2,63%	1,20%	0,23%		1,35%
TIR/ IRR 30 años/years	4,18%	5,65%	4,51%	3,74%		4,62%
Pay-Back (años) Pay-Back (years)	19	17	19	20		**18**
Inversión total. (miles €) Total investment (EUR miles)	15.780,5	3.993,9	23.226,6	6.382,9	59.383,8	
Subvención total. (miles €) Total subsidy. (EUR miles)	7.890,3	6.997,0	11.613,3	3.191,4	29.691,9	
Inversión neta total (miles €) Total net investment (EUR miles)	**7.890,3**	**6.997,0**	**11.613,3**	**3.191,4**	**29.691,9**	

Resultados y conclusiones

Con la realización de las actuaciones se conseguiría una reducción del 68% de la demanda de calefacción, del 8% de la demanda de refrigeración, del 75% del consumo de energía primaria y del 74% de las emisiones de CO_2 eq. Para el municipio de Badia del Vallès esto implicaría un ahorro de 23 GWh/año y de 4.200 tCO_2eq/año. (Tabla 3)

Con la caracterización del parque edificado se ha podido observar que las viviendas tienen demandas y consumos energéticos bajos, inferiores a los previstos según la tipología y época de construcción. En este caso, los bajos valores iniciales de consumo hacen que la intervención para alcanzar los objetivos nZEB produzca pay-backs de 40-50 años, hecho que requerirá subvenciones públicas superiores al 75%. Por lo tanto, este modelo puede ser viable de forma puntual, para intervenciones poco numerosas, pero no puede ser aplicado a un conjunto de viviendas con consumos, situaciones y clima similares a Catalunya. Aun así, el estudio tiene una alta replicabilidad, sobre todo en aquellos edificios dónde el consumo energético inicial es alto ya que la rehabilitación energética nZEB puede financiarse con el ahorro conseguido gracias a la intervención.

La actuación puntual en aquellos edificios que tienen más carencias, resultaría viable económicamente para el municipio de Badia del Vallès. Además permitiría mejorar las condiciones de confort de parte de su población, la habitabilidad y salud de las viviendas, permitiría reducir la pobreza energética del municipio y poner en valor su capacidad de innovación, así como luchar contra la exclusión.

Results and conclusions

with the realization of the actions would achieve a reduction of 68% in heating demand, 8% of cooling demand, 75% of primary energy consumption and 74% of CO_2 emissions. For the municipality of Badia del Vallès this would imply a saving of 23 GWh/year and of 4,200 tCO_2eq/year. (Table 3)

With the built-up park characterization, it has been observed that the houses have low demands and energy consumption, lower than those expected according to the typology and construction period. In this case, the low initial consumption values make the intervention to achieve the nZEB objectives produced pay-backs of 40-50 years, which will require public subsidies higher than 75%. Therefore, this model may be feasible in a timely manner for small interventions, but cannot be applied to a set of housing with consumption, situations and climate similar to Catalonia. Even so, the study has a high replicability, especially in those buildings where the initial energy consumption is high.

The punctual performance in those buildings that have more deficiencies, would be economically feasible for the municipality of Badia del Vallès. Moreover, it would improve comfort conditions of part of its population, the habitability and household health, as well as it would allow to reduce the energy poverty of the municipality and to put in value its capacity of innovation, at the same time that fight against the exclusion.

Tabla 3. Resultados comparativos medios entre el estado actual y el estado mejorado de los edificios de Badia del Vallès. Average comparative results between the present state and the improved state of the buildings of Badia del Vallès

	Demanda (kWh/m²·a) Demand (kWh/m²·a)		Enrgia primaria (kWh/m²·a) Primary energy (kWh/m²·year)	Emisiones CO_2 eq ($kgCO_2eq/m^2·a$) CO_2 emissions ($kgCO_2eq/m^2·year$)
Perfil de uso A Use profile A	Calefacción Calefaction	Refrigeración Refrigeration		
Estado actual Actual state	31,7	6,3	77,1	14,1
Estado mejorado Improved state	10,1	5,8	19,5	3,7
% de mejora % of improvement	68,14%	7,95%	74,71%	73,76%

Fuente: elaboración propia, AMB (2017)

Evaluación energética de un distrito de Amberes a partir de los datos catastrales del municipio

Energetic assessment of an Antwerp district based on the cadastral data of the municipality

Xabat Oregi[1], Nekane Hermoso[2], Iñaki Prieto[1], Lara Mabe[1], Jose Luis Izkara[1]

ABSTRACT

The 28 Member States of the European Union have set an energy saving target of 20% by 2020, which will need to be reached mainly through energy efficiency measures. In order to support the energy transition of Europe towards a low carbon economy, municipalities have a key role to play. However, due to the existing limitations, many municipalities lack of tools or applications that allow them to evaluate the available data and obtain an energetic general vision of the city.

Nevertheless, with more or less semantic information, all the municipalities have a tool that allows to register different information of the existing properties: the cadaster. This register or tool allows to classify the information in different groups, defining features as the age, geolocation, use, year of refurbishment, surfaces, etc. of each building of the municipalities.

With the objective of using the most of this cadastral information and allowing municipalities to carry out energy studies of their existing building stock, this article will describe the proposal that is being developed in the PlanHeat project. PlanHeat will develop an integrated, easy-to-use and open source tool which will support local authorities in selecting, simulating and comparing alternative low carbon and economically sustainable scenarios for heating and cooling.

This paper will focus on showing the characteristics of one sub-module of the Mapping Module, which map and quantify (current and future hourly H&C demand per each building: the District Mapping Module (DMM). The DMM will be a module that based on the basic cartography and the information available in the municipal cadaster, the degree day values provided by PlanHeat, a new internal database and a new algorithm, will automatically obtain different energy information on each of the buildings that form up that district.

This DMM has been applied and validated in the historical district of Antwerp, allowing the analysis of a group of buildings and the possibility of evaluating the energy performance of their buildings based on their cadastral data. The tool will display the results in 2 different formats. On the one hand, the first of the two possible formats has the objective of evaluate the energy performance of each building. On the other hand, along with this individualized information per building, this tool allows to obtain total energy information of the district or classified by building typology. During this exercise, this classification was made based on the year of construction of the buildings and their use.

In this case study, due to aspects such as the Antwerp climate or the thermal performance of the building envelope of the old buildings located in the historic district, the results show that 86% of the thermal energy demand of this district is related to the heating demand. In addition, the result highlight that the heating demand of more than 30% of the constructed area is greater than 100 kWh/m^2, highlighting its inefficient energy performance and the need to improve its Energy performance based on different strategies.

Key Words: Catastro, evaluación energética, municipalidad, proceso de datos. cadaster, energetic assessment, municipality, data process.

(1) Tecnalia Research & Innovation, Area Anardi 5, Azpeitia, Spain. (2) University of the Basque Country, Department of Nuclear . engineering and fluid mechanics, Spain. +34 688645028, xabat.oregi@tecnalia.com

1. Introducción

La seguridad energética y el cambio climático están impulsando un futuro que requerirá mejoras significativas en el rendimiento energético del sector de la construcción. Los 28 estados miembros de la Unión Europea (UE) han establecido un objetivo de ahorro energético del 20% para 2020, que deberá alcanzarse principalmente a través de medidas de eficiencia energética [1]. La UE también se ha comprometido a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 80-95% para 2050 [2], como parte de su hoja de ruta para pasar a una economía baja en carbono competitiva en 2050. Los edificios son uno de los mayores sectores consumidores de energía del mundo, representando casi el 30% del consumo final mundial de energía y alcanzando el 40% en la Unión Europea (UE) [3]. Las municipalidades desempeñan un papel clave en la transición energética de Europa hacia una economía baja en carbono. Por ejemplo, miles de autoridades locales y regionales pusieron en marcha el Pacto de Alcaldes para el Clima y la Energía [4], en el que se comprometen, de manera voluntaria, a aplicar los objetivos de la UE en materia de clima y energía en su territorio. Otras ciudades concentraron su esfuerzo en definir nuevas estrategias energéticas sostenibles o desarrollar nuevas regulaciones energéticas. Es decir, la inquietud y la sensibilidad existen y forma parte del día a día de los diferentes actores públicos.

Sin embargo, debido a las limitaciones existentes, muchas municipalidades carecen de herramientas o aplicaciones que les permitan evaluar los datos que disponen actualmente y de esa forma, poder obtener una visión energética global de su ciudad. Son muy pocas las municipales que monitorizan y gestionan toda la información energética de su ciudad o distrito mediante herramientas GIS (Geographic Information System) o plataformas abiertas. No obstante, con mayor o menor información semántica, todos los municipios disponen de una herramienta que permite registrar diferente información de los inmuebles existentes: el catastro. Este registro o herramienta permite clasificar la información en diferentes grupos, llegando a definir aspectos como la edad, geolocalización, uso, año de rehabilitación, superficies, número de residentes, tipología edificatoria, etc. de cada Edificio de cada municipio.

Con el objetivo de aprovechar al máximo esta información catastral y permitir a los ayuntamientos llevar a cabo estudios energéticos de su parque edificatorio existente, durante este artículo se describirá la propuesta que se está desarrollando en el proyecto PlanHeat [5]. Para ello, en base a un caso de estudio de la ciudad de Amberes, el artículo mostrará la estructura general de la herramienta, definirá su metodología de cálculo y mostrará los diferentes resultados obtenidos.

1. Introduction

Energy security and climate change are driving a future that will require significant improvements in the energy performance of the building sector. The 28 Member States of the European Union (EU) have set an energy saving target of 20% by 2020, which will need to be reached mainly through energy efficiency measures [1]. The EU has also committed to reduce greenhouse gas (GHG) emissions by 80–95% by 2050, as part of its roadmap for moving to a competitive low-carbon economy in 2050 [2]. Buildings are one of the world's largest energy-consuming sectors, accounting for nearly 30% of the final global energy consumption and reaching 40% in the European Union (EU) [3]. In order to support the energy transition of Europe towards a low carbon economy, municipalities have a key role to play. For example, thousands of local and regional authorities launched the Covenant of Mayors for Climate & Energy [4], which brings a voluntarily committed to implementing EU climate and energy objectives on their territory. Other cities focused their effort defining new sustainable energy strategies or developing new energy regulations. That is, the restlessness and sensitivity exist and is part of the day to day of the different public actors.

However, due to the existing limitations, many municipalities lack of tools or applications that allow them to evaluate the available data and obtain an energetic general vision of the city. Very few municipalities monitor and manage all energy information of their cities or district using GIS (Geographic Information System) tools or open platforms. Nevertheless, with more or less semantic information, all the municipalities have a tool that allows to register different information of the existing properties: the cadaster. This register or tool allows to classify the information in different groups, defining features as the age, geolocation, use, year of refurbishment, surfaces, number of residents, building typology, etc. of each building of the municipalities.

With the objective of using the most of this cadastral information and allowing municipalities to carry out energy studies of their existing building stock, this article will describe the proposal that is being developed in the PlanHeat project [5]. To do this, based on a case study of the city of Antwerp, the article will show the general structure of the tool, define its calculation methodology and show the different results obtained

2. Calculation methodology and hypothesis

PLANHEAT will develop an integrated, easy-to-use and open source tool which will support local authorities in selecting, simulating and comparing alternative low carbon and economically sus-

2. Metodología de cálculo e hipótesis

PLANHEAT desarrollará una herramienta integrada, de fácil utilización y de código abierto que permitirá a las autoridades locales seleccionar, simular y comparar diferentes escenarios bajos en carbono y económicamente sostenibles para calefacción y refrigeración. La herramienta integrada PLANHEAT estará diseñada para dar soporte a las municipalidades en 1) localizar el potencial de las fuentes de energía bajas en carbono disponibles localmente, 2) analizar la demanda actual y futura de calefacción y refrigeración, 3) definir y simular escenarios alternativos de abastecimiento, 4) comprender las interacciones de estos escenarios con las redes e infraestructura existentes, 5) identificar el potencial de la ampliación y mejora de las redes de calefacción y refrigeración de distrito y 6) evaluar los beneficios en términos energéticos, económicos y ambientales

La herramienta PLANHEAT estará articulada como una plataforma que permitirá la interconexión entre 3 módulos de código abierto: Un módulo de mapeo (a escala de ciudad y de distrito), un módulo de planificación y un módulo de simulador. Este paper se centrará en mostrar las características de un submódulo del módulo de mapeo, que cuantifica la demanda horaria de calefacción y refrigeración, actual y futura, de cada uno de los edificios: El District Mapping Module - DMM.

El DMM será un módulo que en base a la cartografía básica y datos catastrales disponibles, la información ambiental generada durante el proyecto (NOA module), una nueva base de datos interna y un nuevo algoritmo, permitirá obtener de forma automática diferente información energética sobre cada uno de los edificios que componen ese distrito. El DMM va a ser un pluging de QGIS. A continuación, la Figure 2 muestra el esquema general del District Mapping Module, donde se puede destacar 3 elementos principales: datos de entrada ("input data"), el nuevo algoritmo interno ("internal algorithm") y los datos de salida ("output data").

2.1 Datos de entrada

Los datos de entrada requeridos para el DMM se basan en diferentes fuentes de información: Por un lado, la información relacionada con los datos cartográficos y catastrales y, por otro, la información proporcionada por el módulo NOA (Observatorio Nacional de Atenas).

Respecto a las fuentes de datos que contienen la información catastral y cartográfica, estás son fuentes de las que debe disponer la municipalidad para poder comenzar con el proceso descrito en la Figura 2. El grado de precisión de los resultados proporcionados por el DMM dependerá en gran medida del nivel de detalle y la veracidad de la información contenida

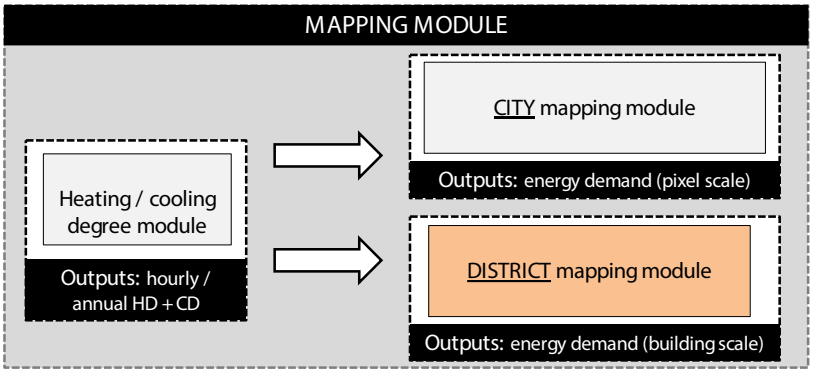


Figure 1 General scheme of the Mapping Module of Planheat - Esquema general del Mapping Module de Planheat

tainable scenarios for heating and cooling. The PLANHEAT integrated tool will be designed to support municipalities in 1) mapping the potential of locally available low carbon energy sources, 2) mapping the current and future demand for heating and cooling (H&C), 3) defining and simulating alternative supply scenarios, 4) understanding the interactions of these scenarios with the existing infrastructures and networks, 5) identifying potential for further extension and upgrade of district heating and cooling networks and 6) evaluating the benefits in terms of energetic, economic and environmental performance indicators.

The PLANHEAT tool will be articulated as a platform that will allow the interconnections among 3 open source modules: a Mapping Module (at city and district scale), a Planning Module and a Simulator Module. This paper will focus on showing the characteristics of one sub-module of the Mapping Module, which map and quantify (current and future hourly H&C demand per each building: the District Mapping Module (DMM) (see figure 1).

The DMM will be a module that, based on the basic cartography and the information available in the municipal cadaster, the environmental information generated during the project (NOA module), a new internal database and a new algorithm, will automatically obtain different energy information on each of the buildings that form up that district. The DDM is going to be a QGIS plugging. The Figure 2 shows the general outline of the District Mapping Module, where 3 main elements can be highlighted: input data, the new internal algorithm and the output data.

2.1. Input data

The input data required for the DMM are based on different information sources: On the one hand the information related to the cartography and cadaster data, and on the other hand the information provided by the NOA (National Observatory of Athens) module.

Regarding the data sources that contain the cadastral and cartographic information, these

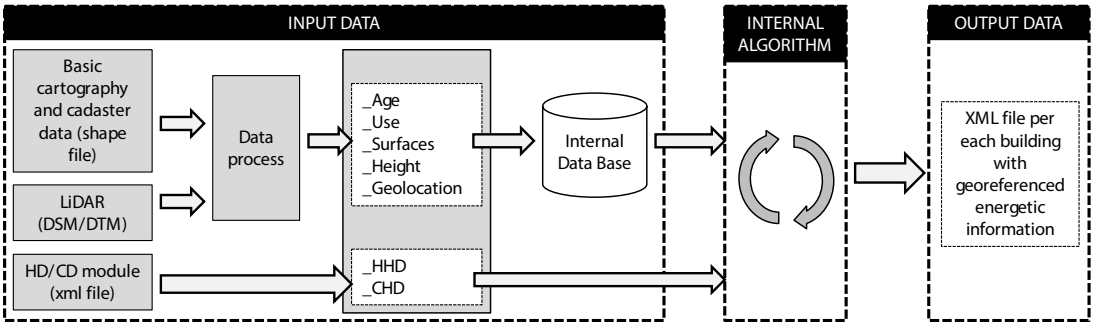


Figure 2 Scheme of the calculation process of the District Mapping Module – Esquema del proceso de cálculo del District Mapping Module

en estas fuentes. Si las fuentes de datos proporcionan información a escala bloque de edificios y dicha información ha sido recogida hace 5 años, los resultados del proceso serán mucho menos fiables que si la información disponible se presenta a nivel de edificio y con datos actualizados recientemente. Para conseguir unos niveles de detalle y fiabilidad elevados para la información de entrada es recomendable realizar un proceso de adecuación, limpieza y organización de los datos de entrada. El objetivo de este proceso es disponer de geometría detallada a nivel de edificio y la mayor cantidad de información semántica asociada a dicha geometría. Es muy habitual también que sea necesario combinar diferentes fuentes de información para disponer de una fuente de datos detallada y generalmente las fuentes de datos no están enlazadas. Las fuentes de datos catastral y cartográfica proporcionan información en 2D sobre elementos reales que son en 3D (edificios). La volumetría de los edificios es una información relevante para los cálculos del proceso del DMM. Esta información puede encontrarse contenida como atributos en la información catastral o si no puede obtenerse a partir de los modelos de elevación (DSM y DTM) junto con la cartografía de la zona.

La información recogida de las fuentes de datos proporcionados por la municipalidad debe ser procesada convenientemente para obtener la información relevante para el cálculo de la información energética de cada edificio. Estos cálculos se realizan en el módulo "Data process" de la Figura 2. La información disponible nos permite calcular los siguientes parámetros:

Geolocalización del edificio ("geolocation of the building"**):** Se obtiene a partir del centroide del polígono que representa la geometría del edificio.

Altura ("height"**):** Altura del edificio. Se puede obtener a partir de la información del número de pisos del edifico, considerando una altura media por piso. Si no se dispone de esta información se puede calcular a partir de la información contenida en los modelos de elevación junto con la planta del edificio.

Número de plantas ("number of floors"**):** A partir de la altura total del edificio considerando una altura media por piso.

data sources should be provided by the municipality in order to begin with the process described in Figure 2. The degree of accuracy of the results provided by the DMM will depend on the level of detail and veracity of the information contained in these sources. If the data sources provide information at block of buildings scale and the information has been collected 5 years ago, the results of the process will be less reliable than if the information is at building scale and has been recently updated. In order to achieve high level of detail and reliability for the input data, it is recommended to carry out a process of adaptation, cleaning and organization of the existing data. The purpose of this process is to get detailed geometry at building scale and also to get as much as possible semantic information associated with that geometry. Usually different data sources need to be combined in order to get detailed information; however, generally different data sources are not linked. Cadastral and cartographic data sources provide 2D information about real elements that are represented in 3D (such as buildings). The volume of buildings is relevant information needed in the DMM process calculations. This information can be found as a parameter in the cadastral information or, if not given, it can be obtained from the elevation models (such as DSM or DTM).

The information collected from the data sources provided by the municipality must be processed in order to get the relevant information needed for the calculation of the energy information of each building. These calculations are performed in the "Data process" module as can be seen in the Figure 2. The available information allows the calculation of the following parameters:

Geolocation of the building: It is obtained calculating the centroid of the polygon that represents the geometry of the building.

Height of the building: can be obtained from the information of the number of floors of the building, considering an average height per floor. If this information is not available, it can be calculated from the previously explained elevation models.

Área de la cubierta (roof area)**:** Se estima igual al área de la planta del edificio, asumiendo que el tejado es plano.

Superficie total (gross floor area): Se obtiene del área de la planta multiplicada por el número de pisos.

Superficie de la envolvente (envelope area): Es necesario identificar previamente cuales de las superficies del edificio son fachadas y cuales son medianeras para obtener de forma precisa el área de las fachadas. Posteriormente, se calcula el área de cada fachada a partir de la geometría de base y la altura del edificio. Finalmente es necesario agregar a nivel de edificio la superficie de todas fachadas. También es posible identificar en este proceso la orientación de las superficies envolventes del edificio, tanto para las fachadas como para las medianeras.

Como última fase de este proceso de datos (data process), esta información será relacionada con la nueva base de datos generada para el proyecto Planheat (ver Tabla 1). En este caso, mediante la información sobre la edad, uso y geolocalización, Planheat permitirá definir los siguientes parámetros que se utilizarán durante el algoritmo interno: valor de la transmitancia térmica de los elementos de la envolvente (cubierta, fachada y ventanas), porcentaje de ventana por muro (window to wall ratio), programaciones (schedules), pérdidas por ventilación (ventilation losses), ganancias internas (internal gains) y demanda del Agua Caliente Sanitaria (Domestic Hot Water).

Por otro lado, DMM también se basa en la información proporcionada por el módulo NOA (Observatorio Nacional de Atenas): Cálculo de grados hora de calefacción (HHD) y grados hora de refrigeración (CHD). Estos valores se basan en una temperatura base de calefacción de 18ºC y una temperatura base de refrigeración de 25ºC [18].

2.2. Algoritmo interno

Tras procesar toda la información, los parámetros definidos durante la sección "Input data" permitirán

Number of floors: This parameter can be inferred from the total height of the building, considering an average height per floor.

Roof Area: The same as the footprint area can be used, assuming that the roof is flat.

Gross floor area: It is obtained from the footprint area multiplied by the number of floors.

Envelope area: Prior to the calculation of the envelope area it is necessary to identify which of the surfaces of the building are facades and which ones are adjoining ones. Also the area of each facade is calculated from the base geometry and the height of the building. Finally, it is necessary to aggregate the surface of all the facades at the building level. In that process it is also possible to identify the orientation of the surrounding surfaces of the building, both for the facades and adjoining walls.

As the last phase of this data process, this information will be related to the new database generated for the Planheat project (see Table 1). In this case, using information about age, use and geolocation, Planheat will allow defining the following parameters to be used in the internal algorithm: thermal transmittance value of the envelope elements (roof, wall and window), window to wall ratio, schedules, ventilation losses, internal gains and Domestic Hot Water (DHW) demand.

On the other hand, DMM also is based on the information provided by the NOA (National Observatory of Athens) module: Heating Hourly Degrees (HHD) and Cooling Hourly Degrees (CHD). These values are based on a heating temperature base of 18ºC and a cooling temperature base of 25ºC [18]

2.2. Internal algorithm

After processing all the information, the parameters defined at the section "Input data" will allow

Table 1. Information source of the different parameters of the internal data base of the DMM. **Fuente de información de los diferentes parámetros de la base de datos interna del DMM**

INFORMATION /INFORMACIÓN	RELATION WITH OTHER PARAMETERS RELACIÓN CON OTROS PARÁMETROS	SOURCE / FUENTE
U-value	Related to the location and age of the building	EU building observatory [6], TABULA [7]
Schedules: heating, cooling, DHW (defined by 2 values: 0-OFF and 1-ON))	Related to the use of the building	Spanish Technical building Code [8], Design builder [9]
Gains: occupancy, lighting and appliances (kWh/year)	Related to the use of the building	Design builder [9]
Ventilation losses (kWh/year)	Related to the location and age of the building	Average EU building heat load for HVAC equipment [10], ARCA web site [11]
Window to wall ratio (%)	Related to the use of the building	Residential [12], Health care [13], education [14], Office [15], commerce [16], hotel [17]
DHW demand (kWh/m^2·year)	Related to the use of the building	Spanish Technical building Code [8]

llevar a cabo el cálculo energético de cada uno de los edificios y obtener los resultados necesarios. El cálculo principal del algoritmo interno se basa en las siguientes 3 ecuaciones (eq.1, e1.2 y eq.3).

to carry out the energy calculation of each building and to obtain the necessary results. The main calculation of the internal algorithm is based on the following 3 equations:

HD = (HHD * A * U – Gains + ventilation losses) * heating schedule (eq. 1)

CD = (CHD * A * U + Gains + ventilation losses) * cooling schedule (eq. 2)

DWHD = DWH demand * gross floor area * DHW schedule (eq. 3)

donde ***HD*** representa la demanda de calefacción (KWh/año), ***HHD*** los grados hora de calefacción, ***CHD*** los grados día de refrigeración, ***A*** la superficie de los diferentes elementos de cada edificio (cubierta, fachada y huecos), ***U*** la transmitancia térmica (W/m²·K) de los diferentes edificios (cubierta, fachada y huecos), ***CD*** la demanda de refrigeración (KWh/año) y ***DHWD*** la demanda de Agua Caliente Sanitaria - ACS (KWh/año).

where ***HD*** represents the heating demand (kWh/year)., ***HHD*** the Heating Hourly Degree, ***CHD*** the Cooling Hourly Degree, ***A*** the surface (m²) of the different elements of each building (roof, façade and openings), ***U*** the thermal transmittance (W/m²·k) of the different elements of each building (U-value), ***CD*** the cooling demand (kWh/year) and ***DWHD*** the domestic hot water demand (kWh/year).

2.3. Datos de salida

Junto con estas ecuaciones, la información gestionada durante el proceso de cálculo permitirá obtener numeroso tipos de resultados por cada uno de los edificios evaluados (ver tabla 2). Cabe destacar que la salida del DMM será un "xml" con información georreferenciada.

2.3. Output data

With these equations, the information managed during the calculation process must obtain numerous types of results for each of the evaluated buildings (see Table 2). Highlight that the output from the DMM will be an "xml" with georeferenced information.

Table 2. Outputs of the District Mapping Module. **Datos de salida del District Mapping Module**

PARAMETER - PARAMETRO	UNIT - UNIDAD	PARAMETER - PARAMETRO	UNIT - UNIDAD
ID		Maximum heating demand/Demanda de calefacción máxima	kW
Geolocalization/Geolocalización	Centroid	Maximum cooling demand/Demanda de refrigeración máxima	kW
Annual heating demand/Demanda de calefacción anual	kWh/year	Maximum DHW Water demand Demanda de ACS máxima	kW
	kWh/(m²·year)	Use/Uso	
Annual cooling demand/Demanda de refrigeración anual	kWh/year	Construction year/Año de construcción	
	kWh/(m²·year)	Gross Floor area/Superficie construida	m²
Annual DHW demand/Demanda de ACS anual	kWh/year	Volume/Volumen	m³
	kWh/(m²·year)	Footprint/Superficie planta	m²
Hourly heating demand/Demanda de calefacción horaria	kW	Facade Area/Superficie de fachada	m²
Hourly cooling demand/Demanda de refrigeración horaria	kW	Window area/Superficie de ventanas	m²
Hourly DHW demand/Demanda de ACS horaria	kW	Nº of floors/Número de plantas	

3. Descripción del caso de estudio

Esta metodología ha sido aplicada y validada en el distrito histórico de Amberes, permitiendo así llevar a cabo el análisis de un conjunto de edificios y ofrecer a la municipalidad de Amberes la posibilidad de evaluar el comportamiento energético de sus edificios en base a sus datos catastrales.

3. Description of the case study

This methodology has been applied and validated in the historical district of Antwerp, allowing the analysis of a group of buildings and the possibility of evaluating the energy performance of their buildings based on their cadastral data.

Amberes es una ciudad de Bélgica, capital de la provincia de Amberes en la región de Flandes. Con una población de 517,042 es la ciudad más poblada de Bélgica. Su área metropolitana alberga alrededor de 1,200,000 personas, que es la segunda por detrás de Bruselas. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen [19], el clima de Amberes es un clima oceánico (Cfb), es decir, un clima con veranos frescos e inviernos frescos (pero no fríos) y con un rango de temperatura anual relativamente estrecho. La temperatura media anual es de 10.6 ºC. En verano, la temperatura media diaria es inferior a 17,8 ºC, por lo que los sistemas de refrigeración son generalmente innecesarios, sobre todo si se aplican medidas como el sombreado solar o el enfriamiento nocturno. Con una temperatura base de 18ºC (calefacción) y 25ºC (refrigeración), los grados día de calefacción y refrigeración son 2398 y 0 respectivamente.

En el caso de Amberes (al igual que ocurre con el catastro de España), se dispone de información a dos escalas: parcelas y unidades constructivas. Las parcelas contienen la geometría de toda la parcela (dentro de la cual pueden existir varios edificios) y conteniendo información semántica como: año de construcción, uso principal o número de plantas. Por otro lado, las unidades constructivas permiten disponer de una geometría más detallada y cercana al del edificio; pero de la que se dispone de poca/ninguna información semántica. Esto hace necesario el preprocesado de esta información con el objetivo de adecuar la geometría (seleccionando la más realista y detallada, la de las unidades constructivas); realizar una limpieza de datos (desechando los datos no relevantes) y organizar los datos (uniendo la información semántica de las dos escalas en una).

El preprocesado se realiza utilizando una herramienta GIS de escritorio en la que se realizan varios geo-procesos. La siguiente imagen detalla el proceso realizado. El polígono en azul representa la parcela (la cual tiene la mayor información semántica) y los polígonos en rojo los edificios (de la que nos interesa la geometría) dentro de esa parcela. El primer paso consiste en seleccionar la capa de edificios y obtener un punto centroide de cada uno de ellos, este punto incluye la información semántica del edificio. Después se realiza la intersección de la capa de centroides del edificio con la capa de parcelas, obteniendo así una capa de puntos (centroides) en la que para cada punto tendremos la información semántica del edificio y también la de la parcela con la que se ha intersecado. Una vez que tenemos esto, se realiza la unión de la información semántica de estos puntos con la capa de edificios. Obteniendo así la mayor cantidad de información semántica a escala edificio. Este proceso se ha realizado para todas las parcelas y edificios de una zona de estudio de Amberes.

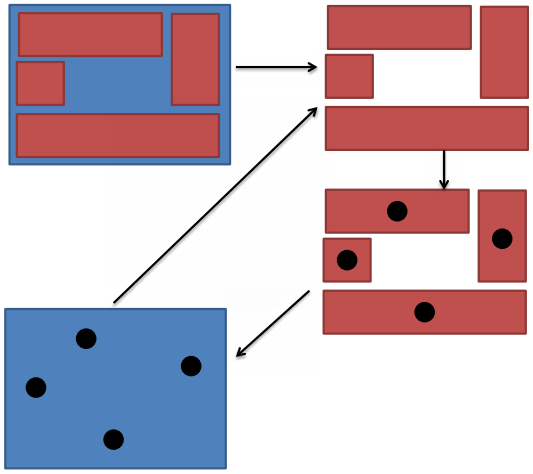


Fig. 3 Preprocesamiento realizado para la definición de la fuente de los datos de entrada.
The preprocessing performed for input data sources.

Antwerp is a city in Belgium, the capital of Antwerp province in the region of Flanders. With a population of 517,042 it is the most populous city proper in Belgium. Its metropolitan area houses around 1,200,000 people, which is second behind Brussels. According to the Köppen climate classification [19], the climates of Antwerp is an oceanic climate (Cfb), that is, a climate with cool summers and cool (but not cold) winters and with a relatively narrow annual temperature range. The annual average temperature is 10.6 ºC. In summer, the daily average temperature is below 17.8 ºC, so cooling systems are generally unnecessary, particularly if measures such as solar shading or night cooling are implemented. With a base temperature of 18ºC (heating) and 25ºC (cooling), the value of annual heating and cooling degree are 2398 and 0 respectively.

In the case of Antwerp (as in the case of the Spanish cadaster), information is available at two scales: parcels and construction units. The parcels contain the geometry of the whole parcel (which can contain multiple buildings) and semantic information such as: year of construction, main use or number of floors. On the other hand, the construction units allow having a more detailed geometry, which is closer to the real geometry; but for which few or none semantic information is available. This makes necessary the preprocessing of this information with the objective of: 1) adapt the geometry (selecting the most realistic and detailed one), 2) perform data cleaning (discarding non-relevant data) and 3) organize the data (combining the semantic information of the two scales).

The preprocessing is done using a desktop GIS tool in which several geo-processes are performed. The following figure (Figure 3) details the performed process. The polygon in blue represents the parcel (which has the most semantic information) and the polygons in red the buildings (which have the most detailed geometry) within that parcel. The first step is to select the building layer and get the centroid point of each of the buildings; this

Table 3. Main information of the Historic district of Antwerp per building typology. This table shows the name of the layers which provide the data of this example (Nº - Number, ACH – Air Change per Hour). Data source: Antwerp cadaster (shapes "perceel"), DMM data process and DMM internal data base. **Información principal del distrito histórico de Amberes según la tipología edificatoria.**

BUILDING AGE	USE	Nº OF BUILDINGS	TOTAL BUILT SURFACE (M^2)	SURFACES (M^2)			U-VALUE			ACH
				ROOF	WALL	WINDOW	ROOF	WALL	WINDOW	
‹1945	Residential	513	172,617	77,022	140,442	51,944	2.3	1.9	4.5	1.2
	Tertiary	619	199,083	86,487	123,018	107,351	2	1.9	4.5	1.2
1945-1969	Residential	60	44,283	11,426	25,873	9,569	2.3	1.9	4.5	1.2
	Tertiary	76	80,580	50,758	24,173	21,037	2	1.8	4.6	1.2
1970-1979	Residential	16	18,883	4,620	8,603	3,182	2.3	1.7	3.9	0.9
	Tertiary	9	7,607	4,312	2,329	1,885	2	1.8	4.2	0.9
1980-1989	Residential	47	39,276	10,626	20,903	7,731	1.1	1.6	3.8	0.9
	Tertiary	40	21,570	7,175	10,648	9,803	1.2	1.7	3.8	0.9
1990-1999	Residential	23	49,397	1,3025	18,727	6,926	0.9	1.2	3.8	0.8
	Tertiary	14	31,012	8,098	8,305	6,715	0.9	1.3	3.7	0.8
2000-2010	Residential	14	22,427	4,477	10,393	3,844	0.6	0.8	2.5	0.7
	Tertiary	10	11,550	5,690	3,434	3,146	0.7	0.8	2.3	0.7
›2010	Residential	3	8,656	1,766	2,400	888	0.6	0.8	2.5	0.7
	Tertiary	5	8,456	2,040	3,379	2,852	0.7	0.8	2.3	0.7

Table 4. Schedule and internal gain data information (R - Residential; T – Tertiary). **Información sobre las programaciones y ganancias internas (R – residencial: T – Terciario)**

	USE / INTERNAL GAINS	SCHEDULE
Heating	R	Winter: Until: 07:00, 0; Until: 23:00, 1; Until: 24:00, 0 / Summer: Until: 24:00, 0.
	T	Winter: Until: 05:00, 0; Until: 19:00, 1; Until: 24:00, 0 / Summer, weekends and holidays: Until 24:00: 0
Cooling	R	Summer: Until: 15:00, 0; Until: 23:00, 1; Until: 24:00, 0 / Winter: Until: 24:00, 0.
	T	Summer: Until: 05:00, 0; Until: 19:00, 1; Until: 24:00, 0 / Winter, weekends and holidays: Until 24:00: 0
Lighting	R (3 W/m^2)	Until: 07:00, 0.1; Until: 18:00, 0.3; Until: 19:00, 0.5; Until: 23:00, 1; Until: 24:00, 0
	T (8 W/m^2)	Until: 07:00, 0; 19:00, 1; Until: 24:00, 0 / Weekends and holidays: Until 24:00: 0)
Equipment	R (0.9 W/m^2)	Until: 07:00, 0.1; Until: 18:00, 0.3; Until: 19:00, 0.5; Until: 23:00, 1; Until: 24:00, 0
	T (2.3 W/m^2)	Through: 31 Dec: Until: 07:00, 0.05; 20:00, 1; Until: 24:00, 0.05 / Weekends and holidays: Until 24:00: 0.05
Occupancy	R (1.7 W/m^2)	Until: 07:00, 1; Until: 15:00, 0.25; Until: 23:00, 0.5; Until: 24:00, 1
	T (7 W/m^2)	Until: 07:00, 0; Until: 09:00, 0.5; Until: 12:00, 1; Until: 14:00, 0.75; Until: 17:00, 1; Until: 18:00, 0.5; Until: 24:00, 0 (Weekends and holidays: Until 24:00: 0)

Después de procesar la información facilitada por el ayuntamiento de Amberes, la tabla 3 resume los datos de entrada (input data) que se han obtenido desde el catastro municipal.

Junto con esta información definida en la Tabla 3, la Tabla 4 muestra otros datos que se han considerado durante el cálculo energético del distrito de Amberes mediante el District Mapping Module.

La figura 4 presenta la cartografía básica utilizada como fuente de datos de entrada para el caso de estudio de Amberes. El resultado del "Data process" realizado para los edificios de la zona de estudio se presenta gráficamente en la Figura 5 Esta figura muestra las fachadas exteriores representadas en blanco y más medianeras en rojo. Cada uno de los edificios contiene los parámetros calculados a partir de los datos de entrada de

point includes also the semantic information of the building. Then the centroid layer of the building and parcels layer are intersected; obtaining a layer of points (centroids) in which for each point the semantic information of the building and parcel is combined. Finally, the semantic information of these points is combined with the layer of buildings. Thus, the greatest amount of semantic information is collected at building scale This process has been carried out for all parcels and buildings for Antwerp study area.

After processing the information provided by Antwerp City Hall, the following table 3 summarizes the "Input data" obtained from the municipal cadaster.

Table 3 Main information of the Historic district of Antwerp per building typology. This table shows the name of the layers which provide the data of this

acuerdo al proceso descrito en la sección 2. La información obtenida se visualiza en el "globo" de la Figura 5 De la información obtenida de este procesado los datos utilizados en el mapping module de PlanHeat son los siguientes: edad, uso, superficies, altura y geolocalización de cada edificio.

4. Resultados del análisis

En esta sección se muestran los resultados obtenidos a partir del tratamiento de los diferentes datos de entrada definidos en la sección 3. La herramienta permitirá mostrar los resultados en 2 formatos diferentes. Por una parte, el primero de los formatos tiene como objetivo la evaluación del comportamiento energético de cada uno de los edificios. La herramienta genera un archivo "xml" en el que se recoge la información de todos los edificios del distrito evaluado. En la figura 6 se muestra un primer borrador de los resultados que proporciona el Graphical User Interface del District Mapping Module a nivel de edificio.

En el Graphical User Interface del District Mapping Module se puede ver cómo el usuario dispondrá de toda la información necesaria para poder llevar a cabo el análisis energético de cada uno de los edificios: uso, edad, superficies, demanda anual, demanda por metro cuadrado, picos energéticos, protección del edificio, etc. A su vez, al ser información geolocalizada, permite que esta salida de la herramienta sea implementada o compartida en otras plataformas municipales.

Por otra parte, junto con esta información individualizada por edificio, el segundo formato de esta herramienta permite obtener información energética total del distrito o clasificada por tipología de edificios. Durante este ejercicio, esta clasificación se ha realizado en base al año de construcción de los edificios y a su uso (ver Tabla 5).

En este caso de estudio evaluado, debido a aspectos como la climatología de Amberes o las prestaciones térmicas de la envolvente de sus edificios los edificios antiguos del casco histórico, los resultados muestran que el 86% de la demanda térmica de este distrito está relacionado a la demanda de calefacción. No obstante, debido a su climatología templada y al bajo número de edificios terciarios, la demanda de refrigeración solo supone el 1,1% de la demanda energética total del distrito. Finalmente, en base a los resultados obtenidos por cada metro cuadrado de edificio, cabe destacar que la demanda de calefacción de más del 30% de la superficie construida es mayor a 100 kWh/m^2, destacando su comportamiento energético ineficiente y la necesidad de mejorar sus prestaciones energéticas en base a diferentes estrategias pasivas, activas o mediante la integración de sistemas producción de energía renovable.

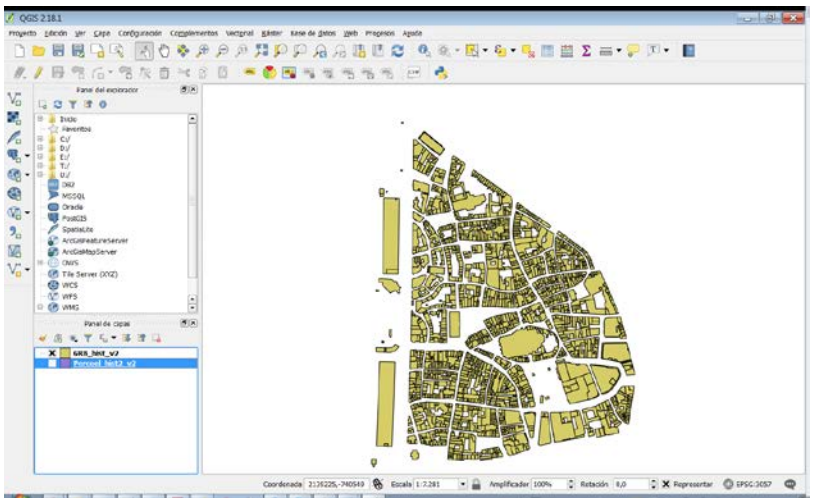


Figure 4 Basic cartography of the case study of Antwerp - Cartografía básica de la zona de estudio de Amberes

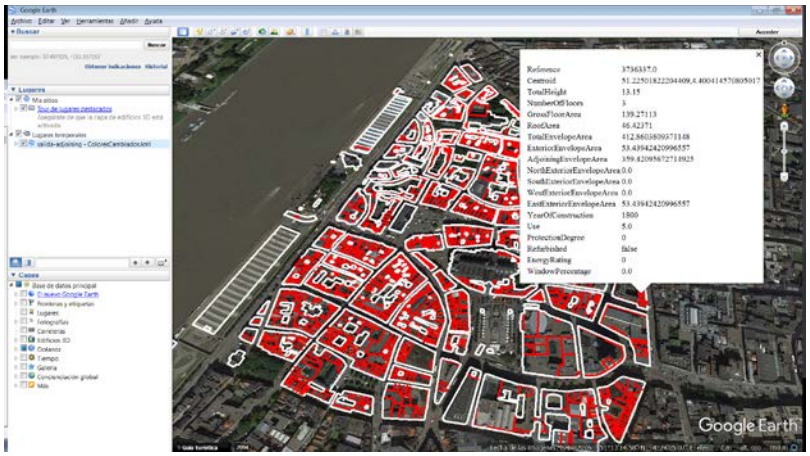


Figure 5 Information obtained from the processing the data for the case study of Antwer - Información resultante del "Data process" para el caso de estudio de Amberes

example (Nº - Number, ACH – Air Change per Hour). Data source: Antwerp cadaster (shapes "perceel"), DMM data process and DMM internal data base. Información principal del distrito histórico de Amberes según la tipología edificatoria.

Along with this information defined in Table 3, Table 4 shows other data that have been considered during the energy calculation of the district of Antwerp through the District Mapping Module.

Figure 4 shows the basic cartography used as input data source for the Antwerp case study. The result of the data process performed for the buildings within the study area is presented in Figure 5. This figure presents the exterior façades represented in white and adjoining walls in red. Each building contains the parameters that have been calculated from the input data according to the process described in section 2. The obtained information is visualized in the "balloon" of Figure 5. From the information obtained from this processing the data used in the mapping module of PLANHEAT are the following: age, use, surfaces, height and geolocation of each building.

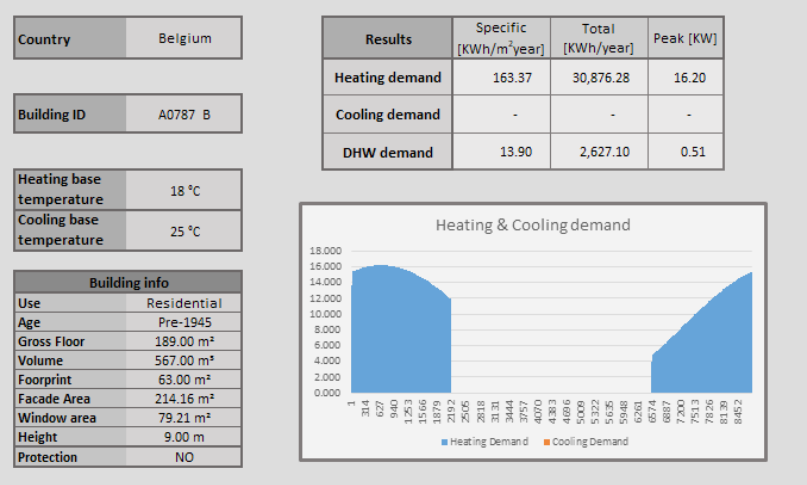


Fig. 6. Primera propuesta sobre el interfaz de los resultados de cada Edificio del District Mapping Module
First proposal about the interface of the results of each building of the District Mapping Module –

Conclusiones

Este artículo ha presentado la aplicación del nuevo módulo DMM en la evaluación energética del distrito histórico de Amberes. La metodología propuesta ha mostrado como con la entrada de datos catastrales y el LiDAR aportado por parte de la municipalidad y con los valores de grados día facilitados por la herramienta Planheat, este módulo permite obtener la demanda energética (calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria) de cada uno de los edificios del distrito, junto con la demanda global del distrito. A su vez, la posibilidad de clasificar estos resultados en rangos de edad y de uso y de poder mostrar estos resultados al usuario final, permite que la municipalidad pueda tomar decisiones con una visión más global.

4. Results of the analysis

This section shows the results obtained from the treatment of the different input data defined in section 3. The tool will display the results in 2 different formats. On the one hand, the first of the two possible formats has the objective of evaluate the energy performance of each building. The tool generates an xml file in which the information of all the buildings of the evaluated district is collected. Figure 6 shows a first draft of the results provided by the Graphical User Interface of the District Mapping Module at the building level.

In this Graphical User Interface of the District Mapping Module it can be seen how the user will have all the necessary information to carry out the energy analysis of each building: use, age, areas, annual demand, demand per square meter, energy peaks, building protection, etc. In turn, being geolocated information, allows this output of the tool to be implemented or shared on other municipal platforms.

On the other hand, along with this individualized information per building, this tool allows to obtain total energy information of the district or classified by building typology. During this exercise, this classification was made based on the year of construction of the buildings and their use (see Table 5).

In this case study, due to aspects such as the Antwerp climate or the thermal performance of the building envelope of the old buildings located in the historic district, the results show that 86% of the thermal energy demand of this district is related to the heating demand. However, due to its warm climatology and

Table 5. Thermal energy demand of the Antwerp Historic City (Hea – Heating, Coo – Cooling and DHW – Domestic Hot Water). **Demanda térmica del distrito histórico de Amberes (Hea – Calefacción, Coo- Refrigeración, DHW – Agua Caliente Sanitaria)**

BUILDING AGE EDAD EDIFICIO	USE - USO	ENERGY DEMAND					
		TOTAL (KWH/YEAR)			PER SQUARE METER (KWH/M²·YEAR)		
		HEA	COO	DHW	HEA	COO	DHW
‹1945	Residential	23,874,736	0	2,399,378	138.3	0	13.9
	Tertiary	17,062,231	108,952	2,766,528	85.7	0.5	13.9
1945-1969	Residential	4,547,197	0	615,539	102.6	0	13.9
	Tertiary	4,058,049	148,818	411,005	50.3	1.8	5.1
1970-1979	Residential	1,412,518	0	262,475	74.8	0	13.9
	Tertiary	399,287	9,005	106,641	52.5	1.2	14.0
1980-1989	Residential	2,828,924	0	545,946	72.1	0	13.9
	Tertiary	1,013,966	46,026	138,860	47.1	2.1	6.4
1990-1999	Residential	2,472,543	0	686,622	50.1	0	13.9
	Tertiary	573,050	297,905	310,395	18.5	9.6	10.1
2000-2010	Residential	863,728	577	311,741	38.5	0.1	13.9
	Tertiary	147,661	116,911	56,350	12.7	10.1	4.8
›2010	Residential	254,865	1,197	120,327	29.4	0.1	13.9
	Tertiary	134,588	80,837	72,314	15.9	9.5	8.5
Total		59,643,348	810,232	8,804,125			

Con el objetivo de mejorar las prestaciones de este módulo, el proyecto PlanHeat sigue trabajando en aspectos como la integración de estrategias de rehabilitación que tengan en cuenta la edad y el nivel de protección arquitectónico de los edificios, la incorporación de nuevos parámetros como las ganancias solares, la calibración de los resultados mediante nuevos casos de estudios, la búsqueda de nuevas alternativas cuando la municipalidad no tiene los datos catastrales en un formato accesible o en la posibilidad de mejorar la visualización de los resultados que permitan generar un nuevo modelo 3D de cada uno de los distritos evaluados.

Agradecimientos

El trabajo descrito en este artículo es parcialmente financiado por el proyecto PLANHEAT, número del "Grant Agreeement" 723757, 2016-2019, como parte de la convocatoria H2020-EE-2016-RIA-IA.

the low number of tertiary buildings, the demand for cooling is only 1.1% of the district's total energy demand. Finally, based on the results obtained for each square meter of building, it is worth noting that the heating demand of more than 30% of the constructed area is greater than 100 kWh/m^2, highlighting its inefficient energy performance and the need to improve its Energy performance based on different passive, active strategies or through the integration of renewable energy production systems.

Conclusions

This article has presented the application of the new DMM module in the energy evaluation of the historical district of Antwerp. The proposed methodology has shown how with the input of cadastral data and the LiDAR provided by the municipality and with the degree days values provided by the Planheat tool, this module allows to obtain the energy demand (heating, cooling and domestic hot water) of each one of the district's buildings, in addition to the district's overall demand.

In order to improve the performance of this module, the PlanHeat project is still working on aspects such as the integration of refurbishment strategies that take into account the age and level of architectural protection of buildings, the incorporation of new parameters such as solar gains , the calibration of the results through new study cases, the search for new alternatives when the municipality does not have the cadastral data in an accessible format or in the possibility of improving the visualization of the results that allow to generate a new 3D model of each one of the evaluated districts.

Acknowledgments

The work described in this article is partially funded by the PLANHEAT project, Grant Agreement Number 723757, 2016-2019, as part of the call H2020-EE-2016-RIA-IA.

BIBLIOGRAFÍA BIBLIOGRAPHY

1 CEC, EUROPE 2020, A strategy for smart, sustainable and inclusive growth. COM (2010)2020 Final, European Commission, Brussels, 2010 (3.3.2010). Available online: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:2020:FIN:EN:PDF

2 Directive 2010/31/EU, 2010. European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Official Journal of the European Union. The European Parliament and the council of the European Union.

3 IEA, CO2 Emissions from Fuel Combustion Highlights, International EnergyAgency (IEA), Paris, France, 2013, pp. 600, 2013.

4 Covenant of Mayors for Climate & Energy. Available online: http://www.covenantofmayors.eu/index_en.html

5 PLANHEAT, Integrated tool for empowering public authorities in the development of sustainable plans for low carbon heating and cooling. Available online: http://planheat.eu/

6 EU building observatory. European Commission – EU Building Database. Available online: http://ec.europa.eu/energy/en/eu-buildings-database

7 TABULA (Typology Approach for Building Stock Energy Assessment). European Commission, Intelligent Energy Europe Programme. Available online: http://webtool.building-typology.eu/#bm

8 Spanish Technical Building Code. Energy saving. DB-HE. Available online: https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DccHE.pdf

9 Design Builder software. Available online: http://www.designbuilder.es

10 Average EU building heat load for HVAC Equipment. Final report. VHK for the European Commission, Aug. 2014. Available online: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014_final_report_eu_building_heat_demand.pdf

11 ARCA website. Availabel online: http://www.arca53.dsl.pipex.com/index_files/tt6.htm

12 Oregi, X., Hernandez, P., Hernandez, R. Analysis of life-cycle boundaries for environmental and economic assessment of building energy refurbishment projects. Energy Build. 136 (2017) 12-25, http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.057.

13 Ascione, F., Bianco, N., De Stasio, C., Mauro, G.M., Vanoli, G.P. Multi-stage and multi-objective optimization for energy retrofitting a developed hospital reference building: A new approach to assess cost-optimality. Applied Energy 174 (2016) 37–68. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.078

14 Ascione, F., Bianco, N.,De Masi, R.F., Mauro, G.M., Vanoli, G.P. Energy retrofit of educational buildings: Transient energy simulations, model calibration and multi-objective optimization towards nearly zero-energy performance. Energy Build. 144 (2017) 303–319, https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.056

15 Harmati, N., Magyar, Z. Influence of WWR, WG and glazing properties on the annual heating and cooling energy demand in buildings. Energy Procedia 78 (2015) 2458-2463

16 Melo, A.P., Lamberts, R. Envelope insulation and heat balance in commercial buildings. Eleventh International IBPSA Conference. Glasgow, Scotland, 2009

17 Buso, T., Dell'Anna, F., Becchio, C., Bottero, M., Corgati, S. Of comfort and cost: Examining indoor comfort conditions and guests'valuations in Italian hotel rooms. Energy Research & Social Science xxx (2017) xxx–xxx https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.01.006

18 J. Spinoni,* J. Vogt and P. Barbosa. European degree-day climatology's and trends for the period 1951-2011. Int. J. Climatol. 35: 25–36 (2015)

19 M.C. Peel, B.L. Finlayson, T.A. Mcmahon, Updated world map of theKöppen-Geiger climate classification, Hydrol. Earth Syst. Sci. 11 (2007)1633–1644, http://dx.doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007.

Bombas de calor domésticas como energía renovable

Residential Heat Pumps as Renewable Energy

Erik Salazar Herrán[1], Koldo Martín Escudero[1], Luis Alfonso Del Portillo Valdés[1], Ivan Flores Abascal[1], Ana Picallo Perez[1]

ABSTRACT

El 50% de la energía final consumida en Europa es utilizada para calefacción y refrigeración, de la cual el 75% proviene de la quema de combustibles fósiles (derivados de petróleo y gas natural). El 45% de la energía para calefacción y refrigeración es empleada en el sector residencial. En el caso de la Comunidad Autónoma Vasca, el 53% de la energía total consumida por el sector residencial es utilizada para calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) proveniente de la quema de combustibles fósiles.

Los equipos de bomba de calor son un reemplazo eficaz para los sistemas convencionales de calefacción y refrigeración. Los sistemas de bombas de calor pueden suministrar mayor aporte calórico con la misma cantidad de energía para los equipos convencionales. Este potencial de alta eficiencia es reconocido por la Directiva Europea 2009/28/EC, según la cual la energía aerotérmica, geotérmica e hidrotérmica capturada por las bombas de calor se considerará como si hubiese sido obtenida a partir de fuentes de energía renovables si la producción final de energía supera de forma significativa la energía primaria necesaria para impulsar la bomba de calor.

En este trabajo se plantean las mejoras que pueden llegar a obtenerse mediante equipos de bomba de calor en comparación con equipos convencionales de calefacción para cuantificar el potencial de ahorro energético que pueden llegar a proporcionar. En el estudio se han considerado las diferentes fuentes de energía de las bombas de calor (aire-agua y agua-agua) así cómo diferentes equipos convencionales de calefacción (calderas estándar, calderas de condensación, calentadores eléctricos, etc.). El análisis energético se complementa con un análisis económico teniendo en cuenta el consumo energético y los costes de inversión de los equipos para valorar el potencial de uso de las bombas de calor en el sector residencial.

Por último se ha hecho un repaso de resultados experimentales (mediante monitorización o ensayos) para demostrar el potencial de sistemas híbridos de equipos de bombas de calor junto con equipos de energías renovables. Los sistemas híbridos más comunes suelen ser un equipo de bomba de calor junto con energía solar térmica.

Cómo conclusiones se puede afirmar que en los casos en los que el precio de la electricidad es bajo o cuando existe aporte mediante energía renovable, la bomba de calor presenta ventajas económicas frente a otros equipos convencionales. Esto dependerá del precio de la energía (tanto eléctrica cómo primaria), de la localización y de la inversión realizada. De forma general el tiempo de retorno de un equipo de bomba de calor es de entre seis y veinte años, siendo más rentables instalarlas en nuevas construcciones con menores demandas energéticas. Por otro lado, en los casos de sistemas híbridos con energías renovables, el coeficiente de operación (COP) de la bomba de calor aumenta considerablemente, y desde el punto de vista medioambiental la bomba de calor presenta unas emisiones de CO_2 menores que los equipos convencionales.

Key Words: Heat Pump, Renewable Energy, Heating, Cooling Energy Efficiency. Bomba de Calor, Energías Renovables, Calefacción, Refrigeración, Eficiencia Energética.

(1) ENEDI Research Group, Department of Thermal Engineering, University of the Basque Country (UPV/EHU), Alda. 946 017 322
erik.salazar@ehu.eus

1. Introducción

El 50% de la energía final consumida en Europa es utilizada para calefacción y refrigeración, de la cual el 75% proviene de la quema de combustibles fósiles (derivados de petróleo y gas natural). El 45% de la energía para calefacción y refrigeración es empleada en el sector residencial [1]. En el caso de la Comunidad Autónoma Vasca (CAV) [2], el 53% de la energía total consumida por el sector residencial es utilizada para calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) proveniente de la quema de combustibles fósiles.

Con el objetivo de descender el consumo de energía y la emisión de gases de efecto invernadero, el 23 de abril de 2009, el Parlamento Europeo y el Consejo Europeo aprobaron la Directiva 2009/28/ES [3] para la promoción del uso de energía proveniente de fuentes renovables. Representa la puesta en común de los países miembros en promoción de las energías renovables. Esta directiva abre una gran oportunidad para el uso de bombas de calor para calefacción y refrigeración en edificios nuevos y existentes. Según la cual la energía aerotérmica, geotérmica e hidrotérmica capturada por las bombas de calor se considerará como si hubiese sido obtenida a partir de fuentes de energía renovables si la producción final de energía supera de forma significativa la energía primaria necesaria para impulsar la bomba de calor.

A lo largo de este documento se expone una recopilación de textos recientes en los que se ensalzan los beneficios del uso de sistemas de bombas de calor frente a equipos convencionales de calefacción y refrigeración. Al mismo tiempo se considera el aspecto económico de la puesta en marcha de los equipos de bomba de calor.

Por otro lado se hace un repaso sobre los estudios realizados sobre sistemas de bomba de calor híbridos que utilizan la energía solar como fuente o como apoyo de la bomba de calor.

2. Análisis tecno-económico

Los beneficios energéticos de reemplazar los sistemas de calefacción y refrigeración convencionales por sistemas de bomba de calor han quedado comprobados a lo largo de los últimos años. A lo largo de este apartado se repasarán los estudios más recientes llevados a cabo por diferentes autores, tanto desde el punto de vista energético como económico.

Asaaee et al. [4] desarrollaron una investigación tecno-económica con la que estudiar la viabilidad, tanto desde el punto de vista energético como económico, de convertir la oferta inmobiliaria Canadiense en edificios de consumo casi nulo. El estudio se desarrollo usando un modelo energético

1. Introduction

50% of the final energy consumed in Europe is used for heating and cooling, of which 75% comes from the burning of fossil fuels (oil and natural gas derivatives). 45% of the energy for heating and cooling is used in the residential sector [1]. In the case of the Basque Country [2], 53% of the total energy consumed by the residential sector is used for heating and domestic hot water (DHW) and came from burning fossil fuels.

With a aim of reducing energy consumption and greenhouse gas emissions, on 23 April 2009, the European Parliament and the European Council adopted the Directive 2009/28 / ES [3] on the promotion of energy use from renewable sources. It represents the agreement of member countries in the promotion of renewable energies. This directive opens up a great opportunity for the use of heat pumps for heating and cooling in new and existing buildings. According to it, aerothermal, geothermal and hydrothermal energy captured by the heat pumps will be considered as obtained from renewable energy sources if the final production of energy significantly exceeds the primary energy required to drive the heat pump.

Throughout this paper it is presented a compilation of recent texts that exalt the benefits of using heat pump systems versus conventional heating and cooling equipment. At the same time, it is considered the economic aspect of heat pump systems.

On the other hand, a review on the studies carried out on hybrid heat pump systems that use solar energy as a source or as a support for the heat pump is done.

2. Techno-economic analysis

The energy benefits of replacing conventional heating and cooling systems with heat pump systems have been proved over the past few years. Throughout this section the most recent studies carried out by different authors will be reviewed, both from the energy and economic point of view.

Asaaee et al. [4] developed a techno-economic research to study the feasibility of converting Canadian building stock into almost zero consumption buildings. The study was developed using a validated energy model to simulate the energy demands of buildings in Canada. With the model 17,000 different houses were recreated in which conventional heating and cooling systems were replaced by an air-water heat pump (AWHP), an auxiliary boiler and a thermal storage tank.

The results showed that the changes mentioned in the thermal facilities could be made in 6.3 mil-

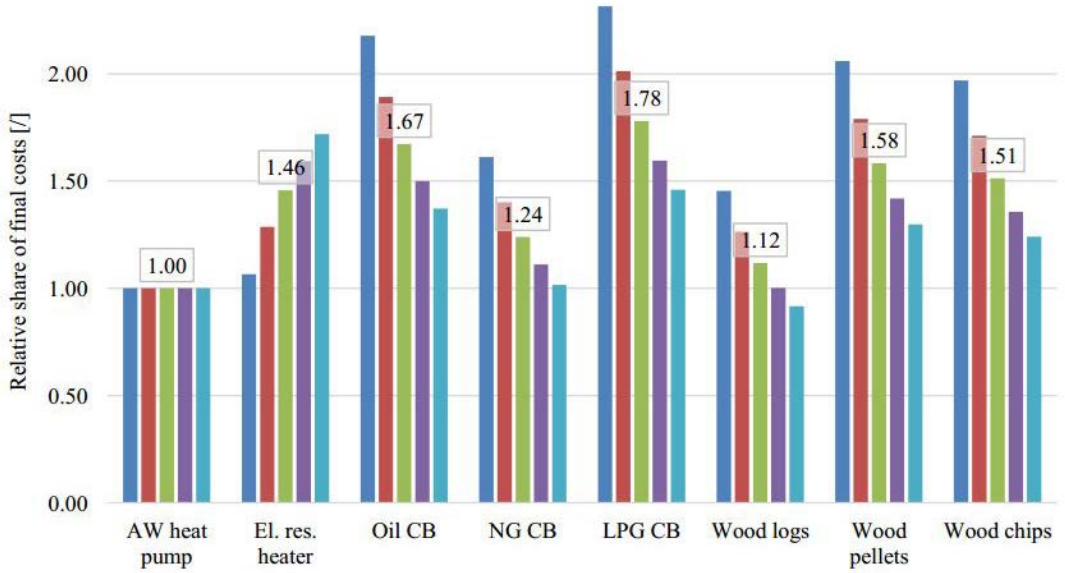


Fig. 1. Costes finales relativos de los diferentes equipos de calefacción en relación a los costes finales del sistema AWHP para diferentes precios de electricidad. [5]
Relative share of final costs of different heating systems in relation with the final costs of AWHP system for different electricity prices. [5]

validado para simular las demandas energéticas de edificios en Canadá. Con el modelo se recrearon 17.000 casas diferentes en las que se sustituyeron los sistemas convencionales de calefacción y refrigeración por una bomba de calor aire-agua (AWHP), una caldera auxiliar y un tanque de almacenamiento térmico.

Los resultados mostraron que los cambios mencionados en las instalaciones térmicas podían realizarse en 6.3 millones de casas canadienses, lo que conllevaría la reducción de un 36% en el consumo energético final de Canadá proveniente de edificios. Por otro lado se aseguraba la reducción del consumo de energía primaria en aquellas provincias donde las energías renovables tuviesen un importante peso en la generación de energía eléctrica. Consecuentemente, el consumo de combustibles fósiles así como las emisiones de gases contaminantes se verían reducidos. Sin embargo, los autores remarcan la imposibilidad de llevar a cabo la mejora de las instalaciones térmicas sin ayudas económicas gubernamentales o programas de incentivos.

Poredoz et al. [5] desarrollaron un excelente trabajo de monitorización en el que se comparaba el uso de una AWHP con otros siete sistemas de calefacción. Estos sistemas son: caldera de condensación de aceite (Oil CB), de Gas Natural (NG CB) y de LPG propano (LPG CN), caldera de biomasa de pellets (Wood pellets), de astillas (Wood chips) y de troncos (Woods logs) y calentadores eléctricos (El. res. heater). La instalación fue colocada en una casa típica unifamiliar en Eslovenia y fue monitorizada durante 4 años.

Con el objetivo de poder trasladar los resultados obtenidos a toda Europa, los autores realizaron el análisis económico para diferentes precios de la electricidad. Los resultados de los costes finales de los diferentes equipos en relación a los costes

lion Canadian homes, which would lead to a 36% of reduction in Canada's final energy consumption from buildings. On the other hand, it was ensured the reduction of primary energy consumption in those provinces where renewable energies have a significant weight in the generation of electric energy. Consequently, the consumption of fossil fuels as well as greenhouse gases emissions would be reduced. However, the authors note the impossibility of carrying out the improvement of thermal installations without governmental economic aid or incentive programs.

Poredoz et al. [5] developed an excellent monitoring work comparing the use of one AWHP with other seven heating systems. These systems are: Oil condensation boiler (Oil CB), Natural Gas condensation boiler (NG CB) and LPG propane condensation boiler (LPG CN), pellet biomass boiler (Wood pellets), wood chips and logs (Woods Logs) and electric heaters (El. Res. Heater). The installation was placed in a typical single-family house in Slovenia and was monitored for 4 years.

With the aim of being able to transfer the results obtained to all Europe, the authors realized the economic analysis for different prices of the electricity. The results of the final costs of the different equipments in relation to the final costs of the HP system can be seen in Fig. 1. The purple column would represent the case of Spain [6]. As it can be seen, the AWHP system considered in this case represents the most efficient heating system. The Natural Gas condensing boiler and log biomass boiler, where the price of electricity is high, are the only systems comparable to the AWHP system.

The two major drawbacks of ASHP systems are the maximum heating power and the frost formation on the outdoor heat exchanger. This frost formation is due to the solidification of the moisture contained in the air, which reduces the performance

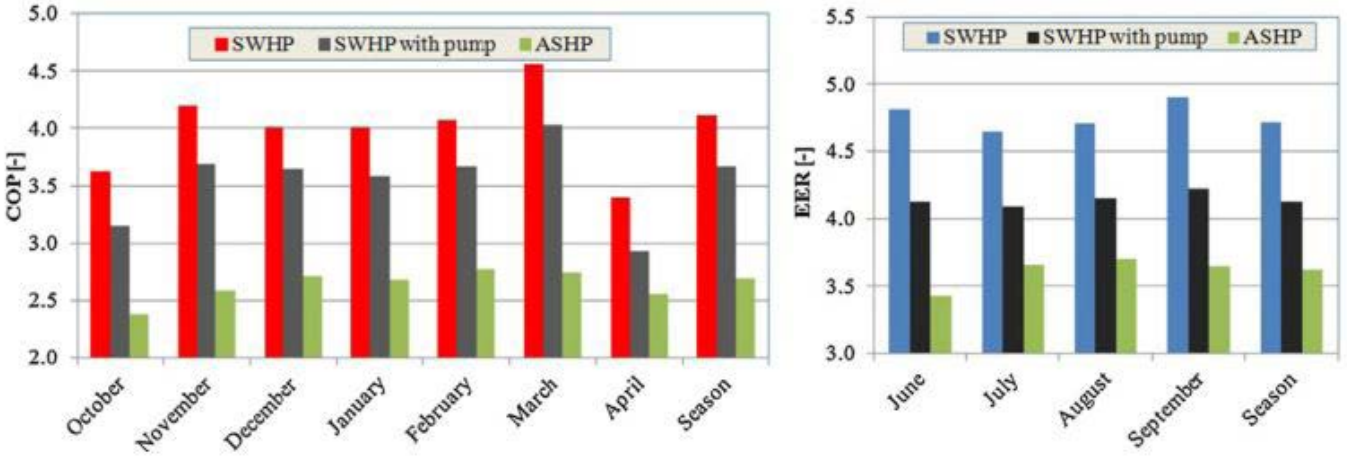


Fig. 2. Comparación del COP y EER [7]. COP and EER comparison [7]

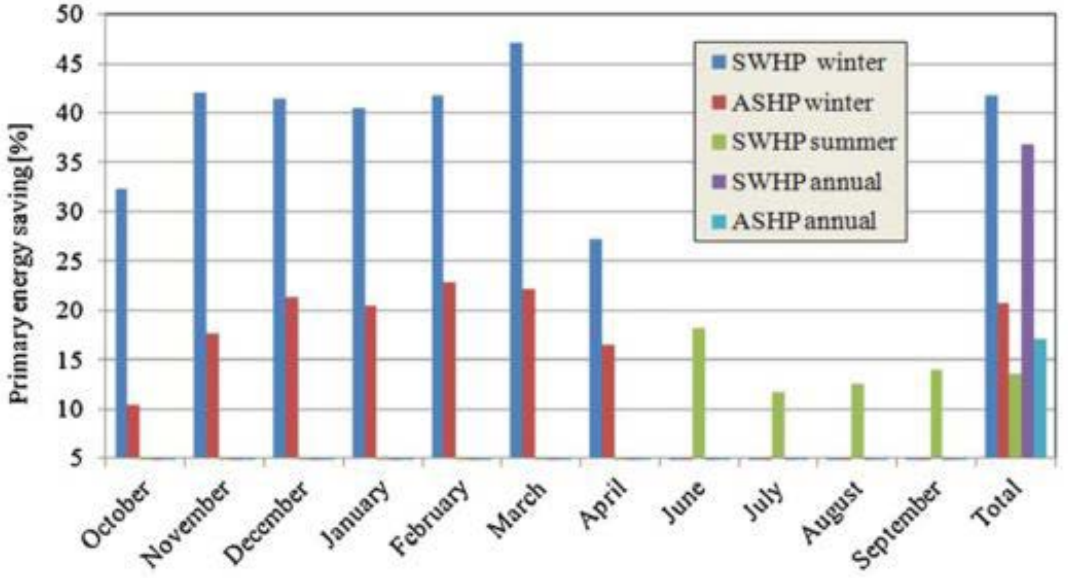


Fig. 3. Ahorro de energía primaria. [7]
Primary energy saving. [7]

finales del sistema HP se pueden ver en la Fig. 1. La columna morada representaría el caso de España [6]. Como se puede ver, el sistema AWHP considerado en este caso representa el sistema de calefacción más eficiente en términos económicos. La caldera de condensación de Gas Natural y la caldera de biomasa de troncos, allá donde el precio de la electricidad es alto, son los únicos sistemas comparables con el sistema AWHP.

Los dos grandes inconvenientes de los sistemas ASHP son la potencia máxima de calefacción y la formación de escarcha en el intercambiador aire-refrigerante del exterior. Esta formación de escarcha es debido a la solidificación de la humedad contenida en el aire, lo cual hace descender el rendimiento del sistema por dos razones. La primera porque al estar las superficies del intercambiador de calor exterior cubiertas por escarcha se reduce la trasmisión de calor y la segunda porque para derretir y retirar esa escarcha se necesario invertir el modo de funcionamiento cada cierto tiempo con la consiguiente pérdida de rendimiento.

of the system for two reasons. Firstly because the surfaces of the outdoor heat exchanger covered by frost reduce the heat transmission and secondly because to melt and remove that frost it is necessary to reverse the operating mode from time to time with the consequent loss of performance.

One alternative is the use of water-water heat pump systems (WWHP) in which the problem of frost formation is avoided. In WWHP systems, surface water, groundwater or the subsoil can be used as thermal energy sources, the last two need boreholes. Different authors have defended the higher energy efficiency of WWHP systems compared to AWHP systems.

Schibuola et al. [7] used water from Venice channels to replace an AWHP system with a WWHP system and thus compare the performance of both systems. He also compared these systems with conventional condensing boiler systems for heating and cooling chillers for cooling. Fig. 2 shows the performance results and in Fig. 3 of the energy sav-

Una alternativa es el empleo de sistemas de bomba de calor agua-agua (WWHP) en la que se evita el problema de formación de escarcha. En los sistemas WWHP se puede utilizar aguas superficiales, aguas subterráneas o el subsuelo, estos dos últimos mediante pozos de perforación, como fuentes de energía térmica. Diferentes autores han defendido el mayor rendimiento energético de sistemas WWHP frente a los sistemas AWHP.

Schibuola et al. [7] utilizó el agua de los canales de Venecia para sustituir un sistema AWHP por un sistema WWHP y poder así comparar el rendimiento de los diferentes equipos. También comparó estos sistemas con sistemas convencionales de caldera de condensación para calefacción y enfriadores eléctricos para refrigeración. En la Fig. 2 se muestran los resultados del rendimiento y en la Fig. 3 del ahorro de energía con el empleo de bombas de calor respecto al sistema convencional, donde SWHP corresponde al sistema WWHP y ASHP corresponde al sistema AWHP. Como se puede apreciar, tanto el rendimiento energético como el ahorro energético son mayores utilizando sistemas WWHP. De la misma manera, empleando agua marina, Zheng et al. [8] demostró el mayor rendimiento energético de los sistemas agua-agua frente a sistemas aire-agua para áreas de bajas temperaturas durante el invierno.

Por otro lado, Romaní et al. [9] elaboró un ensayo comparativo entre un sistema WWHP de subsuelo y un sistema AWHP. Fue llevado a cabo en un clima mediterráneo y también quedó demostrado el ahorro energético potencial de emplear sistemas agua-agua en vez de sistemas aire-agua.

El problema de los sistemas WWHP es la inversión económica a realizar. Hakkaki et al. [10] realizó diferentes simulaciones con sistemas WWHP de subsuelo y AWHP. Para un periodo de 10 años, simuló la sustitución de un sistema AWHP por un sistema WWHP con diferentes números y configuraciones de pozos de perforación. Concluyó que los sistemas WWHP son una alternativa viable para los sistemas AWHP pero que debe estudiarse atentamente cada caso pues una instalación no optimizada requeriría de una fuerte inversión. Según los autores, el payback relativo entre sistemas WWHP con pozos de perforación y AWHP puede reducirse de más de 15 años a unos pocos años si se logra economizar el excavado y construcción de los pozos de perforación.

3. Sistemas híbridos

El empleo de sistemas híbridos de bomba de calor junto con energías renovables para calefacción, climatización y producción de ACS es una buena opción para reducir el consumo de energía eléctrica y energía primaria. El caso más común de estos sistemas híbridos es el sistema de bomba de calor asistido por energía solar térmica.

ings with the use of heat pumps compared to the conventional system, where SWHP corresponds to the WWHP system and ASHP corresponds to the AWHP system. As can be seen, both energy efficiency and energy savings are greater using WWHP systems. Similarly, using seawater, Zheng et al. [8] demonstrated the higher performance of water-water systems versus air-water systems for areas of low temperatures during the winter.

On the other hand, Romaní et al. [9] developed a comparative test between a subsoil WWHP system and an AWHP system. It was carried out in a Mediterranean climate and also demonstrated the potential energy savings of using water-water systems instead of air-water systems.

The problem of WWHP systems is the economic investment to be made. Hakkaki et al. [10] performed different simulations with subsoil WWHP and AWHP systems. For a period of 10 years, they simulated the replacement of an AWHP system by a WWHP system with different numbers and configurations of boreholes. They concluded that WWHP systems are a viable alternative for AWHP systems only when each case is carefully studied. A non-optimized installation would require a heavy investment. According to the authors, the relative payback between WWHP systems with boreholes and AWHP can be reduced from more than 15 years to a few years if the drilling and construction of the boreholes is economized.

3. Hybrid systems

The use of hybrid heat pump systems together with renewable energies for heating, air conditioning and DHW production is a good option to reduce the consumption of electrical energy and primary energy. The most common case of these hybrid systems is the heat pump system assisted by solar thermal energy.

In countries with high levels of solar radiation and simultaneously high energy demands for heating, solar thermal technology is the ideal technology to replace conventional heating and DHW production systems. The increased performance of heat pump systems when assisted by solar thermal energy has been tested over the past few years.

Lerch et al. [11] developed an experiment which tested the increase of Seasonal Performance Factor (SPF) when the hot water tank was heated with an AWHP system assisted by 14 m^2 of solar collectors. The SPF when using only the AWHP system was 2.55 while when assisting the system with the solar thermal system was 3.65. The representation of the results can be seen in Fig. 4.

Another comparison between different heating systems was carried out by Tzivanidis et al.

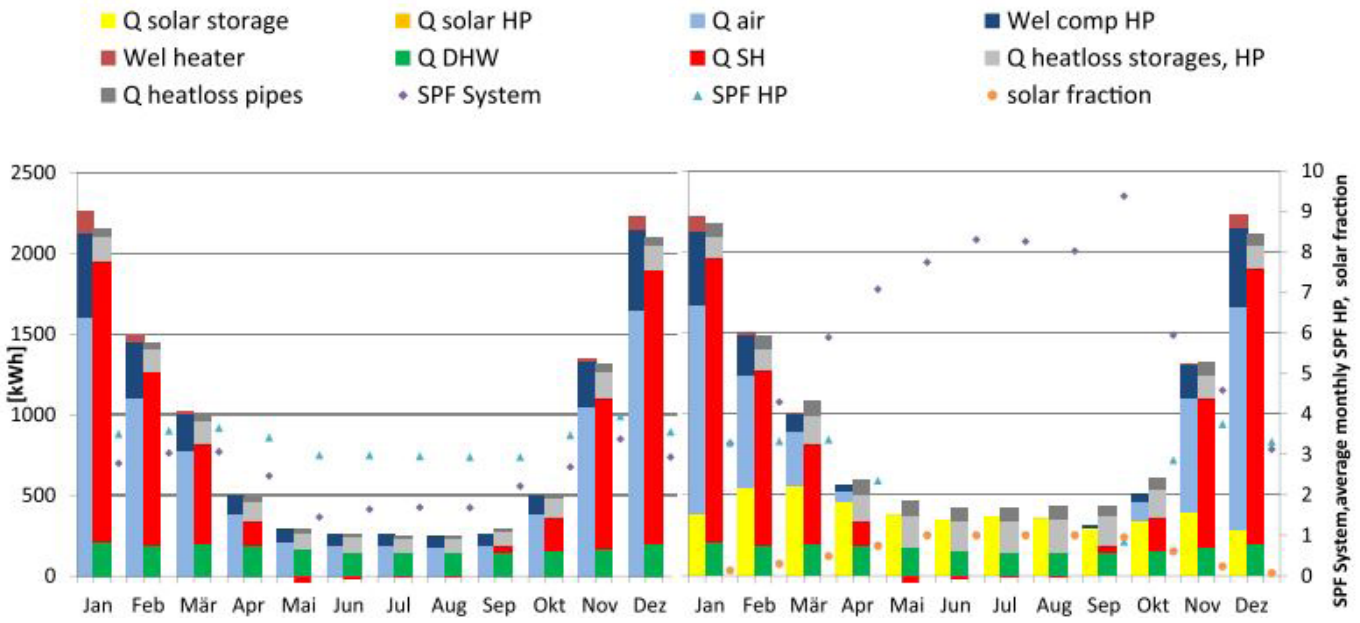


Fig. 4. Representación de los resultados mensuales. Izquierda: Sistema AWHP. Derecha: sistema AWHP con 14m^2 de colectores solares. [11]
Representation of monthly results. Left: AWHP system. Right: AWHP system with 14m^2 of solar collectors. [11]

En países con altos niveles de radiación solar y simultáneamente altas demandas energéticas de calefacción, la tecnología solar térmica es la tecnología idónea para sustituir a los sistemas convencionales de calefacción y producción de ACS. El aumento del rendimiento de los sistemas de bomba de calor cuando son asistidos por energía solar térmica ha sido probado a lo largo de los últimos años.

Lerch et al. [11] desarrollaron un experimento en el que comprobaron el aumento del Seasonal Performance Factor (SPF) cuando el tanque de agua caliente se calentaba con un sistema AWHP asistido por 14 m^2 de colectores solares. El SPF cuando se empleaba sólo el sistema AWHP era de 2.55 mientras que asistiendo el sistema con el sistema solar térmico alcanzaba 3.65. La representación de los resultados se puede ver en la Fig. 4.

Otra comparación entre diferentes sistemas para calefacción fue llevada a cabo por Tzivanidis et al. [12] En este caso se compararon tres sistemas con el objetivo de calentar una vivienda en Atenas. Los sistemas comparados son: un sistema AWHP, un sistema de ventiloconvector asistido por un colector solar y un calentador eléctrico, y un sistema WWHP en el que el agua de la fuente de energía era calentado por un colector solar. El sistema WWHP resultó ser el equipo que menos electricidad necesitaba para calentar la vivienda pero el que más inversión inicial necesitaba. De forma contraria, el sistema AWHP consumía más energía pero la inversión inicial era considerablemente menor. Debido al progresivo aumento que se espera del precio de la electricidad, el sistema WWHP asistido por energía solar puede llegar a ser un sistema competitivo si se consigue abaratar la inversión inicial.

[12]. In this case, three systems were compared with the aim of heating a house in Athens. The systems compared are: an AWHP system, a solar assisted fan coil system with electric heater, and a WWHP system in which the source water was heated by a solar collector. The WWHP system resulted the equipment that less electricity needed to heat the house but the one that more initial investment needed. Conversely, the AWHP system consumed more electric power but the initial investment was considerably lower. Due to the expected increase in the price of electricity, the WWHP system assisted by solar energy can become a competitive system if the initial investment is reduced.

Another study with hybrid heat pump systems has been carried out by Jonas et al. [13]. In this study, computer-aided simulations have compared the energy performance of AWHP and subsoil WWHP systems with and without solar thermal assistance systems. The simulation has been carried out for different climates and typology of buildings. In general they concluded that regardless of the energy source, the performance of the heat pump systems is increased when they are assisted by solar thermal energy.

On the other hand, hybrid solar-assisted heat pump systems can also be used for air conditioning. Deng et al. [14] proved that by assisting a WWHP system with thermal energy, to achieve the same cooling capacity, the energy savings could reach 19.3% compared to a simple WWHP system.

Conclusions

After analyzing the most recent studies carried out by the scientific community on the feasibility of heat pumps in buildings, the predominant con-

Otro estudio sobre sistemas de boba de calor híbridos se ha llevado a cabo por Jonas et al. [13]. En este estudio, se han comparado mediante simulaciones asistidas por ordenador el rendimiento energético de sistemas AWHP y WWHP de subsuelo con y sin sistemas de asistencia solar térmica. La simulación se ha llevado a cabo para diferentes climas y tipología de edificios. De forma general concluyeron que indiferentemente de la fuente de energía, el rendimiento de los sistemas de bomba de calor se ve incrementado cuando son asistidos por energía solar térmica.

Por otro lado, los sistemas híbridos de bombas de calor asistidos por energía solar también pueden ser utilizados para climatización. Deng et al. [14] comprobaron que asistiendo mediante un sistema solar térmico un sistema WWHP, para conseguir la misma capacidad de refrigeración, el ahorro energético podía llegar al 19.3% en comparación con el empleo de un sistema WWHP simple.

Conclusiones

Una vez analizados los estudios más recientes llevados a cabo por la comunidad científica sobre la viabilidad de las bombas de calor en la edificación, las conclusiones predominantes que se pueden obtener son las siguientes:

Indiferentemente de cuál sea la fuente de un sistema de bomba de calor, estos son más eficientes y consumen menos energía primaria que los sistemas convencionales de calefacción, refrigeración y producción de ACS.

Los sistemas de bomba de calor que tienen como fuente de calor la tierra o el agua tienen mayor rendimiento que los sistemas de aire. Este mayor rendimiento se acentúa en climas fríos debido a la mayor cantidad de escarcha que se forma en el ventilador exterior.

La inversión a realizar en la puesta en marcha de sistemas WWHP suele ser considerablemente más elevada que en los sistemas AWHP. Por ello es necesario la optimización de la obra a la hora de realizar los pozos de perforación, siendo más rentable instalarlas en nuevas construcciones con menores demandas energéticas.

Las bombas de calor híbridas asistidas por energía solar tienen mayores rendimientos que las no híbridas. Así mismo consumen menos electricidad. Sin embargo la inversión monetaria en la puesta en marcha es mayor.

clusions that can be obtained are the following:

Regardless of the source of a heat pump system, these are more efficient and consume less primary energy than conventional heating, cooling and DHW production systems.

Heat pump systems that have either ground or water heat source have a better performance than air source systems. This greater performance is increased in cold climates due to the frost formation in the outdoor heat exchanger.

The investment to be made to install WWHP systems is considerably higher than for AWHP systems. This is why it is necessary to optimize the drilling of boreholes, being more profitable intalling them in new constructions with lower energy demands.

Solar-assisted hybrid heat pumps have a better performance than non-hybrid heat pumps. They also consume less electricity. Nevertheless, the initial investment is higher.

BIBLIOGRAFÍA BIBLIOGRAPHY

1 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.

2 ENERGIA, Euskadi. Euskadi energia 2013. [online]. 2013. P. 58.

3 PARLAMENTO-EUROPEO. Directiva 2009/28/Ce Del Parlamento Europeo Y Del Consejo de 23 de abril de 2009. ***Diario Oficial de la Unión Europea*** [online]. 2009. Vol. 140, no. 2, p. 16–62.

4 ASAEE, S. Rasoul, UGURSAL, V. Ismet and BEAUSOLEIL-MORRISON, Ian. Techno-economic feasibility evaluation of air to water heat pump retrofit in the Canadian housing stock. ***Applied Thermal Engineering*** [online]. 2017. Vol. 111, p. 936–949.

5 POREDOS, Primoz, COZ, Tjasa, KITANOVSKI, Andrej and POREDOS, Alojz. Thermo-economic and primary-energy-factor assessment based on the field test of an air-to-water heat pump. ***International Journal of Refrigeration*** [online]. 2017.

6 EUROPEAN COMMISSION. Quarterly Report on European Electricity Markets. . 2016. Vol. 9, no. 1.

7 SCHIBUOLA, Luigi and SCARPA, Massimiliano. Experimental analysis of the performances of a surface water source heat pump. ***Energy and Buildings*** [online]. 2016. Vol. 113, p. 182–188.

8 ZHENG, Wandong, YE, Tianzhen, YOU, Shijun and ZHANG, Huan. The thermal performance of seawater-source heat pump systems in areas of severe cold during winter. ***Energy Conversion and Management*** [online]. 2015. Vol. 90, p. 166–174.

9 ROMANÍ, Joaquim, PÉREZ, Gabriel and DE GRACIA, Alvaro. Experimental evaluation of a cooling radiant wall coupled to a ground heat exchanger. ***Energy and Buildings***. 2016. Vol. 129, p. 484–490.

10 HAKKAKI-FARD, Ali, ESLAMI-NEJAD, Parham, AIDOUN, Zine and OUZZANE, Mohamed. A techno-economic comparison of a direct expansion ground-source and an air-source heat pump system in Canadian cold climates. ***Energy*** [online]. 2015. Vol. 87, p. 49–59.

11 LERCH, W., HEINZ, A. and HEIMRATH, R. Direct use of solar energy as heat source for a heat pump in comparison to a conventional parallel solar air heat pump system. ***Energy and Buildings*** [online]. 2015. Vol. 100, p. 34–42.

12 TZIVANIDIS, Christos, BELLOS, Evangelos, MITSOPOULOS, Georgios, ANTONOPOULOS, Kimon A. and DELIS, Asimakis. Energetic and financial evaluation of a solar assisted heat pump heating system with other usual heating systems in Athens. ***Applied Thermal Engineering*** [online]. 2016. Vol. 106, p. 87–97.

13 JONAS, Danny, FREY, Georg and THEIS, Danjana. Simulation and performance analysis of combined parallel solar thermal and ground or air source heat pump systems. ***Solar Energy*** [online]. 2017. Vol. 150, p. 500–511.

14 DENG, S., DAI, Y. J., WANG, R. Z., MATSUURA, T. and YASUI, Y. Comparison study on performance of a hybrid solar-assisted CO2 heat pump. ***Applied Thermal Engineering*** [online]. 2011. Vol. 31, no. 17–18, p. 3696–3705.

Luz y sabor. Daylight Autonomy de Complex Fenestration Systems

Light and taste. Daylight Autonomy of Complex Fenestration Systems

Urtza Uriarte[1], Joan Lluís Zamora [2], Rufino J. Hernández[3]

ABSTRACT

This work deals with daylighting for indoor quality atmospheres, considering building skins and daylight autonomy (DA). Two Spanish restaurants, Sal Café and Azurmendi, were selected to build virtual model by Rhinoceros program, and then to assess the DA along the year. In the virtual façade two façade system were considered; highly glazed façade; and small window combined by Complex Fenestration System (CFS). The CFS is a prismatic film. The Three-Phase Method of Radiance program was used to obtain the Daylight Autonomy of systems with CFS. DIVA, the Radiance program based program and plugin for Rhinoceros, was used to obtain simulation of DA without complex fenestration systems and to upload the DA results from Three-Phase Method. The results show that next to the façade highly glazed façade has more DA than small window combined by CFS. However, the small window combined by CFS has more DA than highly glazed façade along the space. The design of complex façade could provide better indoor light performance, considering an accurate balance between light level and light perception and taking into account outdoor views.

Key Words. Iluminación natural, Daylight Autonomy, confort visual, ventana, Complex Fenestration Systems, Radiance. Daylighting, Daylight Autonomy, visual comfort, window, Complex Fenestration Systems, Radiance.

(1) Freelance PhD architect, Arrindas 7, Amorebieta-Etxano, Spain. (2) Department of Architectural Technology I, Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTech, ETSAV, Spain. (3) Department of Architectural Constructions, Universidad del País Vasco EHU/UPV, San Sebastián, Spain. +34 615 73 26 93, urtza.uriarte@gmail.com

1. Introduction

Como ya se sabe la iluminación natural es saludable para el bienestar del ser humano. La iluminación natural nos conecta con la naturaleza. Esta conexión nos ayuda a tener un ritmo biológico. Por lo tanto, el diseño de la iluminación natural en arquitectura puede ser útil para los usuarios. Puede ser muy beneficioso para el bienestar del usuario[1].

Muchos diseños de estrategias pasivas de iluminación natural se han perdido. El fácil acceso de la iluminación artificial ha causado la pérdida de control de las aberturas para la entrada de la luz natural. En los últimos años, debido a los conceptos racionalistas de edificio-máquina y la pérdida del límite entre exterior e interior, se han construido fachadas totalmente vidriadas para proporcionar la gran vista exterior. Sin embargo, en muchas ocasiones es difícil tener un buen confort visual interior con este tipo de fachadas.

En este contexto, estamos trabajando en sistemas de fachadas complejas. El primer parámetro que nos da información sobre el ambiente lumínico es el nivel lumínico. Con el actual sistema de Climate-Based Daylighting Modelling (CBDM) podemos simular el nivel lumínico de cada hora a lo largo de todo el año. El índice Daylight Autonomy (DA) nos da información sobre la disponibilidad del nivel lumínico establecido a lo largo de un periodo concreto. Utilizamos este índice para simular y comparar el comportamiento de diferentes sistemas de fachadas [2].

2. Material y método

Las herramientas de simulación utilizadas son Radiance, Three-Phase Method de Radiance y DIVA, el plugin para Rhino basado en Radiance. El método de Radiance, el cual es el motor de cálculo de todas las herramientas utilizadas, es uno de los programas más fiables para simular la iluminación natural, porque tiene la opción de establecer parámetros y saber todos los cálculos realizados [3].

En las últimas décadas, la demanda de la vista exterior en los restaurantes ha aumentado [4]. El paisaje urbano, el paisaje rural y el paisaje marítimo se han revalorizado como escenarios. Además, el sector gastronómico ha evolucionado considerablemente; como resultado, la experiencia de comer se ha convertido parte de nuestra vida social [5]. A menudo, estas dos actividades se presentan integradas. Por lo tanto, los comensales de los restaurantes prefieren sentarse donde se les proporcionan la vista exterior.

De esta manera, dos restaurantes se han seleccionado; uno en el clima mediterráneo, Sal Café; y otro, en clima atlántico, Azurmendi. La simulación de los dos sistemas de fachadas fue implementada en cada restaurante. Primero, con el programa Rhinoceros el modelo virtual de cada restaurante fue construido.

1. Introduction

As it is already know that daylighting is healthy for the wellbeing of the human. The daylighting connects us with nature. This connection helps us to have a biological rhythm. Therefore, the design of daylighting in architecture could be useful for the users. It could be very beneficial to wellbeing [1].

Many designs of passive daylight strategies have been lost. The easy access of electric lighting has caused the loss of the control of opening for the entrance of daylighting. In recent years, due to the rationalism concepts of building us a machine and the loss of barrier between outdoors and indoors, highly glazed façade are being built to provide a great outside view. However, in many times is difficult to have a good indoor visual comfort with this kind of façades.

In this context, we are working on complex façade systems. The first parameter that gives us ambient light information is the light level. With actual Climate-Based Daylighting Modelling (CBDM) we can simulate the light level hourly throughout the year. The daylight autonomy (DA) index gives the information about the availability of target light level throughout a period of time. We used this index to simulate and compare different façade systems behavior [2].

2. Material and methods

The used simulation tools are Radiance, Three-Phase Method of Radiance and DIVA, Radiance's based plugin for Rhino. The method of Radiance, which is the basis of all used tools, is one of the most reliable programs to simulate daylight because it has the option to set the parameters and to know all calculations [3].

In recent decades, outdoor views demand at restaurants has increased [4]. Cityscapes, landscapes, and seascapes as scenery have become valuable. In addition, the gastronomic sector has evolved considerably; as a result, the dining experience has become a part of our social lives [5]. Often, these two activities are shown to be integrated. Therefore, restaurant-goers prefer sitting where they are provided with an exterior side-view.

Accordingly, two restaurants are selected; one in Mediterranean climate, Sal Café; and other one in Atlantic climate, Azurmendi. The simulation of two façade systems was implemented in each restaurant. First, the virtual model of each restaurant was built by Rhinoceros program. After, the two window systems were added to each virtual model; a highly glazed façade; and a window combined by the prismatic film Complex Fenestration System. This two window systems only

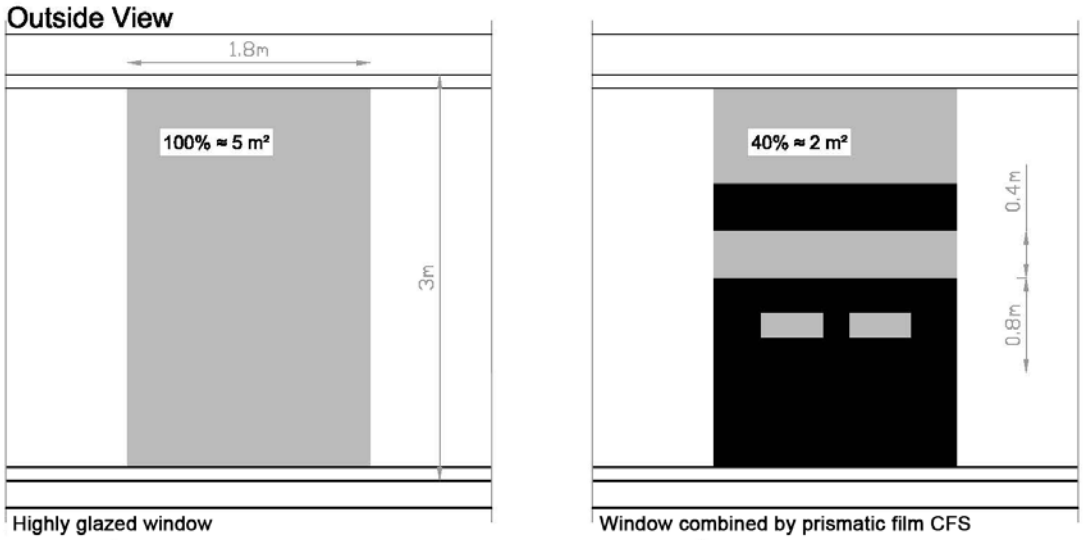


Fig. 1. Dos sistemas de ventana.
The two window systems

Después, los dos sistemas de ventanas fueren añadidos a cada modelo virtual; fachada totalmente vidriada; y una ventana combinada por un Complex Fenestration System de filtro prismático. Estos dos sistemas de ventanas sólo cubren parte de las fachadas. En consecuencia, la pieza de fachada estudiada tiene 2.7 m de alto y 2 m de ancho (ver Figura 1) y la malla de sensores sucesiva a la fachada tiene 5 x5 m^2. Finalmente, el DA del sistema de fachada totalmente vidriada fue obtenido por el DIVA y el DA de la ventana combinada por el CFS de filtro prismático fue obtenido por el Three-Phase Method. Los resultados obtenidos por el Three-Phase Method fueren cargados en el DIVA.

El horario de ocupación fue desde las 11:00 hasta las 17:00 y el nivel de iluminación establecido fue de 300 lux. Además, los parámetros de Radiance fueron; -ab 2 -ad 1000 -as 20 -ar 300 -aa 0.1. Los datos climáticos de Barcelona y Bilbao fueron obtenidos desde la página web de Energy Plus. Los resultados están presentados en diagramas de; una distribución espacial de los sensores y una gráfica con todos los resultados de los sensores. Así, la tendencia de DA de cada sistema de ventana es más fácil de visualizar.

3. Casos de estudio

El restaurante mediterráneo, Sal Café, se encuentra en Barcelona, al este de España, en el clima cálido húmedo del mediterráneo, Csa según la clasificación climática de KöppenGeiger. El clima mediterráneo está entre las latitudes de 30° y 45° al este del país. Está caracterizado como relativamente húmedo, por inviernos suaves y veranos secos. La época de lluvias está interrumpida, entre otoño y primavera. Lo más destacado del verano es la sequedad entre tres y cinco meses; debido al anticiclón dominante subtropical. Pocos días con temperaturas extremas, tanto de calor como frío, por lo tanto, la media anual de las máximas y mínimas son moderadas en Barcelona, típico del clima moderado mediterráneo. El

cover part of the façades. In consequence, the studied piece of façade has 2.7 m in height and 2 m in width (see Figure 1) and the sensor grid following this façade piece has 5 x 5 m^2. Finally, the DA of highly façade systems is obtained by DIVA and the DA of the window combined by prismatic film CFS is obtained by the Three-Phase Method. The results obtained by Three-Phase Method were uploaded to DIVA.

The occupancy schedule was from 11:00 a.m. to 17 p.m. and the light level target is 300 lux. Furthermore the Radiance parameters were; -ab 2 -ad 1000 -as 20 -ar 300 -aa 0.1. The Weather Data from Barcelona and Bilbao were obtained from Energy Plus website. The results are presented in diagrams by; a spatial distribution of the sensors and a graphic with all sensor results. Thus, the trend of the DA of each window system is easier to see.

3. Case studies

The Mediterranean restaurant, Sal Café, is located in Barcelona, east of Spain, under Mediterranean warm humid climate, Csa according KöppenGeiger climate classification. The Mediterranean climate is between 30° and 45° latitude in the east of the country. It is characterized by relatively wet, mild winters and dry summers. The rainy seasons are intermediate, autumn and spring. The most significant climate are the three to five months of dryness in the summer; when under the dominion of the subtropical anticyclone. Few days with extreme temperatures, hot or cold, so the maximum and minimum annual averages in Barcelona are moderate, typical of a mild Mediterranean climate. Overcast skies are not frequent, about 20% per year. Sun hours are many, about more than 2 500 hours per year.

Sal Café restaurant is located on the seafront of Barcelona. The façade in which is intended to



Fig. 2. Restaurantes estudiados; arriba, el restaurante Sal Café; debajo, el restaurante Azurmendi.
Studied restaurants; in the top, Sal Café restaurant; in the bottom, Azurmendi restaurant



Fig. 3. Modelos virtuales de los restaurantes estudiados; arriba, el restaurante Sal Café; debajo, el restaurante Azurmendi.
Virtual models of studied restaurants; in the top, Sal Café restaurant; in the bottom, Azurmendi restaurant

cielo cubierto no es frecuente, un 20% aproximadamente. Las horas de sol son muchas, más de 2 500 horas por año aproximadamente.

El restaurante Sal Café está ubicado en el paseo marítimo de Barcelona. La fachada, al cual se quiere intervenir, está orientada al sureste. El trozo de fachada intervenido tiene 2.7 m de alto y 2 m de ancho y la malla de sensores es de 5 x 5 m^2. Tiene una mesa de 0.7 m x 0.7 m con dos sillas de 0.5 m x 0.4 m. El techo es blanco para redireccionar la iluminación natural hacia el interior. Las paredes interiores son negros, con superficie difusa, y hay unos espejos, con superficies especulares, en los cuales se refleja la vista exterior y proporcionan iluminación.

intervene is oriented to the southeast. The intervened façade piece has 2.7m height and 2 m large and the sensor grid has 5 x 5 m^2. It has one 0.7m x 0.7 m table with two 0.5m x 0.4 m chairs. The roof is white to redirect daylight toward inside. The inside walls are black, diffuse surface, and there are some mirrors, specular surfaces, in which reflected outside view and provide illumination.

The Atlantic restaurant, Azurmendi, is located in Bilbao, north of Spain, under Cantabrian oceanic warm rainy climate, Cfb according Köppen Geiger climate classification. The proximity to the Cantabrian Sea, makes its climate is classified as temperate oceanic with rainfall spread throughout the year, without a well defined dry summer season. The Atlantic climate is about 43° latitude and north of the country. The precipitation is abundant, and given the latitude and atmospheric dynamics, rainy days represent 45% of the annual total, to which must be added the 41% in which the sky is overcast. Around Bilbao overcast sky is very common. The rainy season occurs between October and April, noting November as the wettest. Rainfall usually occurs in the form of showers, very fine mists. This same proximity to the ocean makes that the two most defined seasons of winter summer region and there they remain soft and low intensity thermal oscillations. The average maximum temperature in summer varies between 25 and 26 C, while the average minimum winter dies between 6 and 7 C. The overcast skies are frequent, about 41% per year. Sun hours are not many, about 1 500 hours per year.

Azurmendi restaurant is located near Bilbao. The façade in which is intended to intervene is oriented to the north. The intervened façade piece has 3 m height and 2.5 m large and the sensor grid has 5 x 5 m^2. It has one 1.2 m x 1.2m table with two 0.5m x 0.4m chairs. The roof is grey. Inside there are diffuse surface wood walls that warm the ambient and there are some mirrors, reflecting surfaces, in which reflected outside view and provide illumination [6].

In the virtual models, the relevance surfaces have been prioritized. The color in RGB, the specularity, and roughness values have been the surfaces parameters. Therefore, those parameters have been taken into account to build the virtual models (see Figure 3) [7].

4. Results

The DA distribution is different for each restaurant. That is because although both restaurants have large glazed façades, the Mediterranean Sal Café restaurant has a very large overhang; instead the Atlantic Azurmendi restaurant has not any overhang, because it has north orientation. In addition, Azurmendi has larger glazed façade. Therefore, the contribution of the piece of the

El restaurante atlántico, Azurmendi, se encuentra en Bilbao, al norte de España, en el clima cálido llovioso del cantábrico, Cfb según la clasificación climática de KöppenGeiger. La cercanía del mar cantábrico, hace que este clima está clasificado como templado oceánico con precipitaciones prolongadas a lo largo del año, sin veranos secos bien definidos. El clima atlántico está en la latitud de 43° al norte del país. Las precipitaciones son abundantes, y debido a la latitud y las dinámicas atmosféricas, los días lluviosos representan el 45 % de total del año, y hay que añadir que en 41 % el cielo es cubierto. En las proximidades de Bilbao el cielo cubierto es muy común. La época lluviosa se da entre el mes de octubre y abril, destacando el mes de noviembre como el más húmedo. La lluvia normalmente es suave y constante. Esta cercanía al océano hace que haya dos estaciones definidas como invierno y verano y las oscilaciones térmicas suelen ser suaves y de baja intensidad. La temperatura media máxima de verano varía entre 25 y 26 °C, mientras que la media mínima de invierno baja entre 6 y 7 °C. El cielo cubierto es frecuente, 41 % por año aproximadamente. Las horas solares no son muchas, 1 500 horas por año aproximadamente. El restaurante Azurmendi está ubicado cerca de Bilbao. La fachada, en el cual se quiere intervenir, está orientada al norte. El trozo de fachada intervenido tiene 3 m de alto y 2.5 m de ancho y la malla de sensores es de 5 x 5 m^2. Tiene una mesa de 1.2 m x 1.2 m con dos sillas de 0.5 m x 0.4 m. El techo es gris. Dentro hay paredes de madera con superficies difusas, los cuales hacen más cálido el ambiente y también hay unos espejos, con superficies especulares, en los cuales se refleja la vista exterior y proporcionan iluminación [6].

En el modelo virtual, las superficies relevantes han tenido prioridad. Los valores de color en RGB, la especularidad y la rugosidad han sido los parámetros de las dichas superficies. Por lo tanto, estos parámetros se han tenido en cuenta para construir los modelos virtuales [7].

4. Resultados

La distribución de DA es diferente para cada restaurante. Esto es porque aunque los dos restaurantes tienen una fachada totalmente vidriada, el restaurante mediterráneo Sal Café tiene un voladizo grande; en cambio, el restaurante atlántico Azurmendi no tiene ningún voladizo, porque la fachada está orientada al norte. Asimismo, Azurmendi tiene una fachada vidriada más grande. Por lo tanto, la contribución de la pieza implementada en la fachada no es muy significante, especialmente con el sistema de fachada de ventana en el restaurante Azurmendi.

De esta manera, Azurmendi tiene más DA (96.43 %) con la fachada totalmente vidriada que el DA del Sal Café (49.01 %). En los dos restaurantes la contribución de DA de la ventana combinada por el CFS del filtro prismático incrementa. La tendencia demues-

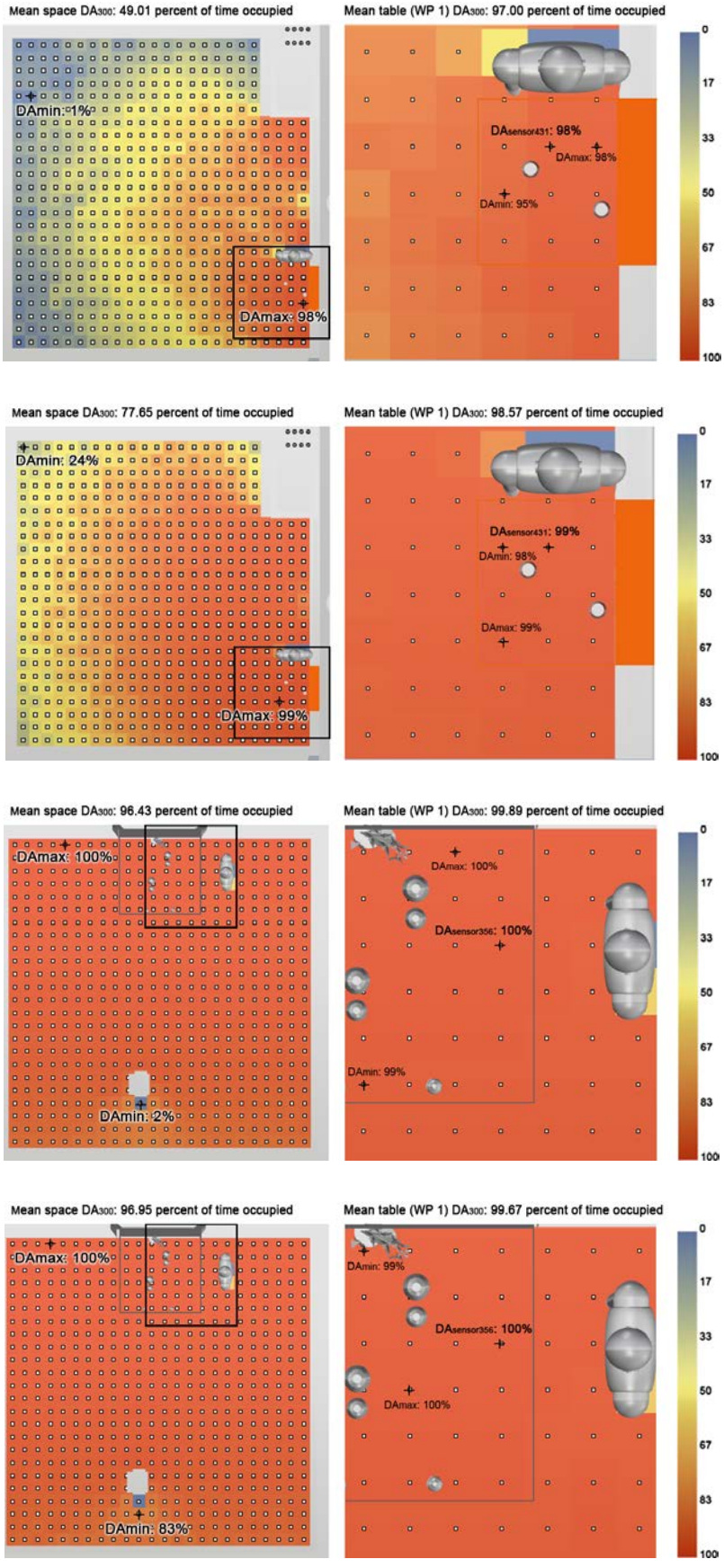


Fig. 4. Distribución de DA; arriba, distribución de DA del Sal Café, izquierda, fachada vidriada, derecha, ventana combinada por CFS; debajo, distribución de DA del Azurmendi, izquierda, fachada vidriada, derecha, ventana combinada por CFS.

DA distribution; in the top, DA distribution of Sal Café, left, highly glazed, right, window combined by CFS; in the bottom, DA distribution of Azurmendi, left, highly glazed, right, window combined by CFS

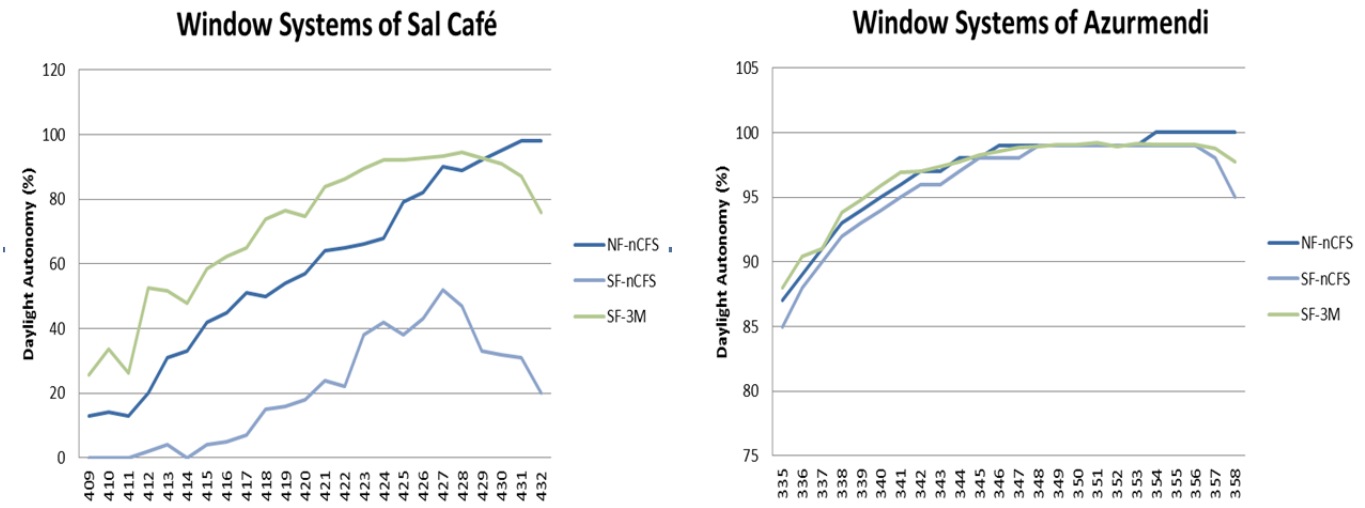


Fig. 5. Gráficos de los resultados de DA; arriba, resultados de DA del restaurante Sal Café; debajo, resultados de DA del restaurante Azurmendi.
Graphics of DA results; in the top, DA results of Sal Café restaurant; in the bottom, DA results of Azurmendi restaurant

tra que el CFS del filtro prismático mejora el comportamiento lumínico incrementando el nivel lumínico y la distribución lumínica. No obstante, difícilmente una fachada con obstrucción, aún estando combinada por un CFS, puede proporcionar más iluminación que una fachada totalmente vidriada. El incremento es porque para cada sistema de ventana se han utilizado dos métodos diferentes. Sin embargo, la ventana combinada por el CFS del filtro prismático puede proporcionar mejor distribución de iluminación que la fachada sólo totalmente vidriada.

Los sensores 432 de Sal Café y el 358 de Azurmendi están adyacentes a la fachada. La distribución de DA de la fachada totalmente vidriada demuestra el considerable decrecimiento en función de la distancia. No obstante, la distribución de DA de la ventana combinada por el filtro prismático 3M demuestra un incremento a una cierta distancia de la fachada. Esta distribución incrementa la uniformidad a lo largo del espacio, incrementando el nivel lumínico interior y evitando considerablemente la percepción oscura del interior.

Conclusiones

Si la malla del espacio es mayor que la pieza implementada en la fachada es difícil saber su contribución de la luz. Para la siguiente simulación, el modelo virtual se debería construir con la misma anchura para la malla y la fachada. Así, podremos saber cuál es la contribución lumínica de la fachada exactamente. Además, todas las simulaciones se deberían de hacer con el mismo método. Por lo tanto, el Three-Phase Method se debería de utilizar para los dos sistemas de ventana; la fachada totalmente vidriada, y la ventana combinada por CFS.

La incorporación de CFS del filtro prismático, sin la obstrucción de arriba, proporciona mejor contribución y distribución de iluminación que sólo con una simple ventana (ver Figure 5). Aunque los resultados del Three-Phase Method tiende a estar sobreestimado.

implemented façade is not very significant, especially in Azurmendi restaurant with window façade system.

Accordingly, Azurmendi has more DA (96.43 %) with highly glazed façade than DA of Sal Café (49.01 %). In both restaurants the contribution of DA of window combined by prismatic film CFS increases. The trend shows that the prismatic film CFS incorporation improves window light performance increasing the light level and light distribution. However, hardly obstructed façade, although it is combined by CFS, could provide more light than highly glazed façade. The increase is because for each window system two different methods have been used. However, window combined by prismatic film CFS could provide better light distribution than only highly glazed façade.

The sensors 432 of Sal Café and 358 of Azurmendi are next to the façade. The distribution of the DA of highly glazed façade shows the considerable decrease according to the distance. However, the distribution of the DA of window combined by 3M prismatic film façade shows the increase at a distance from the façade. That distribution increases the uniformity along the space, increasing indoor light level and avoiding considerable inside dark perception.

Conclusions

If the grid space is bigger than the implemented piece of the façade is difficult to know the light contribution of it. In next simulation, the virtual model with the same grid width and façade width should be built. Thus, we can know what the façade light contribution is exactly. Furthermore, all simulation should be done with the same method. So, the Three-Phase method should be used for both window systems; highly glazed façade, and window combined by CFS.

timados y los resultado del DIVA tiene a estar subestimados que las mediciones reales, el sistema de fachada de ventana combinada por el CFS del filtro prismático proporciona una distribución lumínica más uniforme, incrementando el nivel lumínico interior y evitando una percepción interior oscura. En conclusión, el aprovechamiento de la luz proveniente de una abertura en fachada podría ser mejor con un sistema complejo de fachada.

Para futuras investigaciones, los sistemas complejos de fachada se deberían de evaluar más en profundidad. La evaluación de tres parámetros, nivel, deslumbramiento y color podría ser útil. Probablemente, el control de estos tres parámetros podría ayudar a crear atmosferas lumínicas más complejas.

The incorporation of prismatic film CFS without the obstruction of the top provides better light contribution and distribution than only with a simple window (see Figure 5). Although the results of Three-Phase method trend to be a little overestimated and the results of DIVA trend to be a little underestimated than the real measurements, the façade system of window combined by prismatic CFS provides more light uniform distribution, increasing indoor light level and avoiding indoor dark perception. In conclusion, the use of light incoming façade opening could be better with complex façade systems.

For future investigations, complex façade systems should be assessed more in deep. The evaluation and comparison of three light parameters, level, glare and color could be more useful. Probably, the handling of those three parameters could help to create complex light atmospheres.

BIBLIOGRAFÍA BIBLIOGRAPHY

1 Konis, K. Evaluating daylighting effectiveness and occupant visual comfort in a side-lit open-plan office building in San Francisco, California. Build. Environ. 2013, 59, 662–677.

2 Reinhart C.F., Wienold J. The daylighting dashboard – A simulation-based design analysis for daylit spaces. Building and Environment, 2011; 46: 386-396.

3 Ward G., Shakespeare R.A. (with contributions from Apian-Bennewitz P., Ehrlich C., Mardaljevic J., Phillip E.). Rendering with Radiance: The Art and Science of Lighting Visualization. Morgan Kaufmann Publishers, 1998. ISBN 0-9745381-0-8.

4 Heung, V.; Gu, T. Influence of restaurants atmospherics on patron satisfaction and behavioral intentions. Int. J. Hosp. Manag. 2012, 31, 1167–1177.

5 Ariffin, H.F.; Bibon, M.F.; Abdullah, R.P.S.R. Restaurant's atmospheric elements: What the customer wants. Procedia–Soc. Behav. Sci. 2012, 38, 380–387.

6 Uriarte U., Hernández R.J., Zamora J.L. Light and outside vision at restaurants. Proceedings Advanced Building Skins, Bern 2015; 314-323.

7. Uriarte U., Hernández R.J., Zamora J.L., Isalgue A. Side-View Atmospheres under Outdoor Midday High Luminance. Buildings 2016, 6: 53.



Sesión póster
Poster session

1. Diseño de un edificio de nueva construcción con baja demanda energética y un sistema de climatización basado en una instalación de energía geotérmica

José Ignacio Villarino Otero

2. Modelado energético y simulación calibrada de un bloque de quirófanos en un Hospital en España

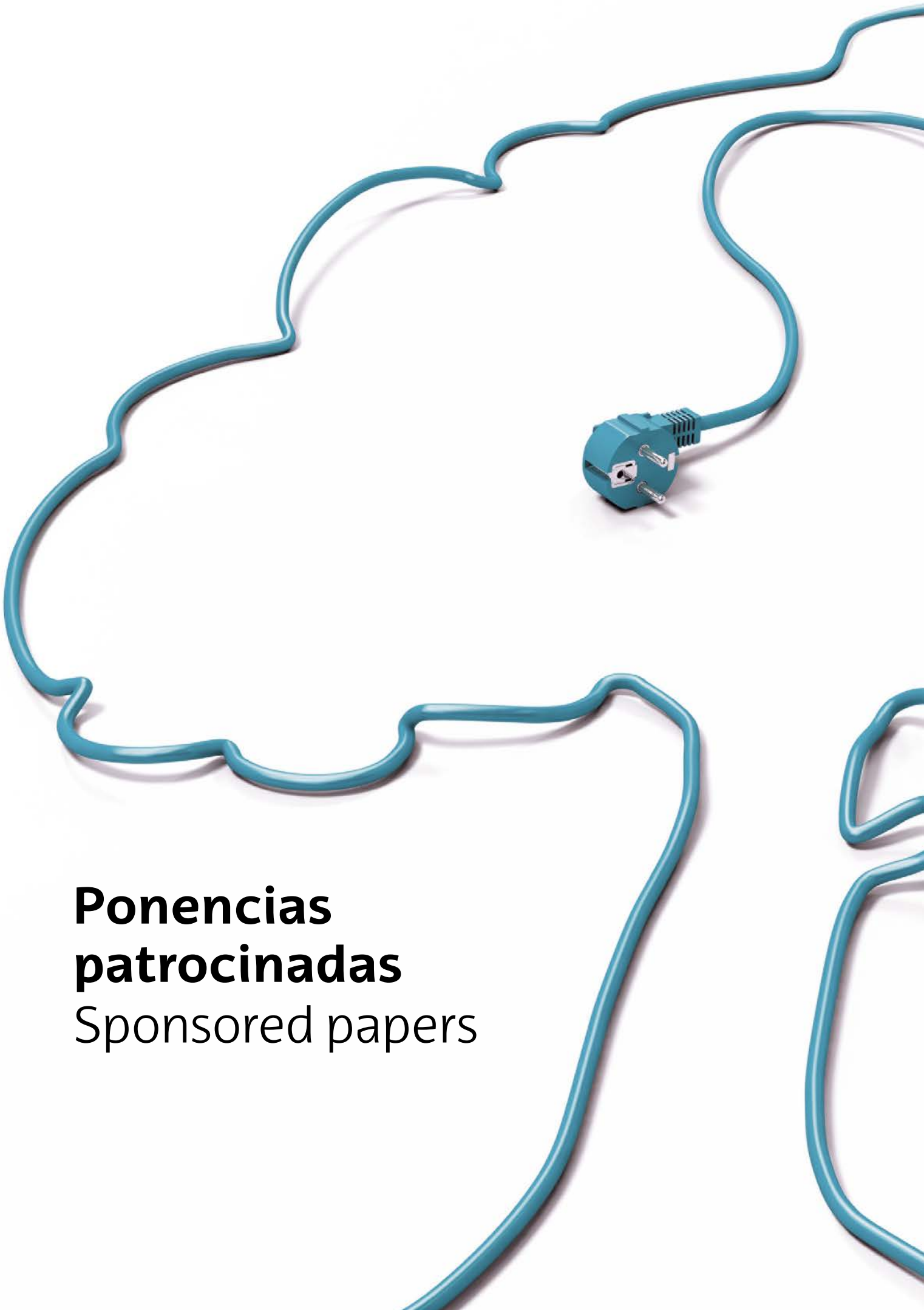
Marta Fernández Rodríguez

3. Evaluación de los aspectos Energéticos y Medioambientales de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea para una planificación urbana sostenible

Cristina Marieta

4. Estimación del coeficiente de pérdida de calor de un edificio de oficinas en uso mediante monitorización básica y técnicas de promedio acumulado

Irati Uriarte Pérez de Nanclares



Ponencias patrocinadas
Sponsored papers

La Europa de la construcción con madera: El ejemplo del País Vasco

The Europe of Timber Construction. The example of Basque Country

Oskar Azkarate[1], Unai Gorroño[2]

ABSTRACT

Baskegur es una asociación profesional, órgano voluntario de encuentro y centro consultivo del sector forestal- madera y las industrias asociadas del País Vasco. En ella están agrupados y representados todos los agentes de la cadena de valor del sector desde la propiedad forestal hasta las empresas de última transformación, incluidas las empresas de bioenergía.

Egoin es una empresa familiar que se inició en el mundo de la madera estructural hacia finales de los años ochenta, creando la empresa Egoin como sociedad en el año 1.990. Desde su origen ha tenido la filosofía de integrar la ingeniería, fabricación propia, logística y el montaje de sus proyectos. Actualmente es una empresa referente en el sector de la construcción en madera en Euskadi y en el Estado, dotado de importantes **medios de producción propios, con dos centros de fabricación altamente equipados para dar servicios de ingeniería y producción de Sistemas industrializados de madera en el sector de la construcción. Actualmente, desarrolla su actividad en países como Francia, Portugal, España, Inglaterra y el resto del mundo.**

En esta ponencia, nuestra intención es dar a conocer que en los últimos 25 años, es evidente la revolución en la innovación de los productos de madera en Europa, y Euskadi es un claro ejemplo.

Key Words. Innovación, Construcción; Futuro; Ejemplo; Madera. Innovation; Construction;Future; Example; Timber

(1) Oskar Azkarate: Director de Baskegur; (Director of Baskegur). oazkarate@baskegur.org; Tlfno: 634410290. Parque Científico y Tecnológico de Bizkaia. Edificio 103, 2ª planta; 48170, Zamudio (Bizkaia). (2) Unai Gorroño : Director Comercial Egoin; (Commercial Director). ugorro@egoin.com; Tlfno : 609147944. Barrio Olagorta, S/N, 48311 Natxitua, BI

1. Introduction

Nosotros estamos en el Norte de España. Euskadi es una pequeña región de alrededor de siete mil kilómetros cuadrados de superficie , y casi dos millones doscientas mil personas de población.

La superficie arbolada abarca aproximadamente el 54% del territorio de la Comunidad Autónoma Vasca con 396.962 hectáreas, lo que supone uno de los ratios más altos de la UE. El 68% de la madera utilizada por las empresas del sector procede de Euskadi, el 30% procede de otras comunidades y el 1% es madera importada.

Las coníferas y en particular el pino radiata constituyen el grueso de las extracciones comerciales (un 79% del total).

2. Evolución de la construcción de madera en Euskadi

Contamos con uno de los cocientes más altos de la zona de bosque en Europa, Nuestro consumo de madera, principalmente en construcción, sin embargo es mucho más bajo que la media europea. Consumimos cerca de un tercio de la media europea.

Sin embargo este no ha sido siempre así. El País Vasco tiene una gran tradición en construcción en madera.

Contamos con muchos ejemplos que tienen 500 años de vida. El caserío ha sido la base principal en la agricultura vasca. Esto condicionaba su arquitectura.

Sin embargo, no solamente los caseríos han jugado un papel importante en la construcción en madera. Una gran cantidad de estructuras de edificios y fachadas las podemos encontrar con carpintería de madera, en los centros históricos de nuestras ciudades.

Después de la crisis económica en España, uno de los nichos de mercado importantes para las empresas de la construcción que están en Baskegur, ha sido la rehabilitación de edificios.

Actualmente, algunos de los productos o sistemas constructivos en madera que más se utilizan regularmente en la obra de construcción de madera han sido llevados fuera del País Vasco. Uno de los que ha evolucionado significativamente ha sido el sistema þballoon framepy "CLT". Empresas como Egoin en el País Vasco, han logrado niveles significativos de preindustrialización, gestionando el trasporte de elementos modulares desde la fábrica hasta la obra en 2 o 3 dimensiones. Este tipo de sistema constructivo es ampliamente utilizado en todo tipo de obras.

Otro escaparate para sostenibilidad y Km0, es el Edificio Tecnológico de Bilbao denominado Digipen. Es el centro de formación líder en el mundo que ofrece programas relacionados con el desarrollo de video-

1. Introduccion

We are in the north of Spain. Euskadi is a small region of a little over seven thousand square kilometers, and a population of almost 2 million two hundred thousand people.

The truth is we are a forestry country or region. Our forest area occupies 54% of the total territory, with almost 400,000 ha, meaning we have one of the highest ratios in Europe. and although this wooded area is equally divided between coniferous trees and leafy trees. The conifers and in particular radiata pine make up the commercial cutting, 79% of the total tree felling.

2. Evolution of the wood construction in the Basque Country

We have one of the highest forest area ratios in Europe, Our timber consumption, mainly in construction is much lower than the european average. We consume close to one third of the european average. however, This was not always the case. The basque country has a strong tradition in wood construction.

There are many examples to be found in some of our over 500 year old buildings. The farmhouses were a key element in the basque country's agriculture. This completely conditioned their architecture.

However, not only the farmhouses played the leading role in wood construction. A multitude of wood built structures and façades with wood carpentry Can be found in most of the urban centres and mainly in the historic quarters of our cities.

After the real estate crisis in Spain, one of the important market niches for the Baskegur wood construction companies has been rehabilitation work. from historical heritage buildings....

Actually, some of the most regularly used constructive systems or products in the wood construction work that has been carried out in the basque country. One that has evolved significantly is the "balloon frame" system. Companies such as Egoin in the Basque Country have achieved significant levels of pre-industrialization, managing to transport finished modular elements from the factory to the worksite in 2 and 3 dimensions. This type of constructive system is widely used in one and two storey worksites,

Another showcase for sustainability and km0, is the Digipen Bilbao of technology building. In this case, the developer is the world's leading training centre offering programs related to videogame development. Egoin built it with radia-

juegos. Egoin estuvo en el proyecto, y construyó con CLT de pino radiata, siendo el primer proyecto de CLT grande de España con una superficie de 2.500 m 2 en planta baja y tres pisos de altura. Más de 1.000 m 3 de madera se utilizaron para construirla.

Para cerrar esta exposición, presentamos lo que ha sido una gran apuesta estratégica para nuestro sector. Después de varios años colaborando con Visesa, compañía pública del gobierno vasco para la promoción de vivienda social, se ha construido el primer edificio alto de viviendas sociales realizado en madera. Se trata de 65 viviendas en régimen de alquiler y venta. La empresa Egoin ha utilizado más de 2.200m3 de madera de pino radiata local, y completó el montaje de los dos bloques de cuatro pisos, con una superficie sobre rasante de 8.400m2, en 10 semanas de trabajo.

Es la mayor construcción residencial en madera en el Sur de Europa.

ta pine. it was spain's first large clt project with a surface area of 2,500m2 on the ground floor and three storeys high. more than 1,000m3 of wood were used to construct it.

To close by presenting what the great strategic commitment has meant for our sector. After several years working, training and collaborating with Visesa, a public company run by the basque government for promoting social housing, we have managed to build the first large official social housing building using wood. The 65 dwellings are for rent and sale. The Egoin company has used 2,200m3 of local radiata pinewood, and covered the four storeyed 8,400m2. This makes it the largest wood building in southeast europe.

Hormigones con materiales de cambio de fase. Nuevas tecnologías para la gestión de energías renovables. Proyecto Inphase

Cesar Bartolomé[1], Lorenzo Olivieri[2], José Antonio Tenorio[2], David Revuelta[2], José Sanchez Ramos[3], Servando Alvarez Dominguez[3], Lidia Navarro[4], Luisa F. Cabeza[4], José Luis Cano Aguarón[5]

(1) Spanish Institute of Cement and its Applications, C/ José Abascal 53, Madrid, Spain, cabrtolome@ieca.es. (2) Eduardo Torroja Institute for Construction Science, Spanish National Research Council, C/ Serrano Galvache 4, Madrid, Spain, olivieri@ietcc.csic.es, tenorio@ietcc.csic.es. (3) Higher Technical School of Engineering, University of Seville, C/ de Los Descubrimientos, Seville, Spain, jrs@us.es, salvarez@us.es. (4) GREA Innovació Concurrent, University of Lleida, C/ Pere de Cabrera, Lleida, Spain, lnavarro@diei.udl.cat, lcabeza@diei.udl.cat. (5) INDAGSA, Grupo Ortiz, Av. del Ensanche de Vallecas 44, Madrid, Spain, pepe.cano@grupoortiz.com

1. Introducción

En la actualidad, el sector de la edificación supone aproximadamente el 40% del consumo energético actual en Europa. En el caso de España, dicho consumo representa un 24% del consumo total de energía[1] y, dentro de los edificios, el consumo energético relativo a la climatización de los mismos representa el 42 % del total. Por otro lado, el consumo energético de un edificio residencial durante en la fase de uso representa aproximadamente el 80-90%[2] del consumo total de energía de dicho edificio a lo largo de su ciclo de vida.

Esta realidad, unida a la carestía energética existente a nivel mundial, ha provocado un doble efecto. Por un lado, los usuarios son cada vez más conscientes del coste energético al que se enfrentan y, por otro lado, las administraciones públicas han tomado conciencia de la importancia de limitar el consumo energético en la edificación como vía para combatir el cambio climático y reducir la dependencia energética con el exterior.

En este contexto, se han promulgado iniciativas legislativas tanto a nivel europeo (Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y Del Consejo, de 19 de mayo de 2010) como a nivel nacional (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, y la Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía» del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo), que están dirigiendo el mercado hacia unas exigencias energéticas cada vez mayores en lo referente a las soluciones constructivas empleadas tanto en obra nueva como en trabajos de rehabilitación.

2. El problema de los edificios de consumo de energía casi nulo

A pesar de que tanto las administraciones públicas como los técnicos están realizando un esfuerzo considerable para lograr que tanto el parque de edificios existente como los edificios de nueva construcción sean edificios de alta eficiencia energética, la falta de definición de un edificio de consumo de energía casi nulo es una barrera importante para la consecución de los objetivos.

La definición vigente de un ECCN es un "Edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto. 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".

Se trata de una definición cualitativa que no permite a los técnicos construir edificios con un objetivo de diseño cuantificable. Los criterios "muy alto", "en muy amplia medida" o "in situ o en el entorno" plantean problemas irresolubles para arquitectos e ingenieros. Surgen preguntas que deben resolverse como: ¿cuál es la demanda energética máxima de climatización de un ECCN?, ¿cuál es el porcentaje de cobertura de renovables que deben tener este tipo de edificios? ¿las redes de distrito se consideran "entorno"?

Todos los países están trabajando con mayor o menor intensidad en la implementación de los ECCN, pero sería deseable que se avanzara más rápidamente en la concreción de los requisitos de manera que la adaptación del sector a las nuevas exigencias se pueda hacer gradualmente, y sea posible esa transformación del sector, que debe tener una importante componente de innovación.

3. La inercia térmica. Estructuras activadas térmicamente

Para reducir el consumo energético y, por lo tanto, las emisiones de CO_2, es previamente necesario reducir la demanda de energía del edificio mediante sistemas pasivos de aislamiento, si bien, es imprescindible complementar esta estrategia con sistemas capaces de acumular y devolver calor en régimen dinámico. Este tipo de sistemas requieren de un material con una elevada inercia térmica que permita dicha acumulación de calor, como es el caso del hormigón.

Una definición sencilla de inercia térmica es la capacidad que tiene la masa de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente. Gracias a esta capacidad, teniendo en cuenta la inercia térmica de la estructura de un edificio (cerramientos y forjados), puede disminuirse la necesidad de climatización, con la consecuente reducción de consumo energético y de emisiones contaminantes.

La inercia térmica mejora el comportamiento energético de los edificios porque permite la amortiguación en la variación de las temperaturas y el desfase de la temperatura interior respecto a la exterior.

En el caso de una situación con elevada temperatura exterior y radiación solar, la temperatura exterior se eleva produciéndose una transferencia de calor hacia el interior del edificio. La evolución de la temperatura de la cara exterior presenta un máximo (máxima amplitud) en un momento en concreto

1 Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE)

2 " Common carbon metric for measuring energy use and reporting greenhouse gas emissions from building operations", UNEP Sustainable Buildings and Climate Change Inititative.

del día en función de la ubicación y orientación del edifico. Esta onda de temperatura exterior se ve amortiguada, en cuanto a amplitud, al atravesar el cerramiento, surgiendo además un desfase entre los instantes en los que se produce un pico de temperatura. El efecto de desfase y amortiguamiento permite que el edificio permanezca más tiempo en la zona de confort sin necesidad de gasto energético adicional lo que permite ahorros de manera gratuita ya que son inherentes al material.

(Fig.1) Esta propiedad se utiliza en construcción de manera pasiva para conservar la temperatura del interior de los edificios más estable a lo largo del día, mediante muros y forjados de gran masa. En invierno, durante el día se calientan, y por la noche, más fría, van cediendo el calor al interior. En verano, por la noche se enfrían, para ceder este frío al ambiente a lo largo del día siguiente.

Existe también la posibilidad técnica de activar la inercia térmica del hormigón mediante un sistema embebido de tubos por los que se circula agua conectado a su vez a una fuente de calor y/o frío. En estos sistemas, se acumula energía en la estructura, generalmente forjados pero también en cerramientos, para calentar o enfriar las estancias según la demanda.

Desde el punto de vista del consumo, las dos principales ventajas de este tipo de sistemas son:

• La acumulación de energía se hace de manera constante, eliminando picos y, por lo tanto, reduciendo el tamaño y la potencia de los equipos de climatización, por lo que se reduce el consumo.

• La acumulación de energía se hace durante las horas valle, cuando el coste de la energía es menor.

(Fig. 2) Desde un punto de vista de confort térmico, estos sistemas proporcionan paramentos fríos o cálidos, mucho más agradables que las corrientes de aire procedentes de otros sistemas de climatización.

4. La gestión de energías renovables

Además de las exigencias en lo relativo al consumo, otro de los requisitos de los ECCN es la utilización de fuentes de energía exclusivamente renovables para cubrir su consumo (que debe ser bajo). Sin embargo, las energías renovables presentan una incertidumbre en su generación que limita su gestión dentro del sistema eléctrico.

El almacenamiento de energía a nivel de red mediante baterías situadas en las centrales es prácticamente irrealizable a gran escala. Para ponerlo en contexto, la batería más grande de este tipo está en China, ocupa el mismo espacio que un campo de fútbol y almacena 36 MW·h, lo suficiente para alimentar sólo 12.000 hogares durante sólo una hora.

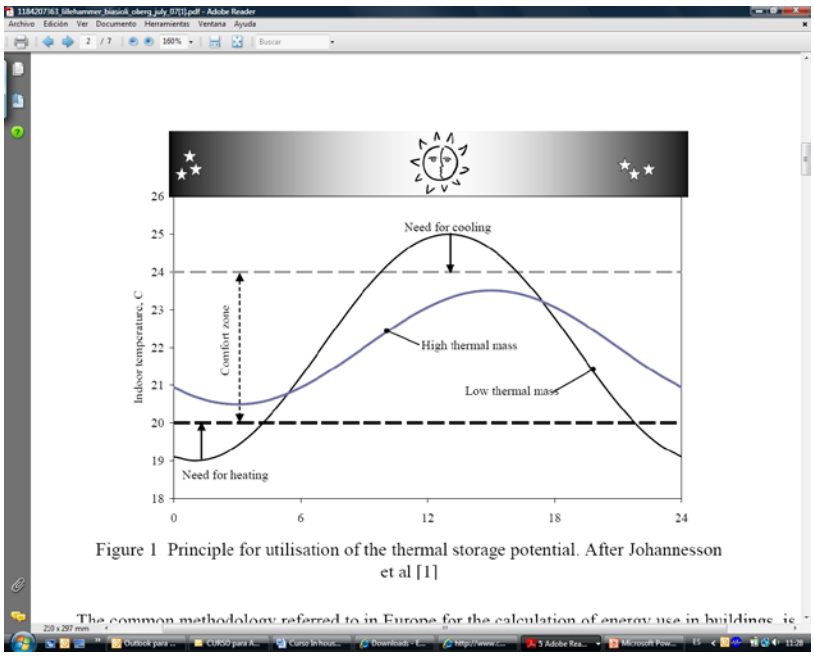


Figure 1 Principle for utilisation of the thermal storage potential. After Johannesson et al [1]

Fig.1. Atenuación de los picos de temperatura gracias a la inercia térmica del hormigón en cerramientos.

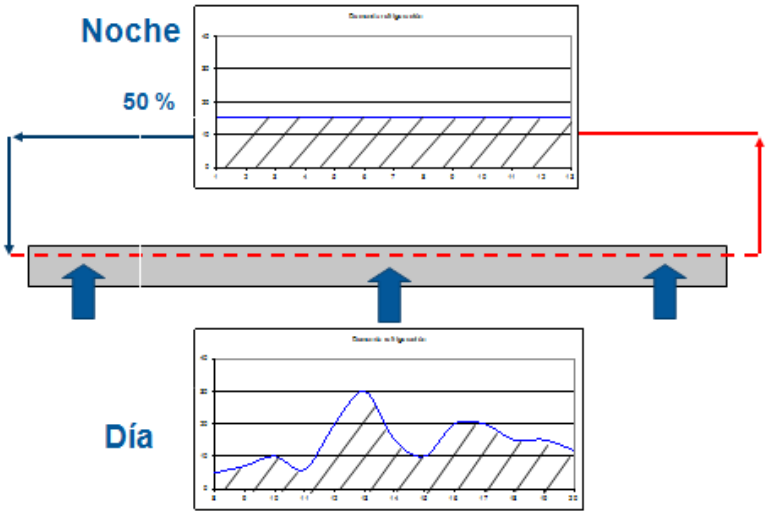


Fig. 2. Esquema de funcionamiento de un sistema inercial activado térmicamente (gráfico de Antonio Peñalver, IDOM)

La opción más interesante es guardar la energía de forma distribuida en baterías en los hogares y su entorno cercano o utilizar los sistemas inerciales de la estructura de los edificios como baterías alternativas. De hecho, ya existe una experiencia piloto en la que el Instituto Austríaco del Cemento analizó la posibilidad de cubrir la demanda energética de climatización de un edificio de hormigón únicamente con energía eólica, utilizando los forjados de la vivienda como baterías.

Se trata de una vivienda unifamiliar de dos plantas en la que los forjados estaban activados térmicamente mediante bombas de calor y frío alimentadas exclusivamente con energía eólica.





Figura 3: fotos de la vivienda unifamiliar objeto de estudio en Austria

Tabla 1: Comparación de la densidad energética entre almacenamiento con calor sensible y almacenamiento con calor latent (o PCMs) [Cabeza 2012*].

Tecnología de almacenamiento	Material	Energía almacenada [MJ/m^3]	Energía almacenada [kJ/kg]	Comentarios
Calor sensible	Granito	50	17	ΔT = 20 ºC
	Agua	84	84	ΔT = 20 ºC
Calor latente	Agua	306	330	$T_{fusión}$ = 0 ºC
	Parafina	180	200	$T_{fusión}$ = 5 - 130 ºC
	Sal hidratada	300	200	$T_{fusión}$ = 5 – 130ºC
	Sal	600-1,500	300-700	$T_{fusión}$ = 300 - 800 ºC

* Cabeza, L.F. Thermal Energy Storage, In: Sayigh A. (ed.) Comprehensive Renewable Energy, 2012, Vol. 3, pp. 211-253. Oxford: Elsevier.

(Fig.3) Los resultados fueron, con carácter general, muy satisfactorios, si bien existían varias ventanas de 5-6 días de duración en las cuales la demanda del edificio no se pudo cubrir únicamente con energía eólica y fue necesario recurrir a fuentes alternativas.

Esta limitación en la gestión de las energías renovables se debe a la capacidad limitada de almacenamiento de los forjados activados térmicamente. Esta limitación puede superarse mediante la activación de otros elementos estructurales, como los cerramientos o mediante la utilización de materiales innovadores que se integren en la estructura y permitan incrementar la capacidad de almacenamiento natural del hormigón.

5. Los materiales de cambio de fase. Proyecto INPHASE

Los materiales de cambio de fase son una tecnología madura que permite el almacenamiento de energía en forma de calor latente aprovechando el elevado valor de la entalpía del cambio de fase. Existen diferentes tipos[3], siendo su capacidad de almacenamiento de energía del orden de quince veces superior a la capacidad de almacenamiento del hormigón (ver Tabla 1).

Los beneficios que aportan este tipo de materiales en soluciones constructivas para edificación se han demostrado en diferentes proyectos de investigación[4]. Sin embargo, dichas investigaciones han tenido una aplicación práctica en el mercado muy reducida, y prácticamente nula en el caso de soluciones constructivas en hormigón, principalmente porque no se ha logrado su industrialización.

En el ámbito del hormigón existen investigaciones, en general no comerciales, sobre la integración de PCMs. La incorporación de los PCMs en el hormigón tiene efectos sobre sus prestaciones: reducción de la resistencia, disminución de la densidad, menor conductividad térmica, etc.

La disminución de la resistencia que se produce con la inclusión de PCMs es una desventaja, pero

3 Abhat, A.: "Latent Heat Thermal Energy Storage in the Temperature range 20-80°C". (1978) (Bericht IKE 5-209).

4 Use of microencapsulated PCM in buildings and the effect of adding awnings, Pablo Arce et al., Energy and Buildings, Octubre 2011.

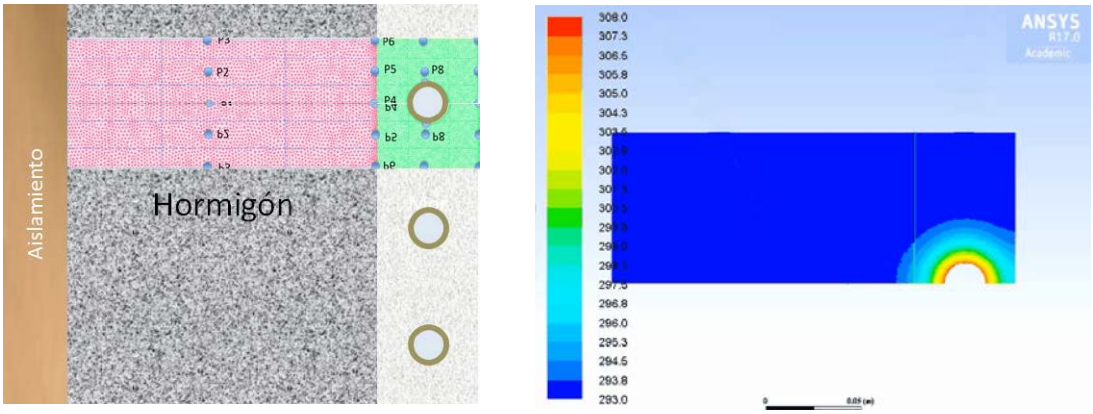


Fig. 4. modelización del comportamiento de un mortero con PCMs utilizado en cerramientos de fachada

no significativa, ya que este tipo de material se utiliza por sus prestaciones térmicas y no mecánicas. Además, como se trata de un material de alto valor añadido y coste elevado, se busca que su utilización sea específica y no masiva, por lo que no se busca su utilización con fines estructurales dentro del edificio.

Sin embargo, la modificación de las variables energéticas del hormigón debido a la utilización de los PCMs sí supone un reto tecnológico. La disminución de la densidad y de la conductividad térmica provoca que el comportamiento de este material sea ligeramente diferente al del hormigón tradicional. Las principales características de este material son:

- El material tiene una mayor capacidad de almacenamiento que el hormigón tradicional.
- Su baja densidad y menor conductividad térmica hace que su activación mediante ventilación sea muy complicada. Es necesaria su activación mediante tubos de agua.
- Los ciclos de carga y descarga del material se alargan en el tiempo.

En el proyecto INPHASE se han analizado estas propiedades en función del porcentaje de PCMs dosificados en peso con respecto al peso total del hormigón, desde un 5% hasta un 20%, para su utilización en cerramientos prefabricados de hormigón para fachadas. Adicionalmente al estudio del material, se ha modelizado su comportamiento térmico mediante CFDs.

(Fig. 4) La principal conclusión obtenida es que las características del material permiten alargar los ciclos de carga y descarga, de manera que es posible pasar de un ciclo diario a un ciclo que podría llegar a ser semanal, cubriendo totalmente las demandas de calefacción y de refrigeración del edificio sin necesidad de sistemas adicionales.

A priori, esta tecnología permitiría que tanto la carga como la descarga del material se hicieran exclusivamente con energía renovable, superando las limitaciones que presenta un hormigón tradicional y eliminando las posibles incertidumbres en la generación que pudieran existir.

6. Potencial de aplicación

Las investigaciones realizadas durante el proyecto INPHASE han permitido desarrollar un material con un gran potencial de aplicación tanto en obra nueva como en rehabilitación.

Al tratarse de un producto específico que necesita poco volumen, no incrementa significativamente las cargas muertas de la estructura, por lo que no penaliza el coste global de la misma. Por este motivo, su utilización es idónea en el caso de obras de rehabilitación energética, ya que se puede incorporar a los forjados tradicionales de vigueta y bovedilla, incrementando considerablemente la inercia térmica de estructuras que carecen de esta propiedad y permitiendo la utilización de tecnologías basadas en la activación térmica de elementos mediante energías renovables.

Además, su versatilidad permite su uso tanto en cerramientos como en forjados térmicamente activados e incluso la combinación con tecnologías complementarias como pueden ser los suelos radiantes.

Pero el verdadero potencial de este material radica en su elevada capacidad de almacenamiento y en la extensión de los ciclos de carga y descarga de un intervalo diario a un intervalo de 3 ó 4 días e incluso semanal, en función de la dosificación.

Esta característica, en combinación con sistemas inteligentes de gestión basados en el desarrollo de las TICs y de la gestión de datos (“Big Data”), que tengan en cuenta la generación de energías renovables, el coste de dicha energía, la predicción meteorológica, el comportamiento del usuario,... permitirá superar las limitaciones del experimento austríaco y cubrir la demanda de climatización de cualquier tipo de edificio con energías estrictamente renovables, ayudando a la consecución

de los objetivos europeos en materia de eficiencia energética en edificación.

Conclusiones

La inercia térmica del hormigón tradicional se ha demostrado como una herramienta de diseño muy potente para mejorar la eficiencia energética de los edificios.

Además, los hormigones y morteros con PCMs multiplican la capacidad de almacenamiento del hormigón tradicional y permiten una gestión completa de las energías renovables siempre y cuando se combinen con sistemas inteligentes de gestión que tengan en cuenta las principales variables que afectan al comportamiento energético del edificio.

Ahora bien, la utilización de sistemas inerciales no solo aporta beneficios a los usuarios de los edificios donde se implementan, sino que beneficia al sistema en su conjunto. La utilización de edificios como baterías de almacenamiento, aplana la curva, eliminando los picos de demanda y, por lo tanto, también de producción. Este tipo de sistemas evitan el sobredimensionamiento del sistema de generación para momentos puntuales y, además, permite aprovechar la sobreproducción existente en las horas valle.

Las empresas de generación eléctrica deberían demandar este tipo de tecnología, puesto que les permitiría una mejor explotación de la capacidad instalada, con un mayor uso anual de las instalaciones que ahora mismo únicamente se utilizan para cubrir ciertos picos de demanda. De esta manera, serían capaces de satisfacer las necesidades futuras de energía sin acometer nuevas y costosísimas inversiones. De hecho, en países como Suecia, las compañías de generación eléctrica han iniciado un proceso de análisis de los beneficios que los edificios inerciales tendrían para ellas.

Por este motivo, parece razonable que las administraciones públicas, en cooperación con las compañías de generación eléctrica, incentiven la utilización de sistemas inerciales en edificios nuevos y existentes mediante bonificaciones tarifarias u otros instrumentos financieros que ayuden a generalizar este tipo de tecnologías.

BIBLIOGRAFÍA

1 "Common carbon metric for measuring energy use and reporting greenhouse gas emissions from building operations", UNEP Sustainable Buildings and Climate Change Inititative.

2 Abhat, A.: "Latent Heat Thermal Energy Storage in the Temperature range 20-80°C". (1978) (Bericht IKE 5-209).

3 Cabeza, L.F. Thermal Energy Storage, In: Sayigh A. (ed.) Comprehensive Renewable Energy, 2012, Vol. 3, pp. 211- 253. Oxford: Elsevier.

4 Use of microencapsulated PCM in buildings and the effect of adding awnings, Pablo Arce et al., Energy and Buildings, Octubre 2011.

5 "Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios", FENERCOM, 2014.

6 "Hormigón para edificios energéticamente eficientes. Los beneficios de la inercia térmica", Plataforma Tecnológica Española del Hormigón, Revista Cemento Hormigón, Febrero 2008 / Nº 911, ISSN: 0008-8919. PP.: 54-70

7 "Los requisitos del Código Técnico de la Edificación. Eficiencia energética e incremento de la sostenibilidad. Aplicación a los edificios de hormigón", José Antonio Tenorio Ríos et al., Revista Técnica Cemento Hormigón, marzo-abril 2010 Nº 937, ISSN: 0008-8919. PP.: 60-81.



Patrocinadores
Sponsors

BaskEgur

ASOCIACIÓN DE LA MADERA DE EUSKADI
EUSKADIKO EGURRAREN ELKARTEA

Parque Científico y Tecnológico de Bizkaia
Edificio 103, 2ª planta, 48170 en Zamudio, Bizkaia.

Baskegur, asociación profesional representativa del sector forestal madera vasco, es el órgano voluntario de encuentro y centro consultivo de nuestro sector y de sus industrias asociadas. Incorpora toda la *cadena de valor del sector*, desde la propiedad forestal, las empresas de servicios forestales, rematantes, empresas de primera transformación (sierras y embalajistas), industria de la pasta y el papel, empresas de segunda transformación (mueble, estructura, carpintería, etc.) y cerrando la cadena, también a empresas de bioenergía.

Para poder dinamizar e impulsar los diferentes proyectos de manera agrupada y que puedan responder a las necesidades de agentes de diferente perfil y con diferentes necesidades, trabajamos principalmente en 5 áreas estratégicas. COMPETITIVIDAD, COMUNICACIÓN, MEDIO AMBIENTE- SOSTENIBILIDAD, INTERNACIONALIZACIÓN Y FORMACIÓN.



egoin
ZUREZKO ERAIKUNTZAK
CONSTRUCCIÓ EN FUSTA










Egoin 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.

Egoin 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 bosque que nos proveen.

proximidad
naturaleza
valor ecológico
elementos modulares
progreso
equilibrio
eficiencia energética
compromiso
harmonía
implicación
versatilidad
edificios exclusivos
servicio
innovación
implicación
tecnología

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, compartámoslo.

#FuturoCompartido



Accede a más contenido en
http://tecnalia.com/fabricadelfuturo/

Llámanos al **902 760 000**



tecnalia Inspiring Business

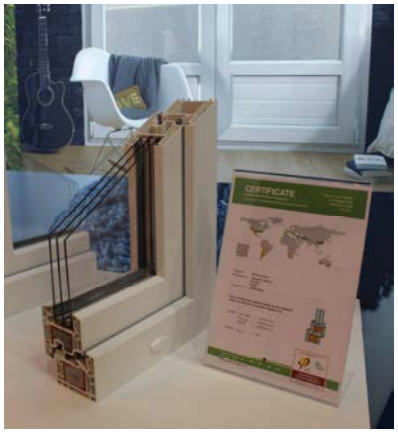


El Grupo **VEKA** es el mayor extrusor y líder mundial dedicado exclusivamente al diseño, y desarrollo de perfiles de **PVC para carpintería exterior**. Con sede principal en Alemania, y avalada por sus más de 45 años de experiencia, VEKA está presente en 3 continentes, a través de sus 36 filiales y 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 14.000m^2 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**

GBCe miembro asociado

Siga a VEKA Ibérica en:

El Blog de Veka
Eficiencia en tus ventanas
www.elblogdeveka.es

VEKA Sistemas de Ventanas de Pl
CON DE VOSOTRO

VEKALIDAD

Mucho más que un producto excelente

¿QUIERE SABER POR QUÉ LOS MEJORES FABRICANTES TRABAJAN CON EL LÍDER MUNDIAL?

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

VEKA

Sistemas de Ventanas de PVC

CON V DE VOSOTROS

CAMINOS EUSKADI

COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
PORTU, UBIDE ETA BIDEETAKO INGENIARIEN ELKARGOA

El Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Euskadi está formado por un colectivo de más de **1.000 profesionales** expertos en materia de **movilidad, gestión del entorno urbano, del litoral y del medio fluvial.**

Los **Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos**, como grandes conocedores del **medio físico**, tenemos por delante el importante reto de la **mitigación y adaptación** de los efectos del **cambio climático**.



El Colegio tiene una clara **vocación y compromiso de utilidad pública** en las áreas de ejercicio profesional de sus colegiados. Como muestra de ello, en la actualidad, a través de una estructura de **comisiones y grupos de trabajo**, más de **100 colegiados** están implicados en la creación de **nuevos escenarios de participación y colaboración** con diferentes Instituciones y Agentes de la Sociedad de Euskadi.

www.caminoseuskadi.com bilbao@ciccp.es
Juan Ajuriaguerra 35, solairuartekoa-entreplanta •48009 Bilbao



Principales áreas de ejercicio profesional de los **ingenieros de caminos**:

- **Urbanismo y ordenación del territorio**
- **Ingeniería de la ciudad**
- **Movilidad y transportes**
- **Puertos y costas**
- **Hidráulica y energía**
- **Edificación**
- **Actividad concesional**
- **Medioambiente**
- **Solución extrajudicial de conflictos**

CAMINOS EUSKADI

www.caminoseuskadi.com bilbao@ciccp.es
Juan Ajuriaguerra 35, solairuartekoa-entreplanta •48009 Bilbao

ASOCIACION VIZCAINA DE EXCAVADORES

ASOCIACION VIZCAINA DE EXCAVADORES-BIZKAIKO INDUSKARI ELKARTEA (AVE-BIE)
Lutxana, 6, 2º Dcha 48008 Bilbao
Tfno: 944 156 558/ 608875828
Correo electrónico: ave@ave-bie.com

La Asociación Vizcaína de Excavadores-Bizkaiko Induskari Elkartea (AVE-BIE), es la organización que representa a las empresas del sector de excavación y obra civil de Bizkaia. Desde 1977 las empresas han experimentado una evolución constante y su actividad ha pasado de ser exclusivamente de movimiento de tierras a dar el salto a la obra civil.

AVE-BIE ha iniciado un proceso de reflexión estratégica que va a desembocar en una transformación como organización. Para ello la referencia principal será las políticas del gobierno vasco y como organización debemos alinearnos con ellas.

Son muchas las oportunidades que se nos van a presentar en el futuro, tanto en edificación como en regeneración urbana y desde AVE-BIE somos conscientes de que para poder aprovechar estas oportunidades debemos hacerlo a través del compromiso y la colaboración entre las empresas que conforman nuestra organización. Debemos estar posicionados y ofrecer un valor añadido a nuestra actividad, y esto lo tenemos que hacer siendo más innovadores, más sostenibles y más profesionales. Así conseguiremos el objetivo de ser tenidos en cuenta por parte de la administración como la organización referente de las empresas de obra civil de nuestro territorio.

En estos momentos, además de en este proceso de reflexión estratégica, AVE-BIE ha conformado una serie de grupos de trabajo en varias áreas concretas:

- **Medioambiental:** Con proyectos colaborativos de reducción de huella de carbono
- **Formación:** Con proyectos de formación ocupacional
- **Renovación de Maquinaria:** Con proyectos para logra acceder a ayudas directas para renovar nuestra maquinaria.





Auzofactory de Rekalde
Gordoniz 44, 1ª planta
48002 Bilbao (Bizkaia)

ESLE es la Asociación de Empresas de Tecnologías Libres y Conocimiento Abierto de Euskadi. Fundada en 2005, cuenta con cerca de 40 empresas asociadas y más de 1.500 profesionales. Actualmente es el máximo representante sectorial y empresarial del sector de Tecnologías Open ante las Administraciones Públicas de la Comunidad Autónoma Vasca.



ESLE tiene como objetivo principal defender y promocionar los intereses de las entidades empresariales generadoras y usuarias de tecnologías libres, mediante la generación, ejecución y/o acompañamiento en programas estratégicos y proyectos, basados en Tecnologías Open, con el fin de lograr la competitividad de sus empresas y la generación de riqueza en sus entornos (desde el local hasta el global), de forma responsable y abierta.

La visión de ESLE se concreta en "**Ser un referente internacional de las industrias del conocimiento libre mediante la puesta en valor del talento**".

Para ello pone en marcha las siguientes líneas de trabajo estratégicas:

- **Potenciar** el sector Open: software libre, tecnologías abiertas, innovación abierta, conocimiento abierto….
- **Impulsar** y hacer crecer a sus empresas asociadas y al sector.
- Abrir puertas para la **internacionalización** de las empresas asociadas.
- Fomentar los proyectos de **I+D+i e innovación en colaboración** y con tecnologías abiertas de las empresas asociadas.
- Buscar **oportunidades de negocio** para sus empresas en el ámbito de las tecnologías y el conocimiento abierto.
- **Formar** en tecnologías abiertas y difusión de las mismas.
- Promover **proyectos innovadores** en tecnologías abiertas.
- Promover la participación de las empresas asociadas en **proyectos de colaboración intersectorial**.

eman ta zabal zazu

Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitatea