



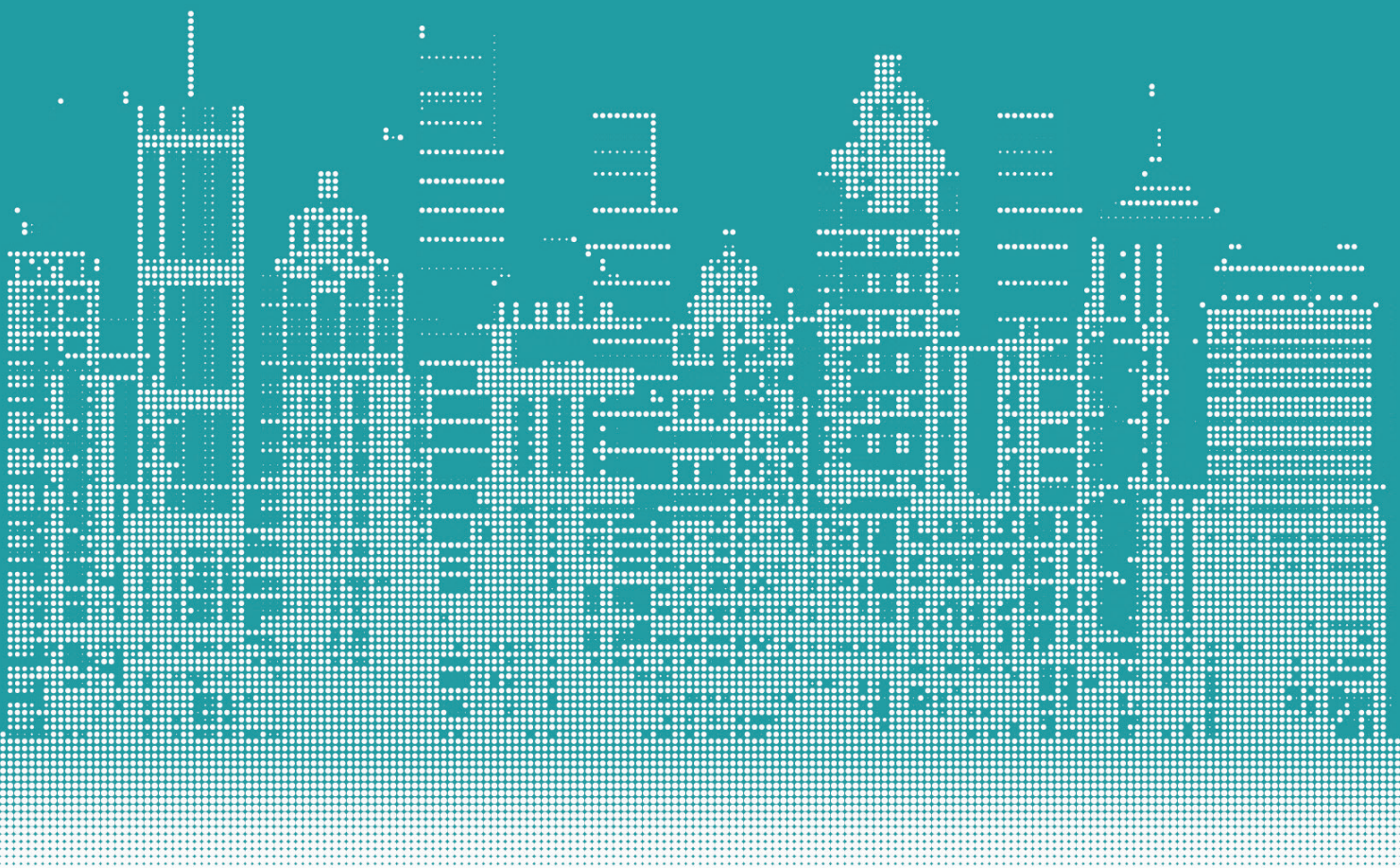
EESAP11
CICA4

EUROPEAN CONGRESS 2020
1-2 DECEMBER • ONLINE

Disruption

11th EUROPEAN CONFERENCE ON ENERGY EFFICIENCY AND
SUSTAINABILITY IN ARCHITECTURE AND PLANNING

4th INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED CONSTRUCTION



eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

CIP. Biblioteca Universitaria

Congreso Europeo sobre la Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura y Urbanismo (11º. 2020)

Disruption [Recurso electrónico]: 11º Congreso Europeo sobre Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura y Urbanismo – 4º Congreso Internacional de Construcción Avanzada = 11th European Conference on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture and Planning – 4th International Congress of Advanced Construction : On line 1-2 Diciembre 2020 / [editor] Rufino J. Hernández Minguillón. – Datos. – Bilbao : Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, Argitalpen Zerbitzua = Servicio Editorial, 2020. – 1 recurso en línea : PDF (220 p.)

Congreso organizado por el grupo de investigación CAVIAR, Calidad de Vida en la Arquitectura de la UPV/EHU y el clúster de construcción ERAIKUNE, en el marco de los Cursos de Verano.

Texto bilingüe en español e inglés.

Modo de acceso: World Wide Web

ISBN. 978-84-1319-308-3.

1. Arquitectura sostenible - Congresos. 2. Arquitectura y economías de energía. I. Hernández Minguillón, Rufino J., ed. II. Congreso Internacional de Construcción Avanzada (4º. 2020)

(0.034)620.9:720(063)

EDITOR

Rufino J. Hernández Minguillón

DISEÑO

Matxalen Etxebarria Mallea

Elena Moreno Jordana

EDITA

© Universidad del País Vasco/Euskal

Herriko Unibertsitatea, Servicio

Editorial/Argitalpen Zerbitzua, 2020.

ISBN: 978-84-1319-308-3.

**11º CONGRESO EUROPEO SOBRE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD EN
ARQUITECTURA Y URBANISMO / 4º CONGRESO INTERNACIONAL DE CONSTRUCCIÓN
AVANZADA**

11th EUROPEAN CONFERENCE ON ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY IN
ARCHITECTURE AND PLANNING / 4th INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED
CONSTRUCTION

Disruption

RUFINO J. HERNÁNDEZ MINGUILLÓN

Online, 1 - 2 Diciembre 2020

COMITÉ ORGANIZADOR / ORGANISING COMMITTEE

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

Rufino J. Hernández Minguillón (Presidente, CAVIAR)
Matxalen Etxebarria Mallea, Jorge Otaegi de Arce (CAVIAR)
Jon Ansoleaga Ugarte, Maialen Oregi Arbide, Ana Ortega Paris, Nerea García Berriozabal (ERAIKUNE)

COMITÉ CIENTÍFICO / SCIENTIFIC COMMITTEE

Fernando Bajo Martínez de Murguía
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Javier Cenicacelaya Marijuan
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Xabier Barrutietia Basurko
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Olatz Grijalba Aseguinolaza
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

José María P. Sala Lizarraga
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Xabat Oregi Isasi
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Íñigo Rodríguez Vidal
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Víctor Echarri Iribarren
Universidad de Alicante

Ángela Matesanz Parellada
Universidad Politécnica de Madrid

Agustín Hernández Aja
Universidad Politécnica de Madrid

Rafael Córdoba Hernández
Universidad Politécnica de Madrid

Belinda López Mesa
Universidad de Zaragoza

Eva M^a Llera Sastresa
Universidad de Zaragoza

Francisco Sánchez de la Flor
Universidad de Cádiz

Helena Granados Menéndez
ARC3 Arquitectura

Judith Ryser
International Society of City and Regional Planners (London)

Gustavo Vargas Silva
Angelo State University (Texas)

13 PONENCIAS MAGISTRALES /LECTURES

15 City, sustainability and health, are they compatible?

Ciudad, sostenibilidad y salud, ¿son compatibles?

ESTER HIGUERAS, EMILIA ROMÁN

17 Intervention in the existing city. Who said fear?

La intervención en la ciudad existente, ¿quién dijo miedo?

IGNACIO DE LA PUERTA

19 Review of socio-spatial indicators for the improvement of the building stock in vulnerable areas. Action criteria for the cases of Barcelona and Bilbao

Revisión de indicadores socio-espaciales para la mejora del parque habitacional en zonas vulnerables.
Criterios de actuación en los casos de Barcelona y Bilbao

PILAR GARCÍA

21 syn.ikia project_Sustainable Plus Energy Neighbourhoods

NIKI GAITANI

23 Sustainable Fenicia

Fenicia Sostenible

GERMÁN CASTELLANOS

25 Urban Economy's experiences as part of the Sustainable Urban Regeneration process in the peri-urban area of Cusco, Peru

Experiencias de la Economía Urbana como parte del proceso de Regeneración Urbano Sostenible en las zonas periurbanas de la ciudad del Cusco, Perú

ALHELÍ ESTELA ÁLVAREZ

27 Efficient digital infrastructures. Operation and Maintenance information integration

Infraestructuras digitales eficientes. Integración de información en la operación y mantenimiento

RICARDO ROMERO, CARLOS GÓMEZ DE ITURRIAGA

29 Plan Zero: High efficiency in public rental

Plan Zero: Alta eficiencia en alquiler público

CARLOS ORBEA

31 Post COVID19 scenario: towards the next generation of HVAC systems

Escenario Post-Covid19: hacia la próxima generación de sistemas de climatización

MANUEL RUIZ DE ADANA

33 Thermal behaviour of wooden radiant floors

Comportamiento térmico de los suelos radiantes con terminaciones en madera

ÁLVARO RUIZ

35 Using The Evaporative Effect To Cool The Roof Of A Residential Building In Cádiz

Uso del Efecto Evaporativo para Enfriar la Cubierta de un Edificio Residencial en Cádiz

FRANCISCO JOSÉ SÁNCHEZ DE LA FLOR

-
- 37** Espacio Futura its performance after a year in existence
Espacio Futura, comportamiento tras su primer año de vida
DANIEL MORALES
-
- 39** Estimating the Heat Loss Coefficient of in-use buildings. Application to different type of buildings
Estimación del coeficiente de pérdida de calor de edificios en uso. Aplicación a diferentes tipos de edificios
PABLO EGUÍA
-
- 41** Pos-tensioned precast concret structures in isolated places in Perú
Aplicación de sistemas postensados en prefabricados en zonas alejadas en Perú
GUSTAVO SALINAS
-
- 43** Valuation of copper slag in the manufacture of new binders used in construction
Valoración de escorias de fundición de cobre en la fabricación de nuevos conglomerantes usados en la construcción
EDWIN ROBERTO GUDIEL
-
- 45** **COMUNICACIONES /PAPERS**
-
- 47** Quantification of the reduction of the heat loss coefficient of the envelope of an energy-rehabilitated office building
Cuantificación de la reducción del coeficiente de pérdida de calor de la envolvente de un edificio de oficinas energéticamente rehabilitado
IRATI URIARTE
-
- 59** Calibration applied to a building thermal facility. Methods for data treatment and thermal model building
Calibración de una instalación térmica doméstica. Métodos para el tratamiento de datos y construcción del modelo térmico
ARRATE HERNANDEZ
-
- 77** Reactivation of "Herriko Plaza" area in Pasajes San Pedro
Reactivación del entorno de "Herriko Plaza" en Pasajes San Pedro
AIMAR SANTOS
-
- 91** A study of the comfort, energy- and cost-efficiency of different measures to achieve an nZEB renovation in Spain
Estudio sobre confort, eficiencia energética y costo efectividad de diferentes medidas adoptadas para lograr la rehabilitación nZEB en España
ALMUDENA ESPINOSA
-
- 107** Local REGEN, Multi-criteria methodology for the evaluation of local renovation strategies of housing
LocalREGEN, Metodología multi-criterio para la evaluación de estrategias locales de rehabilitación de la vivienda
XABAT OREGI
-
- 119** Analysis of overheating risk in Passivhaus dwellings during warm season and the night natural ventilation strategies to mitigate it
Análisis del riesgo de sobrecalentamiento en edificios Passivhaus durante períodos cálidos y de estrategias de ventilación natural nocturna para mitigarlo
ALBA ARIAS
-

133 Analysis of overheating risk in Passivhaus dwellings during warm season. Focalizing in shadow systems strategies to mitigate it
Análisis del riesgo de sobrecalentamiento en edificios Passivhaus durante estaciones cálidas. Focalizando en sistemas de sombreado para mitigarlo

ANNA FIGUEROA

151 Monitoring systems analysis for building's envelope energy performance evaluation
Análisis de sistemas de monitorización para la evaluación del comportamiento energético de la envolvente del edificio

CATALINA GIRALDO

167 Analysis of the airtightness of the Basque Country social housing stock
Análisis de la estanqueidad al aire de la envolvente del parque de viviendas de alquiler público del País Vasco

PABLO HERNÁNDEZ

187 Management, Rehabilitation and Sustainability: A case of intervention on school buildings in Portugal
Gestión, Rehabilitación y Sostenibilidad: Un caso de intervención en edificios escolares en Portugal

ANDRE SANTOS

203 SESIÓN PÓSTER /POSTER SESSION

205 Mapping the Passive Natural Surveillance. A review and parametrization of the eyes on the street of Jane Jacobs
Mapeando la Vigilancia Natural Pasiva. Una revisión y parametrización de los ojos en la calle de Jane Jacobs

IÑIGO GALDEANO

207 PATROCINADORES PLATINO / PLATINUM SPONSORS

PATROCINADOR INSTITUCIONAL

EUSKO JAURLARITZA  **GOBIERNO VASCO**

LURRALDE PLANGINTZA,
ETXEBIZITZA
ETA GARRAIO SAILA

DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN
TERRITORIAL, VIVIENDA
Y TRANSPORTES

EUSKO JAURLARITZA  **GOBIERNO VASCO**

HEZKUNTZA SAILA

DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN

INSTITUCIONES


EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO

EKONOMIAREN GARAPEN,
JASANGARRITASUN
ETA INGURUMEN SAILA

DEPARTAMENTO DE DESARROLLO
ECONÓMICO, SOSTENIBILIDAD
Y MEDIO AMBIENTE

Bilbao
UDALA
AYUNTAMIENTO

Bilbao
PORT 

 **Cámara
de Comercio
de Bogotá**

 **Juntos transformemos
Yucatán**
GOBIERNO ESTATAL 2018 - 2024

IVEY
INSTITUTO DE VIVIENDA
DEL ESTADO DE YUCATÁN

 **Universidad de
los Andes**

PATROCINADORES PLATINO

 **BaskEgur**
ASOCIACIÓN DE LA MADERA DE EUSKADI
EUSKADIKO EGURRAREN ELKARTEA

Bilbao
PORT 

fhimasa

 **cementos
LEMONA**
A CRH COMPANY

**GRUPO
KURSAAL** 

 **VEKA** *Sistemas de Ventanas de PVC*

**CON V
DE VOSOTROS**

 **sukia**
Zure etxean zaude **Estás en tu casa**

IGLÚ
ENERGY SAVINGS


ZIKOTZ

PATROCINADORES ORO



COLABORADOR



Presentación

Este libro recoge las comunicaciones seleccionadas para el 11º Congreso Europeo sobre Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura / 4º 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 Eraikune, el Clúster de la Construcción de Euskadi. El congreso, que se celebra en el marco de los XXXIX Cursos de Verano de la UPV/EHU, aborda en esta edición el tema de la "DISRUPCIÓN". Alrededor de este tema general se desarrollan 16 ponencias magistrales, además de 11 comunicaciones seleccionadas por el comité científico que presentarán trabajos de investigaciones actuales en las sesiones orales y póster.

El Congreso pretende aprovechar la sinergia producida por la intervención de ponentes y participantes con perfiles diversos para analizar y proponer respuestas a los problemas actuales con profundidad y especificidad a partir de un marco general integrado. El 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 séptima edición del Premio VEKA a la mejor comunicación oral del Congreso con el objetivo de fomentar y recompensar las presentaciones de calidad. Se entregarán al autor o autores de las comunicaciones que, según la valoración por pares realizada el Comité científico, sean merecedoras de tales galardones. Finalmente queremos agradecer a las instituciones y empresas que colaboran con esta undécima edición del Congreso: Vicerrectorado del Campus de Gipuzkoa, Vicerrectorado de Investigación, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Departamento de Arquitectura, Departamento de Educación del Gobierno Vasco, y demás instituciones y empresas patrocinadoras.

Comité organizador

Introduction

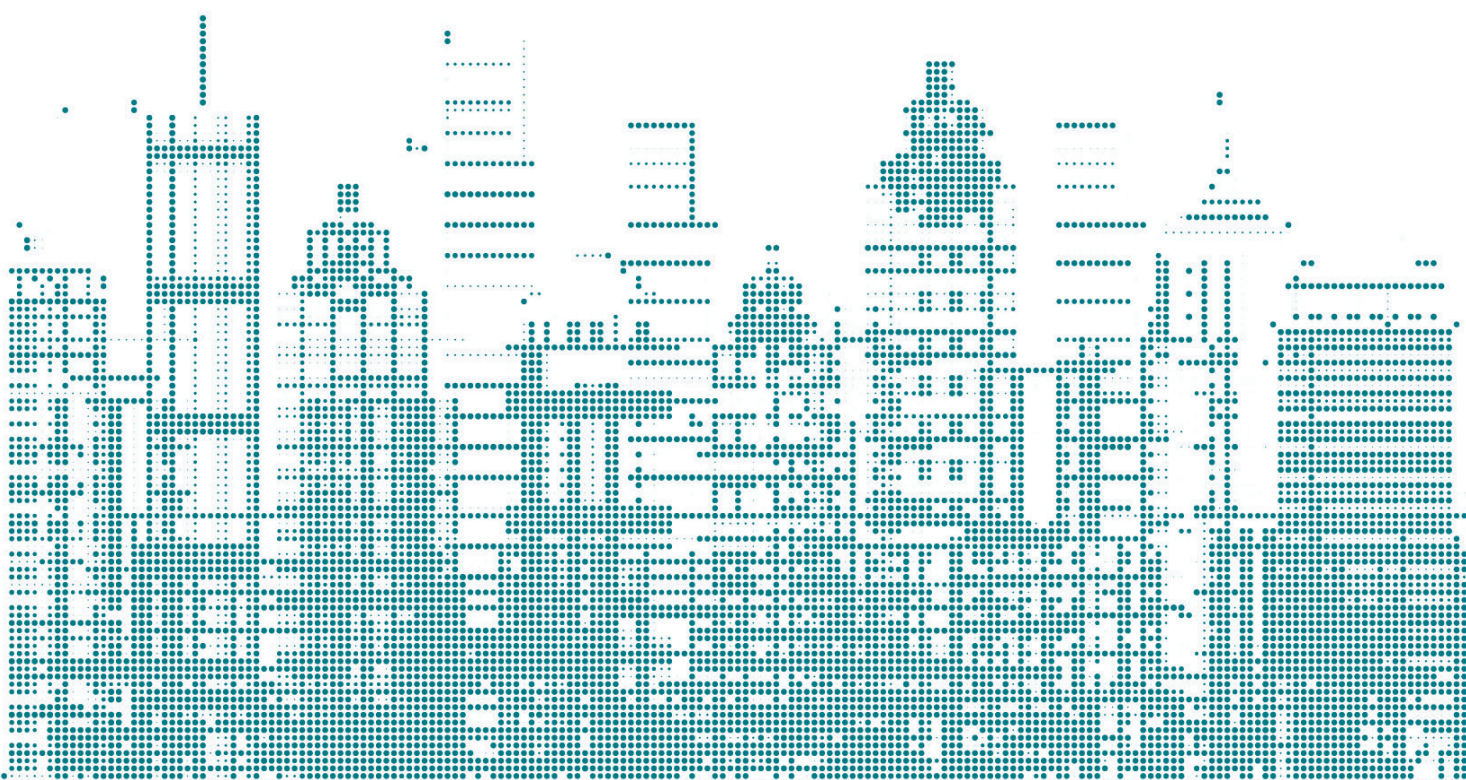
This book collects the papers selected for the 11th European Congress on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture / 4th Congress of Advanced Construction, organized by the research group Quality of Life in Architecture of the University of the Basque Country / Euskal Herriko Unibertsitatea in collaboration with Eraikune, Cluster of Construction of Euskadi. The congress, held in the framework of the XXXIX Summer Courses of the UPV / EHU, addresses in this edition the theme of "DISRUPTION". Around this general topic 16 lectures are developed, in addition to 11 communications selected by the scientific committee, which will present current research works through oral sessions and posters.

The Congress aims to take advantage of the synergy produced by the intervention of speakers and participants with diverse profiles to analyze and propose answers to current problems with depth and specificity from an integrated general framework. The parallel objective of the conference is to strengthen the lines of research on energy efficiency and sustainability and advanced construction of the research and training groups of the UPV / EHU committed to this proposal, in order to collaborate in the reinforcement of R & D & I in its field of knowledge and to support the specific commitment of the Central and Basque Governments, as well as other national and international institutions regarding R & D & I activities in subjects related to climate change, energy efficiency and Environmental sustainability in a balanced competitive environment. During the congress, the seventh edition of VEKA Award will be presented for the best contribution to the Congress, which aims 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 eleventh edition of the Congress: Vice-Rectorate of the Gipuzkoa Campus, Vice-Rectorate of Research, Higher Technical School of Architecture, Department of Architecture, Department of Education of the Basque Government, and other sponsoring institutions and firms.

Organizing Committee

Ponencias magistrales

Lectures



City, sustainability and health, are they compatible? Ciudad, sostenibilidad y salud, ¿son compatibles?

Ester Higuera¹, Emilia Román¹

ABSTRACT

Town planning must respond to the challenges, concerns, and demands of 21st century society, as it has done since the beginning of this discipline in the 19th century. Some of the greatest challenges at present are climate change and the ageing population, both global and transdisciplinary issues. Planner should be able to provide a response to address a healthy design of city neighbourhoods; is health design compatible with the principles of sustainability and SDGs; how can we face up to them? The communication explains the results of various researches delivered by the Department of Urban and Regional Planning since 2015, focusing on these questions, and from which very specific strategies and action plans, have been found for the transformation of residential neighbourhoods into living, complex, and healthier spaces with fewer environmental problems.

In 2018, the Spanish Ministry of Health, Consumer Affairs and Social Welfare commissioned the preparation of a Guide to the Healthcare Design of Spanish Neighbourhoods (Fariña, Higuera, Román, 2019), which was presented in November 2019 at the headquarters of the Spanish Federation of Municipalities and Provinces in Madrid (FEMP). The Guide summarizes the main arguments in three main Action Plans that articulate the whole document. The healthiest neighbourhoods will be those that (1) encourage walking for everyday activities, (2) increase the presence of connected green areas and (3) create spaces for intergenerational coexistence. The three lines of this Action Plan aim to provide a solution to the main problems of the pre-COVID city, which were obesity, cardiovascular and respiratory diseases, thermal shocks caused by episodes of extreme heat or cold, accidents and mental health (Delivering Healthier Communities in London, 2007).

In addition, two projects won in the European Union's competitive call for proposals (Uni-Health in 2019, <https://blogs.upm.es/unihealth/> and Urb-HealthS in 2020 <https://blogs.upm.es/urb-healths/programa>, have enabled this Action Plan be taken as a pilot study case, in Usera and Alcorcón respectively.

However, with the outbreak of the COVID-19 pandemic, a new question has raised as to whether sustainability measures are compatible with health actions, focusing the debate mainly on density. In view of this circumstance, it is necessary not to lose density and complexity, because both are the essence of the city, but both should be conveniently studied and re-articulated to reduce infection in specific risk periods, always thinking of the neighbourhood as a refuge structure with mixed uses and walkable areas, same as the 15-minute urban area proposed in Paris in 2020.

Key Words: Complex neighbourhoods, urban health, aging, climate change.

(1) Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio ETS Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid. ester.higuera@upm.es, emilia.roman@upm.es

Intervention in the existing city. Who said fear?

La intervención en la ciudad existente: ¿quién dijo miedo?

Ignacio de la Puerta¹

ABSTRACT

Intervention in the built city is not something new. The nineteenth century was the scene of the development of many European cities that, at the mercy of industrial development and the appearance of the railway, made possible migratory movements of many people and families. Those who, in search of a better future in which to develop their vital expectations, abandoned their places of origin in rural areas to seek a new life in the new emerging cities.

This population movement, together with the increase in life expectancy and the drastic reduction in mortality at births, came to the consequent change in the replacement rate. This phenomenon caused the most active cities to overflow, generating informal settlements in the peripheries of cities due to speculation and lack of land and adequate places to host all the people who arrived attracted by the vitality that was beginning to be generated in these urban environments.

The sanitary, hygiene and access problems to basic services, as well as those derived from the coexistence of animals and people in the cities, led to a process of sanitation and planning of new extensions to solve the needs and demands that the growth of the urban population required.

The Charter of Athens came up with the best solutions to those conflicts, and the motor vehicle became the ecological solution of the moment to all urban problems. Today it is one of the causes of a large part of the problems that our cities suffer, in which it is a matter of recovering the space that vehicles have stolen from use for the coexistence and enjoyment of people.

With the passage of time, it has been shown that the formulas of urban planning that served in the nineteenth century, and that remain in force, are not adequate to meet current needs.

The situation experienced at the end of the 19th century was reproduced in the decade of the 50-60s in our environment. By this time, it is again being reproduced in emerging countries and regions, giving rise to the formulation of the New Urban Agenda, as an instrument multi-level and multi-stakeholder strategic planning with the ability to address the complexity of the problems of the cities of the XXI century.

The Basque Country has been sensible to these problems and at present, in addition to having equipped itself with the Urban Agenda of the Basque Country BULTZATU 2050, it is working on an intervention model that, with a comprehensive nature, allows reversing the conditions of vulnerability in which it finds a large part of its population (approximately 30%).

The Opengela program, developed within the framework of the HIROSS4all European Project, tries to solve two of the main barriers that intervention in our cities entails, such as proximity management, as a one-stop-shop service capable of leading and establishing the framework of multisectoral cooperation, and financing that allows all people, regardless of their conditions, to access affordable financing.

Key Words: Urban Agenda, Integral Urban Regeneration, Urban Planning, Urban Vulnerability

(1) Director de Planificación Territorial, Urbanismo y Regeneración Urbana, Gobierno Vasco, idelapuerta@euskadi.eus.

Review of socio-spatial indicators for the improvement of the building stock in vulnerable areas. Action criteria for the cases of Barcelona and Bilbao

Revisión de indicadores socio-espaciales para la mejora del parque habitacional en zonas vulnerables. Criterios de actuación en los casos de Barcelona y Bilbao

Pilar García¹, Còssima Cornadó², Sara Vima³, Zaida Muxi⁴, Gonzalo Piasek⁵

ABSTRACT

This paper is written within the framework of the competitive research project “Socio-spatial indicators for the improvement of the housing stock in vulnerable areas. Criteria for action in the cases of the Metropolitan Areas of Barcelona and Bilbao” (RE-INHABIT), Retos Call 2019-2021, Spanish Ministry of Science and Innovation.

The aim of the paper is to revise the methodologies more commonly used to measure, analyse and evaluate the state of building stock and the life conditions of people living in vulnerable neighbourhoods, in an attempt to identify limitations and opportunities within the design of more suitable instruments that will allow us to identify residential communities in a vulnerable situation, excluded or with difficulty to access rehabilitation subsidies or allowances. At the same time, it sets out to explore the need to promote methodological designs in which the typical measurement of quantitative indicators is complemented with other qualitative strategies for the better capture and comprehension of urban and social processes, that might not be considered by the more traditional tools.

This paper is organized as follows: the first part is dedicated to the discussion of the main theoretical concepts associated to urban vulnerability; secondly, it revisits the main methodologies aimed at the study of urban vulnerability in both its physical and social components; the third section is dedicated to the explanation of the methodology strategy adopted for the RE-INHABIT project in which, on the basis of a vulnerability index constructed from quantitative data that allowed us to focus on the most vulnerable areas of the cities under study, it was then complemented with a series of interviews to technical officers, entities’ representatives, and visits and observations in the neighbourhoods; finally, the last part of the paper aims to summarize some of the main findings of the RE-INHABIT project – which is still ongoing – and at the same time drafts a route sheet related to the contributions that integrated approaches entail towards the study of social realities, in relation to the study of vulnerability, and of urban regeneration policies taking place in vulnerable neighbourhoods in particular.

Key Words: vulnerability, urban regeneration, methodologies, integrative approach.

(1) Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, Universidad Politècnica de Catalunya, pilar.garcia-almirall@upc.edu

syn.ikia project_Sustainable Plus Energy Neighbourhoods

Niki Gaitani¹, Inger Andresen¹, Tommy Kleiven¹, Arild Gustavsen¹

ABSTRACT

As the world debates actions to combat climate change, the success of reducing greenhouse gas emissions rely largely on the transition to a low carbon and energy-efficient built environment. The syn.ikia project within the EU Horizon 2020 framework involves 13 partners from six countries and aims at enabling the development of sustainable plus energy neighbourhoods in different climates, contexts and markets in Europe. Four real-life plus-energy demo projects tailored to four different climatic zones will be developed, analysed, optimized and monitored within the duration of the project.

Syn.ikia's concept relies on the interplay between novel technologies at the neighbourhood scale, energy efficiency of the buildings, energy flexibility, good architectural and spatial qualities, sustainable behaviour, and citizen engagement.

New designs and efficient operation of sustainable plus energy neighbourhoods through integrated energy design, energy- and cost-efficiency measures, local renewables, local storage, energy flexibility, and energy sharing and trading, will be realized. By unlocking the potential of neighbourhoods as flexibility providers, the project will enable more renewable energy sources (RES) to enter the system and allow for flexible management of energy demand and RES generation in neighbourhoods, to avoid costly reinforcements of distribution grids while improving the quality and reliability of supply. The project will encourage the community engagement and empower user's control facilitated by digital platforms and driven by housing affordability, improved quality of life, and environmental consciousness to inform and enable behavioural change.

(1) Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Architecture and Design, niki.gaitani@ntnu.no

Sustainable Fenicia

Fenicia sostenible

Germán Castellanos¹

ABSTRACT

The urban renewal project in FENICIA is a process that has taken by far a decade of work. It consists of a summation of extraordinary human experiences that will change life at Los Andes University, Las Aguas neighborhood in the center of Bogota and the way of doing urban renewal in Colombia.

The dimensions that the project addresses are the following:

The social aspect, as the most significant dimension of urban renewal, promotes an associative model of urban management that has the support of approximately 95% of the inhabitants of the neighborhood. This is an unprecedented example of the trust built between the University and the neighborhood's residents, which is based on two basic principles: the replacement of urban property "meter by meter" and the philosophy of "we all move - we all stay". In the environmental dimension, the project is recognized as a relevant factor within the framework of the BEA Program - Building Energy Efficiency Accelerator.

The technical aspect consists of a transversal work among various disciplines such as architecture, design, engineering, economy, law, anthropology, journalism, art and management. These different perspectives have led to the structuring of a project that transcends the academic environment and inserts itself in the city's social and economic realities, by developing training programs for entrepreneurs, managing children's free time, establishing activities with the elderly and reinforcing school programs. All this through a fiduciary administration, which from the legal dimension constitutes an innovative element to urban development, given the confluence and multiplicity of actors and interests that converge. There are approximately 220 properties and 500 owners who will receive directly the benefits of urban development by contributing their land.

The participation of the public sector is also fundamental, as it would have been impossible to reach the present accomplishments without the involvement of the different local government units that have concurred. From an administrative dimension, this shows that the alliance between the public and private sectors is fundamental when formulating and implementing profound transformations. Today, FENICIA has the support and legal stability that are necessary for it to become a reality, as it counts with a solid regulatory body structured by the government's administration, with the involvement of the private sector.

Finally, economic viability has been one of the greatest challenges. Bringing the project to financial closure during a complicated economic situation and encouraging six of the most important construction companies in the country to participate in its development are two of the most significant achievements. From the economic and commercial dimensions, the project currently counts with the support of companies of great financial and commercial capacity that, along with the work of the University as sponsor of the urban project, have become strategic allies that are willing to make the renovation in the center of Bogotá a reality.

Key Words: Sustainable, Social, Inclusive, Trust.

(1) Fideicomiso Triángulo de Fenicia/ Universidad de los Andes, Bogotá Colombia, g.castellanos@uniandes.edu.co.

Urban Economy's experiences as part of the Sustainable Urban Regeneration process in the peri-urban area of Cusco, Peru

Experiencias de la Economía Urbana como parte del proceso de Regeneración Urbano Sostenible en las zonas periurbanas de la ciudad del Cusco, Perú

Alhelí Estela Álvarez¹

ABSTRACT

Uno de los problemas ambientales más relevantes de América Latina y el Caribe es el crecimiento exponencial de las zonas urbanas, donde el 75% de la población vive en un medio urbano (The Global Environmental Outlook), ocasionando así el agotamiento y destrucción de recursos forestales y el impacto regional del cambio climático. Con un modelo de economía popular, países como Perú terminan siendo un laboratorio urbano de prueba y error gracias al 70% de informalidad existente.

La ciudad cosmopolita del Cusco, ofrece una serie de problemas urbanos relacionados a muchas externalidades, ocasionado por dependencias políticas y económicas; y a otras internalidades, producto de sus propios problemas al ser una ciudad centralizada donde su única fuente de ingreso es el sector de servicios (turismo principalmente). Por otra parte, la migración y la búsqueda de nuevas oportunidades, obliga a las personas a ubicarse en las periferias de las zonas con mayor movimiento económico y ofertas laborales; estas periferias son quebradas, laderas y originalmente bosques nativos, y que también presentan fallas geológicas. Generando la supervivencia en estas zonas denigradas y con altas brechas en cuánto a oportunidades y necesidades básicas como agua, luz, salud, educación y trabajo; haciendo de éstas zonas únicamente de residencia y sin ninguna oportunidad de generación de mercado económico.

La experiencia, a lo largo de dos años de trabajo multidisciplinario y con los alumnos de la escuela profesional de Arquitectura de la Universidad Andina del Cusco, a través de "laboratorios urbanos" ha permitido el planteamiento de proyectos de Regeneración Urbana partiendo de las implicancias y aplicaciones de los flujos y sistemas económicos en éstas zonas. Teniendo como objetivo principal el Desarrollo Urbano Sustentable, y objetivos específicos como: A. La generación de nuevos centros económicos a partir de la identificación de sus potencialidades y recursos, B. La creación de un sistema económico-urbano global adaptado a un sistema económico popular, que parte desde el reconocimiento e identificación sociocultural del poblador; y C. La aplicación de redes urbanas y complejidad urbana, que permita así el crecimiento económico-urbano ordenado y democrático, otorgando diferentes funciones a éstas zonas urbanas.

El trabajo de investigación aborda los sectores de Margen Derecha y Alto Qosqo (hacia la parte derecha e izquierda respectivamente, de la zona urbana consolidada). Estos proyectos urbanos fueron estudiados, analizados y planteados por estudiantes y profesores del curso de Economía Urbana de la escuela profesional de Arquitectura; quienes a través de un juego de roles compartieron la responsabilidad directa con los pobladores de ambos márgenes para trabajos de recopilación de información y el posterior planteamiento de un sistema urbano eficiente y autosustentable. Como resultado, se muestra que los trabajos propuestos están interrelacionados, generando un sistema urbano eficiente con muchas centralidades y oportunidades de desarrollo económico; así mismo los proyectos logran la adaptabilidad de dos sistemas económicos prácticamente opuestos, generando ideas creativas e innovadoras, y principalmente demuestran que sistemas económicos de escala y populares pueden trabajar a favor del poblador y sus expectativas de poder tener una mejor calidad de vida.

Key Words: economía urbana, zonas periurbanas, degradación urbana, potencialidades.

(1) Universidad Andina del Cusco, esalheli@gmail.com

Efficient digital infrastructures. Operation and Maintenance information integration

Infraestructuras digitales eficientes. Integración de información en la operación y mantenimiento

Ricardo Romero¹, Carlos Gómez de Iturriaga², Francisco Javier Díez³

ABSTRACT

The main objective of the NiERBIMO project is to contribute to the transformation of residential, industrial, and tertiary buildings towards a nearly zero energy building (NZEB) scenario with the aim of achieving a more efficient and sustainable use of energy. To get the best efficiency and performance from renewable energy resources, there is a need to develop intelligent generation and storage systems, capable of managing diverse energy sources and coordinating the distribution of energy through advanced management tools.

The objective is to move towards the development of the digital building, where information from all phases of the project concurs; from design and construction of the building equipped with intelligent systems, to the operation phase which is responsible for between 65 and 80% of the costs of the entire life cycle of the building, thus facilitating efficient management of its operation and maintenance.

The NiERBIMO project promotes the use of standards and methodologies that facilitate collaboration to achieve a common goal, being BIM (Building Information Modeling) the central methodology of the project. In the NiERBIMO project, a systems architecture has been designed to support this concept of digital building where the following aspects are integrated:

- The BIM (Building Information Model) of the building, coming from the design and construction phases (SENER, ACR) that provides the geometric information, including the BIM of the generation, storage and power electronics systems developed by the manufacturers participating in the project (DOMUSA, CEGASA and ZIGOR)
- The information related to maintenance from a variety of management systems, such as ERP and CMMS (SISTE-PLANT) of the entity that operates the building and/or provides energy efficiency services (SENER, GIROA)
- The information from the IoT systems that provide the condition information during the operation of the building; SCADA, sensors and other sources of external information to support a set of tools that allow an advanced management of the building.

The project validation is done in two use cases:

- Kukullaga: A station building and train depots
- Beurko: A community of buildings of 1,240 homes

These use cases have made it possible to address different building typologies where there is an incremental interest in improving efficiency and digital transformation.

The result has been materialized in SIGMA (Intelligent Asset Management and Maintenance System) management platform, whose objective is to integrate all data sources in a single operating environment, for all user levels (CEO-Technical).

To understand the complexity of unifying all the data structure in a single environment, the phases through which this platform has been going will be explained. Some of the accomplished goals are:

- Collect all the data related to the asset (Structured, Unstructured and Geometric)
- Data processing in a common environment.
- Different user levels optimizing the work of all stakeholders
- Mobility, traceability and time-savings in tasks now disconnected in silos.
- Exploitation of this data through Artificial Intelligence and algorithms.

Key Words: digital building, maintenance, operation, BIM.

(1) Sistemas de Información Inteligentes / Fundación Tekniker, ricardo.romero@tekniker.es (2) Sener Ingeniería, carlos.gomez@sener.es (3) Ámbito de infraestructuras / Fundación Tekniker

Plan Zero: High efficiency in public rental

Plan Zero: Alta eficiencia en alquiler público

Carlos Orbea¹

ABSTRACT

The ZERO Plana Plan is a strategic initiative within the Science, Technology and Innovation Plan PCTI 2020 promoted by the Basque Government. Taking into account that new zero energy buildings are already a reality, this communication focuses on rehabilitation. A rehabilitation that we have called "intelligent", not only because it is associated with new technologies, but because it integrates more variables apart from energy. The Plan will allow to discriminate, to prioritize and to organize the investments in public housing of the next lustrums with the double objective to have a park of advanced, efficient and well maintained public housing for rental in order to give a better service to the citizenship, putting the R&D to the service of the environment, but specially of the users of public housings.

The first step has consisted in gathering the information of the existing stock of public rental housing and analysing its starting situation in view of the imminent revolution in the energy sector and transition to a green economy, where for the first time social awareness, political decision, technology and economic signals have been aligned. The diagnosis made on rehabilitation needs points out that 67% of the housing stock requires a medium type of intervention, while 15% needs a high intervention and only 2% a deep intervention including accessibility.

Digitalization, welfare and energy efficiency are, in general terms, the three most important points that social housing must address in order to take advantage of the Basque Government's firm commitment to rental housing. These are the three challenges aimed at decarbonizing the park and improving the energy performance of our buildings.

They are based on an advanced service where the acquisition, exploitation and analysis of the data are vital to make information-based decisions. In this sense, a deep revision of the public rent management model focused on the users is proposed. Furthermore, it is fundamental to fight against "energy poverty" as well as to empower tenants in the use of energy, housing comfort, energy vulnerability and accessibility of all spaces; to guarantee basic health conditions for all users. To achieve these aims, it is necessary to use rental tools that allow the acquisition, analysis and control over the installed equipment, to reduce unnecessary consumption and obtain economic benefits for our tenants and environmental benefits for the Basque society as a whole.

The deployment of the actions planned on the existing public park will be carried out over a period of 30 years, between 2020 and 2050, with the objectives set out in the Plan ZERO Plana. The estimated overall budget is approximately 193 million euros.

Key Words: innovation, users, advanced management, digitalization.

(1) Responsable de Innovación, Proyectos y Rehabilitación, Alokabide, corbea@alokabide.eus

Post COVID 19 scenario: towards the next generation of HVAC systems

Escenario Post-Covid19: hacia la próxima generación de sistemas de climatización

Manuel Ruiz de Adana¹

ABSTRACT

The transmission of the SARS-CoV-2 virus through bioaerosols in indoor spaces is proving to be one of the main routes of spread of the current pandemic. The hygiene of hands and surfaces, the use of masks and the safety distance are effective measures but not enough to control the spread of the virus. Therefore, it is necessary to implement new measures in the HVAC facilities.

However, many of the current HVAC systems are not effective in controlling the transmission of the SARS-CoV-2 virus through bioaerosols. These limitations can increase the risk of infection through bioaerosols in indoor spaces increases.

This paper provides a review of the current state of knowledge about the transmission of the SARS-CoV-2 virus through bioaerosols as well as the critical evaluation of current HVAC systems.

In this context, some questions arise:

What do we know to date about the transmission of the SARS-CoV-2 virus by aerosols?

What limitations do current HVAC facilities have to protect us from the transmission of the SARS-CoV-2 virus through bioaerosols?

How should HVAC systems be designed in the future to ensure safe indoor spaces?

The ventilation, filtration and air purification strategies of the HVAC systems probably lead us to disruptive innovations as a way to ensure safe indoor spaces. This is the way to move us towards the next generation of HVAC systems.

Key Words: HVAC, SARS-CoV-2, aerosols, HVAC design.

(1) Departamento Termodinámica Aplicada, Escuela Politécnica Superior de Córdoba, Universidad de Córdoba, manuel.ruiz@uco.es

Thermal behaviour of wooden radiant floors

Comportamiento térmico de los suelos radiantes con terminaciones en madera

Álvaro Ruiz¹, Enrique A. Rodríguez¹, Marta Conde², José Antonio Tenorio³

ABSTRACT

The use of radiant floor heating is widespread throughout the world, mainly due to the excellent conditions of thermal comfort that they provide to the occupants. These radiant floors are generally made up of an arrangement of tubes arranged in an intermediate layer of the slab, having always below an insulation layer to avoid heat loss downwards. Over the tubes there are one or more layers that have the function of transmitting the heat from the tubes to the interior space of the building in the most efficient way possible. The upper layer, that is, the finishing layer, is part of the layers that must transmit heat and therefore its thermal properties plays a relevant role in the overall performance of the radiant floor heating. One of the finishing materials used is wood, which due to its relatively low thermal conductivity does not seem to be the most suitable material; however, because on the other hand its thermal diffusivity is also low, the temperature change slowly, which is positive from the point of view of comfort and energy consumption. Therefore, it is observed that there are two opposing tendencies regarding the properties of wood as a suitable material for use in underfloor heating.

This work presents the study done on the behaviour of wooden radiant floors in a transitory state when they are subjected to a series of excitations that vary over time, both from the point of view of the heat source and the space requirements.

What has been found is that depending on the excitations to which radiant floors are subjected, the properties that are desirable of the wood layer can be very different from one case to another. It is not obvious and there are not simple rules that indicate easily which properties are the most appropriate to achieve good thermal performance of the radiant floor heating, so it will be necessary to study each case in particular.

Key Words: wooden radiant floor heating, effect of wood thermal properties, transient thermal analysis.

(1) Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, Universidad de Cádiz, alvaro.ruiiz@uca.es (2) Universidad de Córdoba. (3) Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

Using The Evaporative Effect To Cool The Roof Of A Residential Building In Cádiz

Uso del Efecto Evaporativo para Enfriar la Cubierta de un Edificio Residencial en Cádiz

Francisco José Sánchez de la Flor¹, Álvaro Ruiz¹, Enrique Ángel Rodríguez¹, Servando Álvarez²

ABSTRACT

The thermal conditioning of a building is one of the main causes of its energy consumption, and therefore its contribution to the emission of greenhouse gases for the generation of such energy. The trend also goes upwards, both in heating and especially in refrigeration, due, among other things, to climate change itself that is causing an increase in extreme situations such as heat waves, etc.

This article presents the proposed solutions to avoid the need for summer conditioning of a residential building in Cadiz, by placing it in thermal comfort conditions by nature means. This is one of 4 buildings demonstrating the technologies developed by the European RECO2ST project.

To this end, the initial need for summer conditioning of the building in the pre-intervention situation is shown first. The design of the two main techniques for passive building conditioning is detailed: shadow devices and evaporative cooling system to cool the building roof. Finally, the cooling potential of this technique is presented calculated according to numerical simulations and previous experimental campaigns..

Key Words: natural cooling techniques, thermal comfort, energy saving, evaporative cooling.

(1) Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, Universidad de Cádiz, francisco.flor@uca.es (2) Departamento de Ingeniería Energética, Universidad de Sevilla

Espacio Futura its performance after a year in existence

Espacio Futura, comportamiento tras su primer año de vida

Daniel Morales¹

ABSTRACT

Espacio Futura is a building developed by VEKA to study and showcase nZEB so as to mitigate the effects of global warming. We have therefore partnered with the research group of the Energy Engineering Department of the University of Burgos in conducting a study of indoor and outdoor temperatures at the building, with temperature curves throughout the 365 days of its first year in existence.

Espacio Futura is an energy-efficient building with Passivhaus certification, offering a high degree of thermal comfort and low consumption. It limits demand, consumption and draughts, requiring materials with low thermal transmittance and permeability to air. The total surface area is 156.47 m², with an interior height of 4.85 m. It is made up of two buildings, the smaller one being rotated 13° with regard to the main building. The main façade faces south to exploit solar gain.

The industrialised production process used local companies to reduce the carbon footprint. As for the windows, VEKA used 39% recycled material.

Espacio Futura is monitored, allowing it to make consumption and indoor comfort decisions based on established parameters.

In the autumn-winter cycle the heating strategies employed prioritise:

- 1 Renewal of air with heat recovery
- 2 Open blinds to heat the building through solar radiation
- 3 Electrical heating

For the spring-summer cycle, the resources used to cool the building are, in order:

- 1 Lower blinds
- 2 Renewal of air without heat recovery if the outdoor temperature is lower than indoors
- 3 Windows opened by night to cool the building if the outdoor temperature is lower than indoors
- 4 Electrical cooling

A computer program generates performance graphs for outdoor and indoor temperature, CO₂ and relative humidity, serving to improve functionality and comfort.

Key Words: Passivhaus certified building, Energy efficiency, Monitored building, Recycling.

(1) VEKA Ibérica, dmorales@veka.com

Estimating the Heat Loss Coefficient of in-use buildings. Application to different type of buildings

Estimación del coeficiente de pérdida de calor de edificios en uso. Aplicación a diferentes tipos de edificios

Pablo Eguía¹, Aitor Erkoreka², Lara Febrero¹, Sandra Martínez¹

ABSTRACT

A high number of buildings were constructed before the first thermal building regulation that was introduced in Europe in the 1970's and energy efficiency was generally not considered a main issue in any of those buildings. To estimate the energy performance of buildings, different methods are applied in the European Union and most of them are based on thermal simulations. These methods assume statistical occupancy and standard operations conditions. For this reason, they overestimate the thermal demands of old buildings and they underestimate the thermal demands of the recent ones.

Recently, new methods have been developed, such as ARMAX, (ARX) or Greybox Modelling. However, the energy performance gap between the real thermal demands and the estimated ones is still present. Occupancy, weather data, materials uncertainty, etc. difficult the process of achieving accurate models.

In order to solve this problem and to be able to estimate the energy performance of in-use buildings, it is proposed the use of different key performance indicators (KPI) based on monitored data. The most commonly used KPI for the building envelope energy performance characterization is the Heat Loss Coefficient (HLC).

The HLC is the sum of three components:

1. Transmission heat losses through the envelope, UA [kW/K]
2. Ventilation and/or infiltration heat losses, Cv [kW/K]
3. Solar gains, usually given on a daily basis in [kW/day]

To measure these three components, the Co-Heating method is the most used, with specific testing procedures that are not met in buildings in use.

In this presentation, advances that have been obtained in calculating the value of this HLC coefficient are shown, carrying out different simplifications and demonstrating its application in a series of buildings that have been recently monitored. In addition, the feasibility of its use as a tool to estimate the energy performance of the building envelope under occupied conditions will be analysed.

Key Words: Heat Loss Coefficient, Average Method, Building Energy Performance, in-use Buildings

(1) Department of Mechanical Engineering, Heat Engines and Fluid Mechanics, Industrial Engineering School, University of Vigo, peguia@uvigo.es (2) ENEDI Research Group, Department of Thermal Engineering, UPV/EHU

Pos-tensioned precast concret structures in isolated places in Perú

Aplicación de sistemas postensados en prefabricados en zonas alejadas en Perú

Gustavo Salinas¹

ABSTRACT

Until a few years ago, the use of posttensioning systems in Peru was rarely considered as a construction technique, assumed as being a highly sophisticated and costly system except for big projects like long span bridges. Lima is the Peruvian capital, centralizing the most developed industry and the centre of technology, far away from many regions that require infrastructure development.

The purpose of this presentation is to show example of the Posttensioning application technique in precast elements as parts of a reinforced concrete structure in projects located in isolated areas or far away from developed centers such as Lima. There are two main restrictions to be considered when Precast elements are planned to be used: the distance between the precast production facility and the construction point, which determines the cost of the freight; and the dimensions of the precast elements which should be suitable for being transported. Both restrictions determine the viability or not of the precast elements as a solution.

This document presents two examples of structures containing posttensioned reinforced concrete precast elements used as a good solution built in place. The first one is a Platform of a loading port over the Huallaga river, near the town of Yurimaguas in the Amazon region, located 24 hours travelling distance by car or one week by river from the Pucallpa port in the Peruvian Amazon. The challenge was to build a 200-ton load capacity platform over steel driven piles in the river bed without having to use expensive and complex frameworks. The other structure, located 650 km from Lima, is a 1.5 x 1.00 mts section aqueduct crossing the Chicama river, with 24 mts span built when the water flow is low, avoiding the use of expensive and complicated framework false bridges vulnerable to high water levels.

It could be demonstrated that with reduced resources but a good engineering it was possible to build those projects.

Key Words: precast, Posttensioning, reinforced concrete, structures

(1) Gerente comercial, Postensa SAC, gustavo@gstudio.hk

Valuation of copper slag in the manufacture of new binders used in construction

Valoración de escorias de fundición de cobre en la fabricación de nuevos conglomerantes usados en la construcción

Edwin Gudiel^{1,2}, José Monzo²

ABSTRACT

Peru is a worldwide copper producer country with great mining expertise, but this has created copper slag that has been settled in some landfills without any recycling recommendation nor environmental impact reduction. The present research have used leftover copper slag from central Peru, and proposes a new alternative material for Portland construction cement.

The copper slag have been collected from Cerro de Pasco landfills, located at Peru's central region. There has been tests of pozzolanic lime at 60C, und portland cement paste curated at 20C. The slag reactivity has been measured by thermogravimetric analysis (TGA), electric conductivity and pH in aqueous suspension.

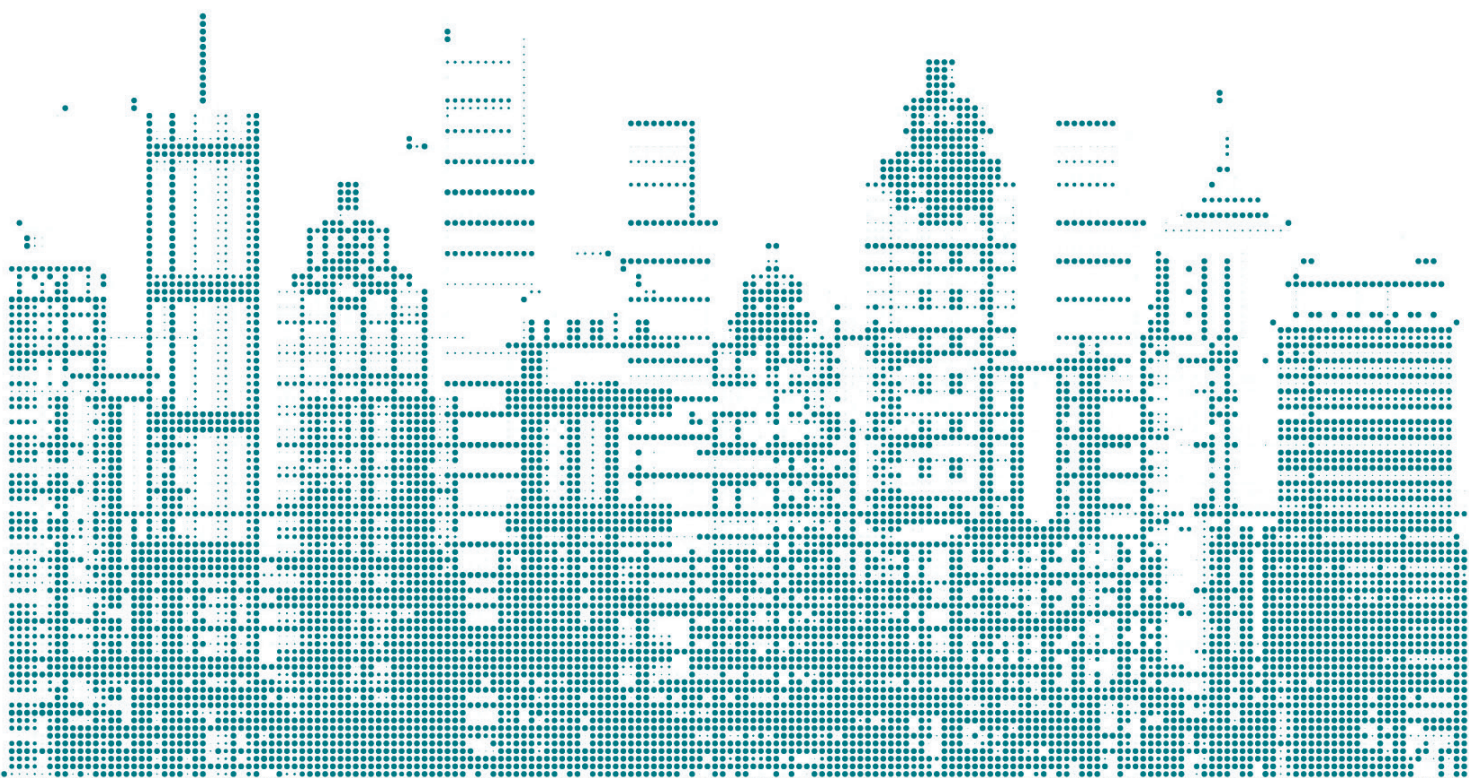
Moreover, there have been build portland cement mortars with 15 of copper slag (of total weight) curated at 20C to determined compression resistance.

For mortars with 15%of copper slag, it was obtained an average compression resistance of 42MPa after 28-day curation time.

The results states the tested copper slag have pozzolanic activity and can be use as alternative material for portland cement mixtures.

Key Words: Copper slag, Pozzolanic activity, cement portland.

Comunicaciones Papers



Quantification of the reduction of the heat loss coefficient of the envelope of an energy-rehabilitated office building

Cuantificación de la reducción del coeficiente de pérdida de calor de la envolvente de un edificio de oficinas energéticamente rehabilitado

Irati Uriarte¹, Catalina Giraldo¹, Koldo Martin¹, Pablo Eguia², Aitor Erkoreka¹

ABSTRACT

Nowadays, a considerable performance gap is found when the design and the real energy consumption of buildings are compared. Three main sources are responsible of this gap: the users' behavior, the buildings' real energy systems' performance and the buildings' envelope performance. The envelope energy performance characterization of in-use buildings is commonly done using the Heat Loss Coefficient (HLC) as Key Performance Indicator (KPI). The HLC is the sum of the transmission heat loss coefficient through the building envelope (UA [kW/K]) and the infiltration and/or ventilation heat loss coefficient of the building Cv [kW/K]. Another important KPI is the solar aperture of the building envelope S_a [m²].

In order to estimate the HLC by monitoring an in-use building, a mathematical method based on the accumulated average method is used. Then, the aim of this analysis, through the application of this method to a building before and after been refurbished, is to quantify HLC value improvement in an energy-rehabilitated building. The formula used in order to estimate the HLC is [1]:

$$HLC = \frac{\sum_{k=1}^N (Q_k + K_k + (S_a V_{sol})_k)}{\sum_{k=1}^N (T_{in,k} - T_{out,k})}$$

This analysis has been carried out in an office building of the University of the Basque Country (UPV/EHU). The building has been energetically monitored by measuring minutely the energy consumption and comfort data for each of the floors of the building. This building is formed by four floors that are widely monitored. However, in order to estimate the HLC only the internal heat gains (heating system plus electricity consumption, Q+K), solar gains ($S_a V_{sol}$), and the indoor and the outdoor temperatures (T_{in} and T_{out} , respectively) are needed as shown in Eq (1). To roughly estimate the solar gains, the total window area of the building has been multiplied by a g-value of 0.5 to make a rough estimate of the solar aperture. Then, the solar gains are estimated multiplying this solar aperture by the south global vertical solar radiation. Since the method is only applied during cloudy and cold short periods (at least 72h periods), the solar radiation can be considered purely diffuse and thus identical in all orientations and, the temperature difference ($T_{in}-T_{out}$) considerably high. Then, from Eq. (1) can be concluded that the effect of the solar gains uncertainty is small, which enables a reliable estimate of the HLC. Another requirement to take into account is that there must be same average temperature between the indoor and outdoor temperature at the beginning and the end of the period to ensure the same thermal level.

The presented in-use building was monitored from November 2014 to March 2018. The method have been applied only during winter periods, the data from November to April of each year has been analysed. Since the building was refurbished during summer 2017, the three winter periods between November 2014 and April 2017 were used to estimate the HLC before the refurbishment. The last winter period (between November 2017 and April 2018) shows the HLC results after the rehabilitation. Thus, comparing the HLC values before and after the retrofiting, it has been possible to quantify and analyse the HLC value reduction due to the rehabilitation.

Key Words: Heat Loss Coefficient, average method, building envelope energy performance, energy monitoring

(1) ENEDI Research Group, Department of Thermal Engineering, UPV/EHU, irati.uriarte@ehu.eus. (2) Department of Mechanical Engineering, Heat Engines and Fluid Mechanics, University of Vigo.

1. Introducción

Las directivas y objetivos fijados por la Unión Europea (UE) para los próximos años 2020, 2030 y 2050 son un claro ejemplo de su compromiso con la eficiencia energética [2]. La consideración de la eficiencia energética y el ahorro de energía en la construcción de viviendas nuevas y rehabilitadas es una de sus mayores metas. Los edificios son responsables de un 40% del consumo energético en la UE, según H2020 Energy Efficient Buildings (EeB) [3]. Hasta los años 70, Europa no introdujo la primera regulación térmica [4], por lo que todos los edificios construidos antes de esta fecha no consideraron la eficiencia energética como un asunto de importancia [4, 5].

Varios países europeos han desarrollado diferentes softwares de estimación de rendimiento de energía de edificios completos [6]. Sin embargo, Summerfield [7] defiende que para estimar el ahorro de energía deberían utilizarse métodos empíricos en vez de métodos de estimación con modelos. Añade que estos modelos asumen condiciones de operación estándar, por lo que la consideración de ocupación y las verdaderas cargas de calor son excluidas de la estimación. Por lo tanto, a no ser que los modelos incluyan datos de una ocupación monitorizada o datos del sistema HVAC, la demanda energética se subestima en los edificios nuevos mientras que en los antiguos se sobrestima [7].

El uso de técnicas que usan modelos matemáticos avanzados es otra forma de estimar el comportamiento energético real de un edificio. Entre estos métodos se encuentran técnicas como el Grey Box modelling [8] o ARMAX [9]. Algunos de estos métodos son capaces de estimar características de un edificio como las resistencias térmicas, las capacidades térmicas o las aperturas solares. Debido a que la instalación de los sensores es complicada de realizar en edificios en uso, el uso de estos métodos se está volviendo cada vez más frecuente [10].

Sin embargo, hoy en día sigue existiendo una gran brecha entre el consumo de energía simulado y el consumo de energía de diseño de un edificio. Esta diferencia es conocida como "brecha de rendimiento" (performance gap) [11]. Esta brecha se debe a varias fuentes como el rendimiento energético de los sistemas de energía [12], el comportamiento de los ocupantes [13] y la envolvente del edificio. Esta última puede caracterizarse energéticamente mediante los Indicadores Clave de Rendimiento (Key Performance Indicators (KPI)). Los KPI comúnmente más utilizados para la caracterización del rendimiento energético de la envolvente de un edificio son el Coeficiente de Pérdida de Calor (Heat Loss Coefficient (HLC [kW/K])) y la apertura solar (S_a [m²]) [14]. El HLC es la suma del coeficiente de pérdida de calor mediante la transmisión más el coeficiente de pérdida de calor de infiltración y/o ventilación.

1. Introduction

The directive and objectives proposed by the EU by the following years 2020, 2030 and 2050 show their clear engagement with the energy efficiency [2]. There, one of the main aims of the EU is the consideration of energy efficiency and the energy saving when building or retrofitting buildings. The responsibility of the 40% of the energy consumption in Europe corresponds to the buildings, according to H2020 Energy Efficient Buildings (EeB) [3]. Europe did not introduce the first thermal regulation until the 70s [4], so the wide range of buildings constructed before this date, did not consider the energy efficiency as an issue [4, 5].

Different whole building energy performance estimation softwares have been developed by several European countries [6]. Nevertheless, according to Summerfield [7], empirical methods should be used for energy saving estimation instead model estimations. He adds that these models assume standard operational conditions, which excludes the consideration of the occupation and the real heat requirements of the building. Therefore, unless monitored occupation or HVAC system data is not included in these models, the energy demand is usually underestimated in new buildings and overestimated in old ones [7].

The real building energy behavior can be estimated using also advanced mathematical modelling techniques. Within these methods, techniques such as Grey Box modelling [8] and ARMAX [9] can be found. Some of these methods are also able to estimate characteristics such as the thermal resistances, thermal capacitance or the solar apertures of the building. Since the installation of sensors is a hard task to carry out in in-use buildings, the use of these techniques is becoming common [10].

However, nowadays, still exist a wide difference between the simulated energy consumption and the design energy consumption of a building. This difference is commonly known as "performance gap" [11]. This gap can be due to several sources such as the buildings energy systems' energy performance [12], the occupants' behavior [13] and the building envelope. The latter one can be energetically characterized using Key Performance Indicators (KPI). The most commonly used KPI for the building envelope energy performance characterization are the Heat Loss Coefficient (HLC [kW/K]) and the solar aperture (S_a [m²]) [14], where the HLC is the coefficient considering the transmission heat losses through the envelope (UA [kW/K]), plus ventilation and/or infiltration heat losses (C_v [kW/K]).

These Key Performance Indicators have been already estimated for in-use monitored buildings [15] by several researches. However, there is not yet a general method for their estimation. One of the most

Varios investigadores han estimado los KPIs de edificios monitorizados en uso. Sin embargo, no existe un método general para su estimación todavía [15]. Uno de los métodos más desarrollados para su estimación es el método Co-heating [14], a pesar de no poder usarse en edificios en uso.

Este estudio analiza la aplicación del método de la media presentado en [1, 16] para la estimación del HLC de un edificio de oficinas en uso. Este es un método simple capaz de estimar el HLC sin la necesidad de tener un modelo físico detallado. Por lo tanto, la estimación del HLC en edificios en uso se debe llevar a cabo con los datos obtenidos del sistema de monitorización ya instalado. Los únicos datos necesarios para su estimación son la temperatura interior y exterior, el consumo eléctrico, el consumo energético del sistema de calefacción y los datos meteorológicos.

Finalmente, el objetivo principal del estudio es la aplicación del método en un edificio en uso que ha sido rehabilitado. Por lo tanto, se estudiarán los resultados de HLC de antes y después de la rehabilitación. El análisis se llevará a cabo en dos secciones: El análisis antes de la rehabilitación (entre de noviembre 2014 y marzo 2017) y el análisis después de la rehabilitación (entre noviembre de 2017 y marzo de 2018). Por lo tanto, ambas secciones se analizarán por separado y después, se estimará la caída de la pérdida del HLC después de la rehabilitación.

2. Materiales y método

2.1. Método de media

$$HLC = \frac{\sum_{k=1}^N (Q_k + K_k + (S_a V_{sol})_k)}{\sum_{k=1}^N (T_{in,k} - T_{out,k})} = \frac{\sum_{k=1}^N (Q_k + K_k + (S_a V_{sol})_k)}{N} = \frac{\bar{Q} + \bar{K} + \bar{S}_a V_{sol}}{\bar{T}_{in} - \bar{T}_{out}} \quad (1)$$

Con el fin de estimar el HLC de un edificio entero en uso se propone el uso del siguiente método de media. Para ello, se utiliza la siguiente fórmula desarrollada en [1, 16]:

Donde la Eq. (1) está formada por el calor del sistema de calefacción (Q_k) en [kW], el consumo eléctrico total del edificio (K_k) en [kW], la apertura solar (S_a) fijada para obtener las ganancias solares aproximadas del edificio en [m^2] y la radiación solar global vertical (V_{sol}) del edificio en [kW/m^2]. Además, también se consideran la temperatura interior y exterior del edificio (T_{in} [$^{\circ}C$] and T_{out} [$^{\circ}C$] respectivamente).

El método solo es aplicable durante periodos de días fríos y nublados, donde la radiación solar es muy baja. Así, podría considerarse que la radiación es puramente difusa durante esos periodos. En ese caso,

developed methods for these KPI estimation is the Co-heating method [14], despite it can not be used in in-use buildings.

This study analyses the application of the average method presented in [1, 16] to estimate the HLC of an in-use office building. This method is a simple method able to estimate the HLC without the need of a detailed physical model. Then, the HLC estimation in in-use buildings should be carried out using the data obtained from the already installed monitoring system. The only data needed for this estimation is the internal and external temperature, the electricity consumption, the heating system energy consumption and the weather data.

Finally, the aim of the study is to apply the method in an in-use building which has been rehabilitated. Then, the HLC values before and after the retrofiting are studied. The analysis will be developed in two different sections: the analysis before the rehabilitation (between November 2014 and March 2017) and analysis after rehabilitation (between November 2017 and March 2018). Thus, both sections data will be independently analysed and the reduction between both HLC values should be observed.

2. Materials and method

2.1. Average method

In order to estimate the in-use whole buildings HLC, the following accumulated average method will be used. Therefore, the following formula developed in [1, 16] is used:

Where Eq. (1) is formed by the following data; the heating system heat input (Q_k) in [kW], the buildings' total electricity consumption (K_k) in [kW], the solar aperture (S_a) fixed so as to roughly estimate the solar gains of the building in [m^2] and the south global vertical solar irradiance (V_{sol}) of the building in [kW/m^2]. Moreover, the building indoor and outdoor temperatures are also considered (T_{in} [$^{\circ}C$] and T_{out} [$^{\circ}C$] respectively).

The method is only applicable for periods formed by cold and cloudy days where the global solar radiation is very low. Thus, it could be considered that the solar radiation is purely diffuse during those periods. Then, the global solar radiation data on any of the façades of the building could be used since all the orientations solar radiation would be similar to the diffuse solar radiation. Furthermore, it must be ensured that

podría utilizarse cualquier radiación solar global medida en cualquiera de las orientaciones del edificio, ya que esta será similar a la radiación solar difusa. De esta forma, se podría asegurar que las ganancias solares son menores de un 10% en comparación con el resto de ganancias internas medibles (todas las ganancias internas excluyendo las ganancias solares como el calor generado por el sistema de calefacción, iluminación, ocupación, sistemas eléctricos...) dentro del edificio.

Se puede considerar que el periodo es frío cuando la media de la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior está cerca de 15°C o la supera. Así es posible limitar el error asociado a la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior.

Finalmente, para realizar una estimación apropiada del HLC es necesario tener la misma temperatura media del edificio al principio y al final del periodo seleccionado. La temperatura media del edificio corresponde a la temperatura media entre la temperatura interior y exterior del edificio. Mediante esta limitación, se puede asegurar que el nivel térmico al principio y al final del periodo es el mismo, y que no habrá calor acumulado en el edificio.

2.2. Descripción del edificio

El método de la media descrito en la sección 2.1 va a ser aplicado en un edificio real en uso de oficinas. Este edificio es un edificio público de la Universidad del País Vasco (Fig. 1) y se encuentra en el campus de Leioa (norte de España). Además, es necesario comentar que el edificio es un edificio de oficinas de cuatro plantas formado por tres bloques diferentes.

2.2.1 Descripción del edificio antes de la rehabilitación energética

El edificio analizado muestra una estructura geomé-

the solar heat gains are less than a 10% compared with the rest of the measurable heat gains inside (all the heat gains inside the building excluding solar gains such as heating system, electricity consumption, lighting, occupancy...).

The period will be considered cold if the average temperature difference between the interior and the exterior is close or higher than 15°C. Then, it is possible to limit the error associated to the temperature difference between the interior and the exterior.

Finally, for a proper estimation of the HLC it is indispensable to have the same average building temperature at the beginning and the end of the selected periods. The building temperature corresponds to the average temperature between the interior and the exterior temperatures. By this limitation, it is ensured that the thermal level at the beginning and ending of the period is the same, and then it is assumed there is not accumulated heat in the building during the analysed periods.

2.2. Building description

The average method described in section 2.1 will be now applied into a real in-use office building. This analysed office building is a public building of the University of the Basque Country (Fig. 1) and is located in the university campus of Leioa (north of Spain). Moreover, it must be commented that the building is a four storey office building formed by three different blocks.

2.2.1 Building description before energy-rehabilitated

The analysed building displays an irregular geometry since the façades of the building are irregular. As commented in 2.2., the building is formed by three blocks. However, only the west block is analysed in



Figure 01.
The analysed public office building in Leioa (UPV/EHU), Irati Uriarte, 2017.

trica irregular debido a la irregularidad de su fachada. Como ya se ha comentado en la sección 2.2, el edificio está formado por tres bloques. Sin embargo, este estudio solo analiza el bloque situado al oeste. El edificio contiene un sistema de calefacción para el edificio completo. Cada una de las plantas del edificio se distribuye como ya se ha explicado en [16]. Sin embargo, la primera (F1) y tercera (F3) planta están formadas por oficinas abiertas mientras la planta baja (F0) y la segunda (F2) planta se forman de oficinas individuales más pequeñas.

El edificio fue construido en el año 1970 sin ningún tipo de aislante. Sin embargo, a lo largo de su vida se le han realizado varias pequeñas reformas. Las paredes opacas de la fachada se construyeron usando paneles de hormigón sin cámara de aire. Sin embargo, debido a las pequeñas reformas realizadas, se pueden encontrar tres tipos de ventanas en el edificio: ventanas de cristal simple con marco de madera, ventanas de cristal doble con marco de aluminio (sin rotura de puente térmico) y, finalmente, ventanas de cristal doble con marco de aluminio (con rotura de puente térmico). Además, algunas de las ventanas orientadas al sur tenían parasoles de hormigón con el fin de reducir las ganancias solares del edificio durante el verano. Por otra parte, también es necesario comentar que no se había instalado ningún sistema de ventilación o de aire acondicionado en el edificio antes de la rehabilitación.

2.2.2 Descripción del edificio después de la rehabilitación energética

El diseño de la rehabilitación se realizó durante el año 2015-2016. Sin embargo, las obras empezaron en verano de 2017. El diseño se desarrolló considerando un estudio profundo de monitorización para realizar la diagnosis del edificio. Por lo tanto, esto fue considerado con el fin de implementar una rehabilitación óptima del edificio. El objetivo principal de la rehabilitación era reducir el consumo de energía del edificio. Para ello, con el fin de reducir la demanda energética se deberían reducir las pérdidas de calor mediante la envolvente. Además, se consideró la mejora de los sistemas del edificio. Por otra parte, también se redujeron las emisiones de CO₂ y el consumo de energía mediante la realización de diversas acciones.

La fachada era una de las principales partes del edificio que se rehabilitó. Para ello, se instalaron paneles de aislamiento al vacío (vacuum insulation panels, VIP) dentro de una fachada ventilada para aislar el edificio. Además, se cambió el sistema de iluminación, donde se instaló una combinación de luces LED y naturales junto con su sistema de control. Parte de las ventanas del edificio también fueron reemplazadas. En este caso, dependiendo de la orientación, se instalaron algunas ventanas reversibles y otras ventanas de alto rendimiento con diferente comportamiento solar. Además, cada piso fue equipado con

this study. The building has a common heating system for the whole building. Each of the floors is distributed differently as detailed in [16]. However, the first floor (F1) and the third floor (F3) are open offices while the ground floor (F0) and the second floor (F2) are individual smaller offices.

The building was built in the 1970 without insulation. However, it has been partially refurbished several times. The façade opaque walls were constructed using concrete panels without any air gap. Nevertheless, due to partial refurbishments, three different types of windows can be found in the building; wooden frame and single glazed windows, aluminium frame (without thermal break) and double glazed windows and, finally, aluminium frame (with thermal break) and double glazed windows. Moreover, south façade windows have concrete made sunshades in order to reduce the solar gains of the building during summer. Furthermore, it must be commented that there was not ventilation or air conditioning system installed in the building before the retrofitting.

2.2.2 Building description after energy-rehabilitated

The design of the rehabilitation works was carried out during year 2015-2016. This led to the rehabilitation works start in summer 2017. The design was developed considering a deep monitoring study to perform a diagnosis of the building. Then, this was considered in order to implement an optimal building retrofitting. The aim of the rehabilitation was to reduce the energy consumption of the building. Hence, firstly, the buildings envelope energy losses should be reduced in order to reduce the energy demand. Furthermore, the buildings energy systems enhancement was considered. Moreover, the CO₂ emissions and the energy consumption were also reduced by several actions.

The façade was a main part of the building rehabilitation. Therefore, vacuum insulation panels (VIPs) within a ventilated façade were installed in order to insulate the building. Furthermore, the lighting system was changed, where a combination of LED and natural lights was installed together with its control system. Part of the building windows were also replaced. In this case, depending on the orientation, some reversible windows and other high performance windows with different solar behaviour were installed. Moreover, each floor was equipped with a ventilation system with recovery together with their control system.

2.2.3. Monitoring system

The building has been equipped with several types of sensors. Each plant has a different distribution of the sensors. There are three main sensor types installed in the building: building internal comfort conditions measuring sensors, building external

un sistema de ventilación con recuperador junto con su sistema de control.

2.2.3. Sistema de monitorización

El edificio ha sido equipado con sensores de diferentes tipos. La distribución de los sensores es diferente para cada planta. Hay tres tipos de sensores instalados en el edificio: sensores de medición de condiciones internas, sensores de medición de condiciones externas y sensores de medición de consumo de energía del edificio.

Los sensores internos instalados miden la temperatura, la humedad relativa, la luminosidad y la calidad del aire (concentración del CO₂) del edificio. Sin embargo, en la parte exterior del edificio, aparte de la temperatura externa, la humedad relativa, la luminosidad y la calidad del aire (concentración del CO₂), también se miden la velocidad del viento, la dirección del viento y la radiación solar global horizontal. Después de la rehabilitación se instaló un sensor extra de CO₂ en el exterior. En cuanto al consumo de energía del edificio, es posible calcular el consumo de energía del sistema de calefacción ya que se miden la temperatura de entrada y de retorno del flujo y el flujo volumétrico del agua de calefacción. Además, midiendo la potencia activa de consumo de los cuadros eléctricos de cada planta, es posible conocer el consumo eléctrico del edificio.

Sin embargo, no todos los datos han sido directamente medidos por los sensores. Con el fin de estimar el HLC, es necesario estimar la apertura solar (S_a) del edificio. En este caso, la apertura solar estimada es $S_a = 230.15 \text{ m}^2$ la cual ha sido previamente estimada en [16]. Dependiendo del área total de las ventanas de cada planta, se ha llevado a cabo la distribución de la apertura solar en cada planta. Mientras a la planta baja le corresponde un 16% de la apertura solar total, a la primera planta le corresponde un 36%, un 23% a la segunda planta y un 25% a la tercera planta. En este caso, se ha medido la Radiación Solar Global Horizontal. Además, [16] también estima el calor generado por los ordenadores y el calor de ocupación generado por la generación de calor metabólico de las personas. Esto último se ha conside-

conditions measuring sensors and building energy consumption measuring sensors.

Inside the building, the temperature, the relative humidity, the brightness level and the air quality (CO₂ concentration) were measured using the internal sensors. However, in the exterior of the building, apart from the temperature, the relative humidity, the brightness level and the air quality (CO₂ concentration), also the wind speed, wind direction and the horizontal global solar radiation could be measured. One extra CO₂ concentration sensor was installed in the exterior after the rehabilitation. Regarding the energy consumption of the building, the energy consumption of the heating systems can be obtained since the entering and returning flow temperature and the heating water flow rate are measured. Moreover, measuring the active power consumption of the electrical board of each of the floors, it is possible to know the electricity consumption.

However, not all the data has been directly measured from sensors. In order to estimate the HLC, it is necessary to estimate the solar aperture (S_a) of the building. In this case, the solar aperture estimated is $S_a = 230.15 \text{ m}^2$ already estimated in [16]. Depending on the total window area of each floor, the solar aperture distribution has been carried out giving a 16% of the total aperture to the ground floor, a 36% to the first floor, a 23% to the second floor and a 25% to the third floor. In this case, the Global Horizontal Solar Radiation (H_{sol}) was measured. Moreover, the heat generated by the computer and the occupancy heat generated by peoples' metabolic heat generation has also been estimated as in [16]. This has been considered as internal gain. The occupancy scheduled for each of the floors has been estimated by analysing the measured lighting electricity consumption and by means of interviews.

The summary of the all building sensors installed in the building can be seen in detail in Table 1 of [1]. However, the following Table 1 shows only the sensors used for the estimation of the HLC in this analysis:

Sensors	Accuracy	Measure type	
7 Calorimeter	ET $\pm (0.4 + 4/\Delta T)\%$ for the set sensors	Heating system	Energy consumption
4 Electricity Power Meter	$\pm 2\%$ for all	Lighting system	
13 Air quality, Temperature and Relative Humidity Sensors	$\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperature ($^\circ\text{C}$)	Indoor Conditions
1 Weather Station on roof	$\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperature ($^\circ\text{C}$)	Weather
1 Outdoors Temperature and Relative Humidity Sensor on roof	$\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$	Temperature ($^\circ\text{C}$)	
1 Pyranometer on roof	$\pm 5\%$	Global Horizontal Solar Radiation (W/m^2)	

Table 01. Summary of the useful building's sensors for the HLC estimation.

rado como carga interna. La ocupación programada para cada uno de los pisos se ha estimado mediante el análisis de la iluminación medida y mediante entrevistas.

El resumen de todos los sensores del edificio instalados en el edificio se puede ver en la Tabla 1 de [1]. Sin embargo, la siguiente Tabla 1 muestra los sensores utilizados para la estimación de la HLC en este análisis:

3. Resultados y discusión

La monitorización del edificio de oficinas en uso se llevó a cabo entre noviembre de 2014 y marzo de 2018, considerando el período de datos de cada noviembre a abril. Por lo tanto, la identificación de varios períodos útiles (subperíodos de al menos 72 h) que cumplan los requisitos de la sección 2.1 se ha llevado a cabo dentro de los cuatro períodos de invierno. Después de la detección de los períodos útiles, el método promedio se ha aplicado para cada uno de los pisos del edificio y también para el edificio completo. Una vez que se han identificado estas estimaciones del HLC, los valores se han comparado entre sí comprobando su variación con los demás resultados. Si la variación del HLC para el mismo piso y para el edificio completo en los tres inviernos analizados antes de la rehabilitación no varía considerablemente, se puede considerar que los resultados obtenidos son fiables. Debe considerarse que las estimaciones de HLC son independientes entre sí, ya que los períodos utilizados son diferentes durante el mismo período de invierno o sucesivos inviernos.

Esta sección presenta los resultados del coeficiente de pérdida de calor obtenidos antes y después de la rehabilitación del edificio. Luego, la sección se divide en dos secciones; la primera sección presenta los resultados obtenidos para los tres períodos de invierno antes de la rehabilitación y la segunda sección presenta los resultados del período analizado obtenidos después de la rehabilitación. Los valores obtenidos después de la rehabilitación deben mostrar una mejora considerable en comparación con los resultados de la sección anterior debido a la instalación de un nuevo sistema de ventilación y a la mejora en el aislamiento de la fachada.

3.1. Resultados de HLC previos a la rehabilitación

Esta sección analiza los tres períodos de invierno desde noviembre de 2014 hasta abril de 2017. Los valores del coeficiente de pérdida de calor antes de la rehabilitación para el período correspondiente se han estimado utilizando la Eq. (1). Como se muestra en la Tabla 2, se encontraron ocho períodos útiles. Los cálculos se han realizado planta por planta y para todo el edificio. Esto permite la comparación entre el HLC estimado directamente para los datos promedio de todo el edificio (HLC_{building}) y el HLC calculado

3. Results and discussion

The monitorization of the in-use office building has been carried out between November 2014 and March 2018, considering the data period from every November-April. Then, the identification of several useful periods (sub-periods of at least 72h) fulfilling the section 2.1 requirements has been carried out within the four winter periods. After the detection of the useful periods, the average method has been applied for each of the floors of the building and also, for the whole building. Once these HLC estimates have been estimated, the values has been compared to each other checking their consistency. In order to ensure the reliability of the results, the independently estimated HLC results for the same floor and for the whole building should not vary considerably. In other words, the HLC estimated results for the same floor and the whole building should be similar for the three analysed winter periods before the rehabilitation. It must be considered that the HLC estimates are independent from each other, since the used data periods are different during the same winter period and the rest of the winter periods.

This section presents the Heat Loss Coefficient results obtained before and after the rehabilitation of the building. Then, the section is divided in two sections; the first section presenting the results obtained for the three-winters before the rehabilitation and the second section presenting the results obtained from the analysed winter after the rehabilitation. The HLC estimated results after the rehabilitation are expected to be lower than the HLC estimated results before the rehabilitation due to the new installed ventilation system and the improved insulation of the envelope.

3.1. Pre-rehabilitation HLC results

This section analyses the three winter periods from November 2014 until April 2017. The Heat Loss Coefficient values before the rehabilitation for the each specific considered analysis period have been estimated using Eq. 1. As shown in Table 2, eight useful periods were found. The calculations have been done for the whole building and for each of the floors. This enables the comparison between the HLC estimated directly for the average data of the whole building (HLC_{building}) and the HLC calculated as the sum of all the floors (HLC_{sum}).

From Table 2 can be concluded that if the independent periods analysed during the three winters are checked, the HLC value variation can be barely seen. This is logical since there have been no change in the building envelope during these three winters. Then, the obtained average value for the whole building does not differ considerably from the independent values. The HLC estimated average value for this pre-rehabilitation case is 5.18 ± 0.56 kW/K with a standard deviation of 0.25 kW/K.

$HLC = \frac{\sum_{k=1}^N (Q_k + K_k + (S_a V_{sol})_k)}{\sum_{k=1}^N (T_{in,k} - T_{out,k})}$ [kW/K] Eq. (1)				FLOOR 0 Eq. (1)			FLOOR 1 Eq. (1)			FLOOR 2 Eq. (1)			FLOOR 3 Eq. (1)			HLC _{sum} Eq. (1)			HLC _{Building} Eq. (1)		
Winter	From	To	Total Hours	HLC _{F0} ±eHLC _{F0}			HLC _{F1} ±eHLC _{F1}			HLC _F ±eHLC _{F2}			HLC _{F3} ±eHLC _{F3}			HLC _{sum} ±eHLC _{sum}			HLC _{Building} ±eHLC _{Building}		
2014-2015	14/12/2/ 16:00	14/12/5/ 20:00	77	0.91	±	0.10	1.53	±	0.16	1.08	±	0.11	1.28	±	0.12	4.80	±	0.49	4.83	±	0.49
	15/1/20/ 10:00	15/1/23/ 8:00	72	1.04	±	0.09	1.64	±	0.15	1.18	±	0.09	1.39	±	0.12	5.25	±	0.45	5.28	±	0.45
	15/1/26/ 19:00	15/1/30/ 20:00	99	1.14	±	0.14	1.70	±	0.20	1.14	±	0.12	1.40	±	0.16	5.38	±	0.61	5.40	±	0.60
	15/2/3/ 6:00	15/2/7/ 1:00	93	1.03	±	0.08	1.54	±	0.12	1.07	±	0.08	1.28	±	0.10	4.93	±	0.38	4.94	±	0.38
2015-2016	15/11/24/ 19:00	15/11/27/ 22:00	76	1.04	±	0.14	1.73	±	0.17	1.19	±	0.12	1.42	±	0.14	5.39	±	0.66	5.47	±	0.57
	16/1/6/ 20:00	16/1/9/ 8:00	61	1.06	±	0.19	1.60	±	0.27	1.09	±	0.18	1.41	±	0.24	5.17	±	0.89	5.20	±	0.90
2016-2017	16/12/19/ 12:00	16/12/22/ 6:00	67				1.49	±	0.16	1.08	±	0.11	1.31	±	0.14	3.87	±	0.42	3.87	±	0.43
	17/1/9/ 18:00	17/1/12/ 7:00	62				1.13	±	0.14	0.95	±	0.11	1.12	±	0.13	3.20	±	0.36	3.19	±	0.39

Table 02.
HLC results before retrofitting.

como la suma de todos los pisos (HLC_{sum}).

Analizando la Tabla 2 podemos concluir que apenas existe una variación entre los valores de HLC obtenidos en los periodos independientes analizados durante los tres inviernos antes de la rehabilitación. Esto tiene sentido ya que no se han realizado cambios en la envolvente del edificio durante este periodo. Por lo tanto, podemos observar que el valor promedio obtenido para todo el edificio no se aleja del resto de los valores independientes. El valor promedio estimado de HLC para este caso previo a la rehabilitación es 5.18 ± 0.56 kW/K con una desviación estándar de 0.25 kW/K.

Debido a la falta de mediciones durante el invierno 2016-2017 en la planta baja, no hay un valor HLC estimado para esta planta en ninguno de los periodos estimados durante este invierno. De todas maneras, los datos del resto de las plantas se midieron con normalidad, por lo que fue posible estimar su HLC sin problemas. Sin embargo, debido a la similitud entre la temperatura promedio interna resultante para todos los periodos, es fácil hacer la estimación del valor de HLC para la planta baja en el invierno 2016-2017. El HLC promedio para la planta baja se obtiene promediando los seis periodos disponibles de los inviernos 2014-2016 y el valor obtenido es 1.04 ± 0.12 kW/K. Entonces, 4.56 ± 0.53 kW/K sería el valor promedio obtenido para el HLC en el invierno 2016-2017. Sin embargo, dado que durante el verano de 2016 se aisló el falso techo de la planta baja, lo último no puede considerarse completamente fiable.

Además, los valores sumados de HLC (HLC_{sum}) y el

Due to the lack of measurements during winter 2016-2017 in the ground floor, there is no estimated HLC value for the ground floor for any of the estimated periods during this winter. However, all the rest of the floors were providing data normally, so the HLC of these floors were estimated without problem. However, due to the similarity between the internal average temperature results for all the periods, it is easy to make the estimation of the HLC value for the ground floor in winter 2016-2017. The average HLC for the ground floor is obtained by averaging the six available periods of the winters 2014-2016 and the obtained value is 1.04 ± 0.12 kW/K. Then, 4.56 ± 0.53 kW/K would be the average value obtained for the HLC for the winter 2016-2017. However, since during the summer 2016 the false ceiling of the ground floor was insulated, the latest cannot be considered completely reliable.

Moreover, the summed HLC (HLC_{sum}) and the total HLC (HLC_{Building}) values show very similar results. Since the internal temperature (T_{in}) remains uniform for all the periods in the different floors of the building, the difference between HLC_{sum} and HLC_{Building} is negligible. However, due to the data has been measured floor by floor, the obtained value from this estimation will be more precise. Then, the HLC_{sum} will be used as reference.

To conclude, the most reliable HLC estimated value for the building before retrofitting is 5.18 ± 0.56 kW/K.

total de HLC ($HLC_{Building}$) muestran resultados muy similares. Dado que la temperatura interna (T_{in}) permanece uniforme durante todo el período en los diferentes pisos del edificio, la diferencia entre HLC_{sum} y $HLC_{Building}$ es insignificante. Sin embargo, debido a que los datos se han medido piso por piso, el valor obtenido de esta estimación será más preciso. Entonces, el HLC_{sum} se usará como referencia.

Para concluir, el valor estimado de HLC más fiable para el edificio antes de la rehabilitación es 5.18 ± 0.56 kW/K.

3.2. Resultados de HLC posteriores a la rehabilitación

En la sección 3.2 se ha llevado a cabo la misma estimación que la realizada en la sección 3.1 para obtener los valores de HLC del invierno 2017-2018. El cálculo de esta sección se realizó después de que el edificio público se rehabilitase. Los patrones de ocupación del edificio permanecen iguales después de la rehabilitación del edificio, por lo tanto, se ha

3.2. Post-rehabilitation HLC results

The same estimation has been carried out in order to estimate the HLC values for the 2017-2018 winter. This section calculations have been performed after the public building retrofitting. The occupation patterns of the building remain equal after the retrofitting of the building, so, the same occupancy heat gain estimation used for section 3.1 has also been used in this section. Due to the rehabilitation of the building, the HLC results of this section should be considerably lower than the results obtained in section 3.1.

Then, the average value obtained for the HLC is 3.74 ± 0.41 kW/K with a standard deviation of 0.28 kW/K. If compared with the average value obtained in section 3.1 (5.18 ± 0.56 kW/K), it can be concluded that the HLC reduction has been considerable. The total reduction of the building HLC mainly due to the insulation of the façade, ventilation system installation and window change has been of 28%.

$$HLC = \frac{\sum_{k=1}^N (Q_k + K_k + (S_a V_{sol})_k)}{\sum_{k=1}^N (T_{in,k} - T_{out,k})} \quad [\text{kW/K}] \text{ Eq. (1)}$$

$HLC = \frac{\sum_{k=1}^N (Q_k + K_k + (S_a V_{sol})_k)}{\sum_{k=1}^N (T_{in,k} - T_{out,k})} \quad [\text{kW/K}] \text{ Eq. (1)}$				FLOOR 0 Eq. (1)			FLOOR 1 Eq. (1)			FLOOR 2 Eq. (1)			FLOOR 3 Eq. (1)			HLC _{sum} Eq. (1)			HLC _{Building} Eq. (1)		
Winter	From	To	Total Hours	HLC _{F0} ±eHLC _{F0}			HLC _{F1} ±eHLC _{F1}			HLC _F ±eHLC _{F2}			HLC _{F3} ±eHLC _{F3}			HLC _{sum} ±eHLC _{sum}			HLC _{Building} ±eHLC _{Building}		
2017-2018	17/11/6/18:00	17/11/10/9:00	88	0.77	±	0.09	1.29	±	0.17	0.88	±	0.11	0.96	±	0.15	3.90	±	0.52	3.92	±	0.52
	17/11/26/21:00	17/12/2/12:00	136	0.71	±	0.06	1.28	±	0.10	0.77	±	0.06	0.86	±	0.08	3.61	±	0.30	3.62	±	0.32
	17/12/20/9:00	17/12/23/9:00	73	0.75	±	0.08	1.32	±	0.15	0.80	±	0.09	0.97	±	0.12	3.84	±	0.44	3.85	±	0.44
	18/1/17/4:00	18/1/20/6:00	75	0.76	±	0.08	1.33	±	0.15	0.86	±	0.10	1.07	±	0.13	4.03	±	0.46	4.04	±	0.46
	18/2/6/17:00	18/2/10/7:00	87	0.65	±	0.05	1.11	±	0.10	0.74	±	0.07	0.83	±	0.08	3.32	±	0.30	3.32	±	0.30

utilizado la misma estimación de ocupación utilizada para la sección 3.1. Debido a la rehabilitación del edificio, los resultados de esta sección deberían ser considerablemente más bajos que los resultados obtenidos en la sección 3.1.

Analizando la Tabla 3, el valor promedio obtenido para el HLC es 3.74 ± 0.41 kW/K con una desviación estándar de 0.28 kW/K. Si se compara con el valor promedio obtenido en la sección 3.1 (5.18 ± 0.56 kW/K), se puede concluir que la reducción ha sido considerable. La reducción total del HLC del edificio debido al aislamiento de la fachada, instalación del sistema de ventilación y cambio de ventanas ha sido de un 28%.

4. Conclusiones

El estudio realizado ha demostrado la validez del

4. Conclusion

The validity of the method has been proven in this study by checking the internal consistency by checking the similarity of the independent HLC estimations of the pre- and post- refurbishment winter periods. It has been possible to apply the method into an in-use four-story office building and obtain reliable HLC results during four winter periods.

The selected periods have been able to fulfill all the requirements of the applied method during both periods, before and after retrofitting. Then, it can be assumed that the HLC estimation has been developed successfully. During the first period, before the rehabilitation (between November 2014 and April 2017), the obtained average HLC value has been 5.18 ± 0.56 kW/K. The building was retrofitted during summer 2017 and the façade of the building was insulated.

Table 03.
HLC results after retrofitting.

método de la media mediante el análisis de la similitud entre los resultados independientes del HLC antes y después de la rehabilitación. Durante el estudio ha sido posible aplicar el método en un edificio de oficinas de cuatro pisos en uso y obtener resultados fiables de HLC durante cuatro periodos de invierno.

Los periodos de análisis seleccionados, han podido cumplir con todos los requisitos del método antes y después de la rehabilitación. Entonces, se puede considerar que la estimación del HLC se ha desarrollado con éxito. Durante el período previo a la rehabilitación (entre noviembre de 2014 y abril de 2017), el valor promedio de HLC obtenido fue de 5.18 ± 0.56 kW / K. El edificio fue rehabilitado durante el verano de 2017 y la fachada del edificio fue aislada. También se instaló un sistema de ventilación con sistema de recuperación en el edificio (hay que tener en cuenta que esto incrementa la parte del C_v que forma parte del HLC en comparación con el periodo de antes de la rehabilitación). Como se esperaba, la rehabilitación del edificio ha reducido considerablemente el valor promedio de HLC a 3.74 ± 0.41 kW/K. Estos valores se estiman utilizando las columnas de HLC_{Sum} en la Tabla 2 y la Tabla 3, ya que la forma de estimarlo es más precisa que la estimación directa del $HLC_{Building}$. Por lo tanto, se puede concluir que la reducción del HLC ha sido de un 28% después de la rehabilitación.

5. Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional a través del proyecto MONITHERM 'Investigación de técnicas de monitoreo de edificios ocupados para su caracterización térmica y metodología para identificar sus indicadores clave de rendimiento', referencia del proyecto: RTI2018 -096296-B-C22 y -C21 (MCIU / AEI / FEDER, UE); por la Comisión Europea a través del proyecto A2PBEER "Edificios públicos asequibles y adaptables a través de la rehabilitación eficiente de la energía", Acuerdo de subvención no: 609060; por la Universidad del País Vasco (UPV / EHU) proporcionando financiación y el edificio de oficinas en uso estudiado. La autora correspondiente también agradece el apoyo brindado por el Departamento de Educación del Gobierno Vasco a través de una beca otorgada para completar su doctorado.

A ventilation system with recovery system was also installed in the building (note that this increases the C_v part of the HLC in comparison to the pre-retrofitting case without mechanical ventilation). As expected, the rehabilitation of the building has reduced considerably the HLC value to 3.74 ± 0.41 kW/K. These values are estimated using the columns of HLC_{Sum} in Table 2 and Table 3, since the way to estimate it is more precise than the direct estimation of the $HLC_{Building}$. Then, it can be concluded that the total reduction of the HLC has been of 28% after the rehabilitation.

5. Acknowledgements

This work was supported by the Spanish Ministry of Science, Innovation and Universities and the European Regional Development Fund through the MONITHERM project 'Investigation of monitoring techniques of occupied buildings for their thermal characterization and methodology to identify their key performance indicators', project reference: RTI2018-096296-B-C22 and -C21 (MCIU/AEI/FEDER, UE); by the European Commission through the A2PBEER project 'Affordable and Adaptable Public Buildings through Energy Efficient Retrofitting', Grant agreement no: 609060; by the University of the Basque Country (UPV/EHU) by providing funding and the studied in-use office building. The corresponding author also acknowledges the support provided by the Education Department of the Basque Government through a scholarship granted to her to complete her PhD degree.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] I. Uriarte, A. Erkoreka, C. Giraldo-Soto, K. Martin, A. Uriarte, P. Eguia, Mathematical development of an average method for estimating the reduction of the Heat Loss Coefficient of an energetically retrofitted occupied office building, *Energy and Buildings*. 192 (2019); 101-122. //doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.03.006.
- [2] European Commission, Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) Compliance Study. 2020, <https://ec.europa.eu/energy/en/studies/energy-performance-buildings-directive-epbd-%E2%80%93-study-compliance> (2015).
- [3] H2020 Energy Efficient Buildings (EeB), H2020 Energy Efficient Buildings (EeB). 2020, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_19_6725.
- [4] EU Buildings Factsheets. 2020, <https://ec.europa.eu/energy/en/eu-buildings-factsheets>
- [5] E. Burman, D. Mumovic, J. Kimpian, Towards measurement and verification of energy performance under the framework of the European directive for energy performance of buildings, *Energy*. 77 (2014), 153-163 //doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.102.
- [6] "Intelligent Energy-Europe", Implementing of the Energy Performance of Buildings directive (EPBD), Co-funded under the Intelligent Energy-Europe Programme of the European Union (2015).
- [7] A.J. Summerfield, T. Oreszczyn, I.G. Hamilton, D. Shipworth, G.M. Huebner, R.J. Lowe, P. Ruyssevelt, Empirical variation in 24-h profiles of delivered power for a sample of UK dwellings: Implications for evaluating energy savings, *Energy and Buildings*. 88 (2015), 193-202 //doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.075.
- [8] P. Bacher, H. Madsen, Identifying suitable models for the heat dynamics of buildings, *Energy Build.* 43 (2011); 1511-1522.
- [9] M.J. Jiménez, M.R. Heras, Application of multi-output ARX models for estimation of the U and g values of building components in outdoor testing, *Solar Energy*. 79 (2005); 302-310. //doi.org/10.1016/j.solener.2004.10.008.
- [10] X. Lü, T. Lu, C.J. Kibert, M. Viljanen, Modeling and forecasting energy consumption for heterogeneous buildings using a physical-statistical approach, *Appl. Energy*. 144 (2015); 261-275.
- [11] P. De Wilde, The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation, *Autom. Constr.* 41 (2014); 40-49.[12]
- [12] A.C. Menezes, A. Cripps, D. Bouchlaghem, R. Buswell, Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap, *Applied Energy*. 97, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261911007811> (2012), 355-364 //doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.11.075.
- [13] F. Stevenson, H.B. Rijal, Developing occupancy feedback from a prototype to improve housing production, *Build. Res. Inf.* 38 (2010); 549-563. 10.1080/09613218.2010.496182.
- [14] D. Butler, A. Dengel, Review of co-heating test methodologies, NHBC Foundation: Knowlhill, UK (2013).
- [15] O. Mejri, E.P. Del Barrio, N. Ghrab-Morcos, Energy performance assessment of occupied buildings using model identification techniques, *Energy Build.* 43 (2011); 285-299.
- [16] A. Erkoreka, E. Garcia, K. Martin, J. Teres-Zubiaga, L. Del Portillo, In-use office building energy characterization through basic monitoring and modelling, *Energy and Buildings*. 119 (2016); 256-266. //doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.030.

Calibration applied to a building thermal facility. Methods for data treatment and thermal model building

Calibración de una instalación térmica doméstica. Métodos para el tratamiento de datos y construcción del modelo térmico

Arrate Hernandez¹, Estibaliz Perez¹, Ana Picallo¹

ABSTRACT

A hybrid thermal facility, located in Biscay (Spain), supplies the domestic hot water (DHW) and the heating demand of 26 social housing units. The facility consists of a 68 [kW] heat pump (HP), connected to a very low enthalpy geothermal well, and a 120 [kW] gas boiler. A SCADA system, stores the data acquired from the measuring devices in different time intervals, format and unit system.

A system thermal model is build, based on the technical information of the facility, with TRNSYS V17, a software for dynamic energy system simulation. Accordingly, additional data that is not obtained from the SCADA was generated with TRNSYS. This model simulates the energy performance of the facility along a year. This step is required for further rigorous studies of its energy performance. In order to achieve this aim, the model must be validated with a validation criterion such as the one indicated in the ASHRAE guideline, 14th standard.

To start the validation, the information stored in SCADA has being analyzed. Therefore, data related to a period in summer (15 May-14 October) and in winter (15 October-14 May), were selected from the SCADA and the following data was used: resource consumption data (gas consumption in the boiler and electricity in the HP) and heat values in the circuits. Gas and electricity meters are record every 15 minutes in the SCADA, while heat values are stored every 24 hours.

Later on, a graphical method has being used to compare the records in both databases. Accordingly, a gap appears between simulated and measured records. That indicates, precisely, the level of uncertainty in the model and, in order to reduce it, a calibration process has being applied.

Consequently, the original gap between real data and model data has being reduced. Therefore, the performance of the model appears now closer to the real facility. Nevertheless, the calibration of the installation should be improved with much more expensive methods to achieve the final objective, of validating the installation according to standard 14th. Because of that, a proper model of the system is a strict requirement to achieve energy savings in buildings thermal systems.

Key Words: Facility calibration; TRNSYS modelling; SCADA data acquisition; ASHRAE validation; dynamic real-data

(1) ENEDI Research Group, Department of Thermal Engineering, Faculty of Engineering of Bilbao, UPV/EHU, arrate.hernandez@ehu.eus

1. Introducción

En una sociedad en la que existen necesidades energéticas básicas, los niveles de confort exigibles van en aumento, con el fin de incrementar el bienestar individual y social. Es por ello que la demanda energética se está elevando significativamente. Por contra, la cantidad de combustibles fósiles se está reduciendo. Por tanto, nos encontramos ante la necesidad vital de buscar alternativas para abastecer dicho consumo. Además, las continuas emisiones de dióxido de carbono, entre otros gases de efecto invernadero, suponen una enorme contribución al cambio climático.

Los edificios son la fuente de una gran cantidad de impactos ambientales debido a la energía utilizada para proporcionarles los servicios necesarios, así como a la energía contenida en los materiales utilizados durante su construcción. En Europa, los edificios son responsables del 40% del consumo final de energía,[1]. Para lograr una sociedad sostenible, se debe reducir el consumo de energía en el sector de la edificación. El primer paso para lograr este objetivo es localizar los puntos débiles y analizar los potenciales de ahorro de energía.

Los sistemas térmicos en edificación, especialmente los de cierta antigüedad, no están optimizados ni en su diseño ni en su estrategia de control y muchas veces no tienen un mantenimiento adecuado. Por lo tanto, un buen análisis de su funcionamiento y la aplicación de técnicas de diagnóstico pueden evitar un deterioro importante y, sobre todo, permite realizar mejoras operativas.

Sin embargo, la mayoría de los estudios de ahorros energéticos ignoran el comportamiento dinámico de los sistemas durante la operación, [2] y su mantenimiento. Por lo tanto, es necesario verificar cómo funciona realmente el sistema y actuar de acuerdo con los propósitos de ahorro energético en las fases de mantenimiento y operación.

Este análisis debe corresponder con los datos reales de la instalación y, por lo tanto, la instalación debe de estar continuamente monitorizada. Aunque el número de sensores instalados en los edificios aumenta progresivamente, existe una escasez de base de datos relacionada con las instalaciones en los edificios. En la [3] se reúnen los datos actuales disponibles relacionados con el stock de edificación.

1.1. Análisis de los sistemas HVAC en edificación

Cuando hablamos de sistemas de energía en edificación, nos referimos a la envolvente del edificio, al sistema de iluminación, así como a los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), por sus siglas en inglés, del edificio.

1. Introduction

In a society in which there are basic energy needs, the required comfort levels are growing in order to increase individual and social well-being. That is why the energy demand is rising significantly; conversely, the amount of fossil fuels is decreasing. Therefore, we have the vital need to look for alternatives to supply such consumption. Furthermore, continuous emissions of carbon dioxide (i.e. greenhouse gases) greatly contribute to the climate change.

Buildings are the source of a large number of environmental impacts due to the energy used to provide them with the necessary services, as well as the energy contained in the materials used during their construction. In Europe, buildings are responsible for 40% of the final energy consumption, [1]. To achieve a sustainable society, energy consumption in buildings must be reduced. The first step in achieving this goal is to locate weak points and to analyse energy saving potentials.

Thermal systems in buildings, especially those of a certain age, are not optimized neither in their design nor in their control strategy and often do not have the adequate maintenance. Therefore, a good analysis of its operation and the application of diagnostic techniques can avoid significant deterioration and, above all, can allow operational improvements.

However, most studies of energy savings ignore the dynamic behaviour of systems during operation [2] and maintenance. Therefore, it is necessary to verify how the system currently works and act in accordance with energy saving purposes in the maintenance and operation phases. This analysis must correspond to the real data of the system and, therefore, it must be continuously monitored. Although the number of sensors installed in buildings is progressively increasing, there is a shortage of databases related to installations in buildings. [3] gathers the current available data related to the building stock.

1.1. Analysis of HVAC systems in buildings

When we talk about energy systems in buildings, we refer to the building envelope, the lighting system, as well as the building's heating, ventilation and air conditioning (HVAC) systems.

According to the applicable regulations in Spain, there are specific criteria and procedures to evaluate and compare the various thermal energy production technologies, both feed with fossil and renewable resources. In any case, the following points must be considered in the analysis [4]

- The use of calculation methods validated by simulation models and contrasted with experimental tests.

Según la normativa aplicable en España, existen criterios y procedimientos concretos para evaluar y comparar las diversas tecnologías de producción de energía térmica, tanto fósiles como renovables. En cualquiera de los casos, estos puntos deben de ser considerados en el análisis [4]:

- El uso de métodos de cálculo suficientemente validados por modelos de simulación y contrastados con medidas experimentales.
- La utilización de parámetros de diseño de los componentes de las instalaciones que sean resultados de ensayos realizados o validados por una tercera parte.
- La monitorización de los datos reales del funcionamiento de las instalaciones que permita comprobar que se cumplen los resultados previstos.

Es importante que los usuarios conozcan el comportamiento del sistema HVAC y los resultados operativos basados en diferentes escenarios de consumo. Por esta razón, es interesante analizar las prestaciones de los sistemas de generación de calor, así como su forma de distribución, en diferentes escenarios de consumo y climatológicos para evaluar cómo trabaja a lo largo de diversos periodos.

1.2. Métodos para el análisis del comportamiento

Existen métodos de cálculo, simples y/o más avanzados que caracterizan el comportamiento de las máquinas térmicas en edificación. Los más detallados utilizan la simulación dinámica y analizan el comportamiento de las instalaciones mediante la modelización física de los diferentes elementos que la componen. Las opciones de estos métodos son prácticamente ilimitadas, ya que simulan cualquier tipo de configuración y permiten modificar una gran cantidad de variables operativas. Así se representa el comportamiento del sistema de manera muy precisa y realista, se optimiza el diseño y se obtiene información sobre los parámetros más sensibles.

El método TRNSYS desarrollado por la Universidad de Wisconsin [5], es el más clásico y líder del mercado entre los sistemas de simulación, está basado en la integración de componentes caracterizados; muchos de ellos ya están normalizados y predefinidos. Permiten el control de los cálculos de los sistemas existentes porque permiten la importación de datos, por ejemplo, los datos del clima y los de consumo.

No obstante, para reproducir de la forma más fiel el comportamiento real de una instalación, es necesario calibrar y validar los resultados de la simulación con aquellos registrados mediante la sensorica disponible.

1.3. Recogida de datos mediante SCADA

- The use of design parameters of the system components; which are obtained from the results of tests or from the validated results of a third party.
- The monitoring of the actual data on the operation condition to verify that the expected results are right.

It is important to know the behaviour of the HVAC system and the operating results based on different consumption scenarios. For this reason, it is interesting to analyse the benefits of heat generation systems, as well as their distribution, in different consumption and climatological scenarios to evaluate how it works over different periods.

1.2. Methods for behavioral analysis

There are simple and/or more advanced calculation methods to characterize the behaviour of thermal systems in buildings. The most detailed ones use dynamic simulation and analyse the behaviour of the facilities by physically modelling the different elements of the system [4]. The options of these methods are practically unlimited, since they simulate any type of configuration and allow modifying a large number of operating variables. This way the behaviour of the system is represented in a very precise and realistic way, the design is optimized and information of the most sensitive parameters is obtained.

The TRNSYS method developed by the University of Wisconsin [5] is the most classic and market leader among simulation systems, and is based on the integration of characterized components; many of them are already standardized and predefined. The method allows the control of the real system calculations because they allow importing data, for example, the climate and consumption data.

However, to reproduce the real behaviour of a facility in the most faithful way, it is necessary to calibrate and validate the simulation results with those recorded data of available sensors.

1.3. Data collection through SCADA

Supervisory control and data acquisition (SCADA) technology is a method of monitoring and controlling large processes and has evolved in the last 30 years. SCADA covers thousands of different areas and has hundreds of dimensions. SCADA is a mature technology and includes, among others, software packages that can be incorporated into a system to improve the safety and efficiency of the operation [6]. Therefore, a SCADA system stores the data acquired from the measuring devices at different time intervals, format and unit system. The main objectives of the SCADA system are the validation of simulations and the analysis of deviations between the real

La tecnología de control de supervisión y adquisición de datos (supervisory control and data acquisition), SCADA es un método de monitoreo y control de grandes procesos y ha evolucionado en los últimos 30 años. Los procesos SCADA cubren miles de áreas distintas y tienen cientos de dimensiones. Siendo una tecnología madura, SCADA incluye, entre otros, paquetes de software que pueden incorporarse a un sistema para mejorar la seguridad y la eficiencia de la operación de estos grandes procesos [6]. Por lo tanto, un sistema SCADA almacena los datos adquiridos de los dispositivos de medición en diferentes intervalos de tiempo, formato y sistema de unidad. Los objetivos principales del sistema SCADA son la validación de simulaciones y el análisis de desviaciones entre el comportamiento real y simulado del edificio, derivado de la hipótesis asumida en su construcción y otras incertidumbres [7]. Inicialmente, para calibrar y validar y, posteriormente, para diagnosticar e implementar optimizaciones en los subsistemas de HVAC es imprescindible que la instalación cuente con un sistema de monitorización y almacenamiento de datos. El sistema de monitorización, permite obtener la imagen real de la instalación y el sistema de almacenamiento permite trabajar con los datos.

1.4. Métodos de calibración existentes

Calibrar un modelo que simula el comportamiento energético de una instalación térmica consiste en realizar una comparativa entre el consumo de energía del modelo y la instalación real. Se alcanzará la validación del modelo cuando el resultado de la calibración se adapte al criterio indicado por alguno de los estándares. Uno de los estándares más utilizados es el que indica la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) Guidelines 14 [8], en adelante la guía, que utiliza los índices estadísticos error medio de sesgo (mean bias error, MBE) y el coeficiente de variación del valor cuadrático medio (coefficient of variation of the root mean square error CV(RSME)) para calibrar el modelo. Se calculan de la siguiente manera:

$$MBE = \frac{\sum_{Periodo} (S - M)_{Intervalo}}{\sum_{Periodo} M_{Intervalo}} \times 100 \quad (1)$$

$$C_v(RMSE_{Periodo}) = \frac{RMSE_{Periodo}}{A_{Periodo}} \times 100 \quad (2)$$

$$RMSE_{Periodo} = \sqrt{\frac{\sum (S - M)_{Intervalo}^2}{N_{Intervalo}}} \quad (3)$$

$$A_{Periodo} = \frac{\sum_{Periodo} M_{Intervalo}}{N_{Intervalo}} \quad (4)$$

and simulated behaviour of the building, derived from the hypothesis assumed in its construction and other uncertainties [7].

Initially, to calibrate and validate and, later, to diagnose and implement optimizations in the HVAC systems, monitoring and storing data of the system is an essential step. The monitoring system allows obtaining the real picture of the installation and the database allows working with the data.

1.4. Existing calibration methods

To calibrate a model that simulates the energy behaviour of a thermal facility, a comparison must be made between the energy consumption of the model and that of the real facility. The validation of the model will be achieved when the result of the calibration is adapted to the criterion indicated by any of the standards.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) Guidelines 14th [8], from now on named as "the guide", is one of the most commonly used. It uses the statistical mean bias error (MBE) and the coefficient of variation of the root mean square error CV(RSME) to calibrate the model. Those parameters are calculated as follows:

S and M are the energy consumptions for a time interval measured in the model and in the facility; N is the number of intervals for a period. Calibration methods are described in [9]. The choice of the method depends on the model, the goal and the available resources. A work that classifies the different calibration methods is found in [10]. Among others, the most interesting methods are (i) the manual method, which is the most elementary, widely used and does not require any additional resources to the model already generated, and (ii) the automated methods, which through the use of software, allow the model to be implemented with optimization algorithms. As an example, the software GenOpt [11] is used to optimize a model generated in TRNSYS through the TrnOpt interface.

Dónde, S y M son los consumos de energía medidos en el modelo y la instalación real respectivamente para un intervalo de tiempo y N es el número de intervalos para un periodo.

En [9] se describen los métodos de calibración. El método a adoptar depende del modelo, del objetivo a alcanzar y los recursos disponibles. En [10] se incluyen referencias a trabajos clasificados por el método de calibración utilizado. Destacan i) el método manual, por ser el más elemental, ampliamente utilizado y por no requerir ningún recurso adicional al modelo ya generado y ii) los métodos automatizados, que mediante el uso de un software, permiten implementar el modelo con algoritmos de optimización. Un ejemplo es la utilización del software GenOpt [11] que mediante la interface TrnOpt permite optimizar un modelo generado en TRNSYS.

2. Objetivos

El objetivo de este artículo es calibrar una instalación térmica que abastece las demandas de agua caliente sanitaria (ACS) y calefacción de un edificio situado en Durango (País Vasco). Con esto se pretende generar un modelo dinámico mediante el software TRNSYS v17 y conocer la incertidumbre del modelo. Por lo tanto, este trabajo contiene el proceso de calibración de un modelo dinámico a partir de los datos reales recogidos mediante un sistema SCADA.

El documento se divide en 7 secciones principales: después de esta breve introducción de la Sección 1, la Sección 2 se ocupa del objetivo y la Sección 3 contiene la metodología utilizada para calibrar la instalación. La Sección 4 describe el caso de estudio. Los resultados numéricos se muestran en la Sección 5 y, en las últimas Secciones 6 y 7, se presentan las conclusiones y la discusión final.

3. Metodología

Como se ha indicado, el objetivo es validar un modelo dinámico de una HVAC que usa como generador principal una BC geotérmica. Por ello, se hace necesario disponer de información detallada para completar la fase de modelado de la instalación, así como la fase de calibración y validación. Los datos que alimentan el modelo deben ser veraces y el programa para la simulación de la instalación debe garantizar la precisión y fiabilidad de los resultados.

Para realizar el modelado se requiere conocer las características físicas y termodinámicas de todos los componentes de la instalación, su disposición en planta y su control, así como los datos del consumo de ACS y calefacción que se deben abastecer.

Para ello, se ha recopilado información de todas las fuentes disponibles, que son las siguientes:

- memoria técnica de la instalación,

2. Objectives

The general objective of this article, as a whole, is to calibrate a thermal system that supplies the DHW and heating demands, with geothermal technology, of a building located in Durango (Basque Country). The idea is to generate a dynamic model using the TRNSYS software and to know the uncertainty of the model. Therefore, this work contains the process of calibration and validation of a dynamic model based on the actual data collected using a SCADA system.

The document is divided into 7 main sections: after this brief introduction of Section 1, Section 2 addresses the objective and Section 3 contains the methodology used for calibrating the facility. Section 4 describes the case study and explains the main barriers and their solutions. The numerical results appear in Section 5 and, in the last Sections 6 and 7, the conclusions and the final discussion are presented.

3. Methodology

As stated, the objective is to validate a dynamic model of an HVAC that uses a geothermal heat pump as the main generator. Therefore, it is necessary to have detailed information of the installation to complete the modelling phase, as well as the calibration and validation phase. On the one hand, the data feeding the model must be truthful and, on the other hand, programs that allow detailed simulation of the installation are needed to guarantee the precision and reliability of the results.

For the modelling, the following data need to be known: the physical and thermodynamic characteristics of all the components, the layout of the plant and its control, and the data of the heating and DHW consumption.

For this, the following information has been collected from different sources:

- technical memory of the installation,
- facility's principle scheme,
- technical documentation of the components of the installation,
- visual inspections of the facility,
- meetings with maintenance and technical professionals,
- SCADA.

As already mentioned, the guidelines in ASHRAE 14-2002 are followed to validate the model. Accordingly, a reference model associated with reference data (inputs) is established. For this, the information has been collected and the data has been analysed,

- esquema de principio de funcionamiento,
- documentación técnica de los componentes de la instalación,
- inspecciones visuales a la instalación,
- encuentros con personal de mantenimiento y técnico,
- SCADA.

Para validar el modelo, se sigue lo indicado en la guía. Se establece un modelo de referencia que tiene asociados unos datos de referencia (inputs). Para ello, se ha recopilado la información y se han analizado los datos, filtrando los no válidos y seleccionando los válidos. Así, se tienen 8 modelos de referencia de la instalación que son representativos del periodo climatológico estudiado y de los modos de funcionamiento de la instalación. Después se simulan los modelos y se obtienen los outputs. Eso permite comparar outputs del modelo con los registros reales, calibrar el modelo, calculando los índices estadísticos correspondientes, MBE y CV(RSME), cuyos resultados son representativos de la incertidumbre del modelo. Este procedimiento es iterativo y finaliza cuando se alcanzan los valores de tolerancia entre modelo y realidad indicados en la guía. En la Fig. 1 se muestran los pasos a realizar para la validación del modelo.

filtering the invalid data and selecting the valid one. Thus, there are 8 reference models of the installation that represent all the periods and operation modes of the installation. Then the models are simulated and the outputs are obtained. This makes it possible to compare the models outputs with the actual registers by calculating the corresponding statistical MBE and CV(RSME) indices, whose results give the models uncertainty. This procedure is iterative and ends when the tolerance values between the model and the reality indicated in the guide are reached. Fig. 1 shows the steps to validate the model.

4. Case study

The case under study deals with a hybrid centralized installation that uses natural gas and geothermal energy as sources of energy. It supplies DHW and heating to a building with 26 social houses. The installation is placed in Durango (Basque Country), see Fig. 2. The building has five floors plus an attic above ground level; besides there are two floors below ground level for garages and storage rooms. The architectural design quality is high and is provided with an underfloor heating facility [12].

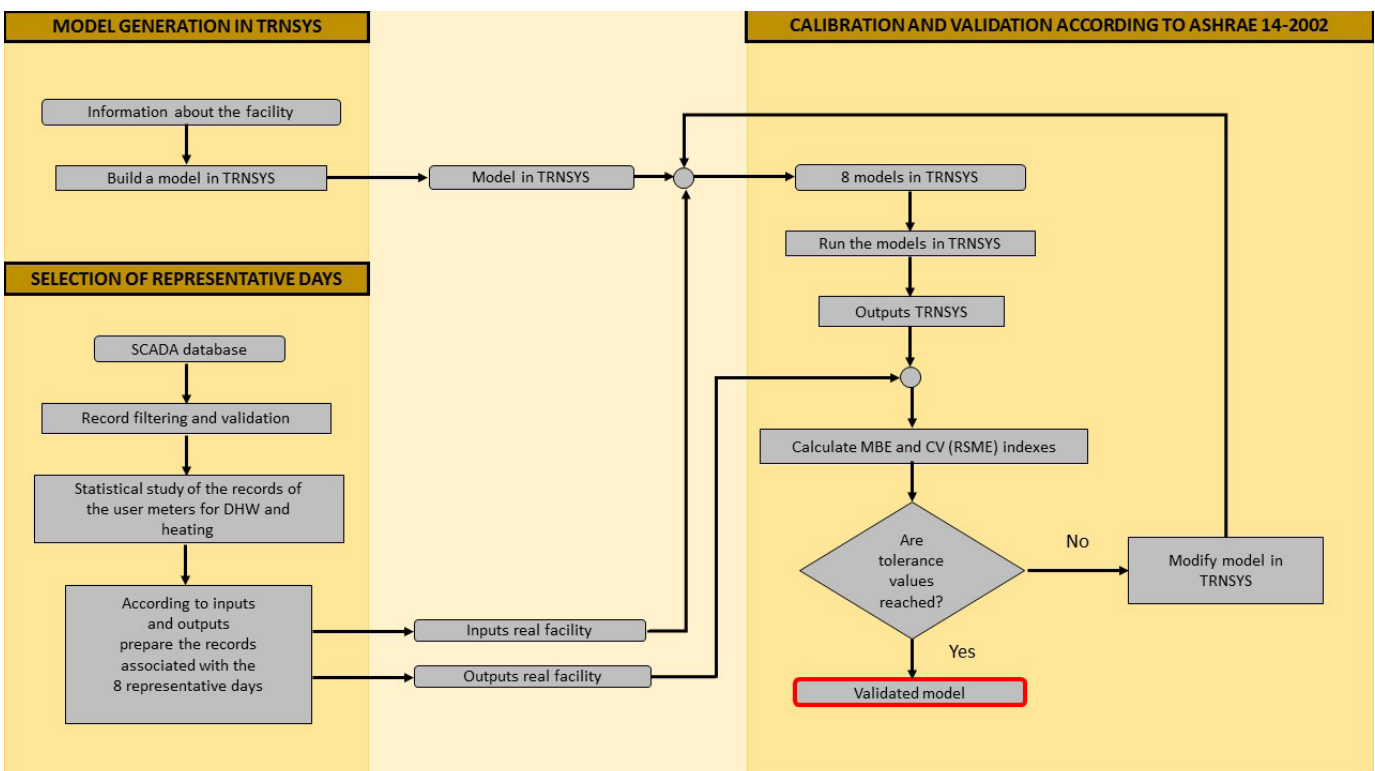
4.1. Heating and DHW facility

The thermal system consists of a 68 kW nominal reversible water-water geothermal heat pump. However, given the geographical location of the building and, therefore, its climate, it only works in heating mode since air conditioning in summer is not mandatory in the Basque Country [13]. It was dimensioned in order to supply the

Figure 01.
Flowchart for calibration and model validation.

4. Caso de estudio

Se trata de una instalación centralizada híbrida con



acumulación que abastece de ACS y calefacción a un edificio de 26 viviendas sociales. La instalación analizada está ubicada en Durango (País Vasco), ver Fig. 2. El edificio está compuesto por cinco plantas más un ático sobre rasante destinados a viviendas y dos plantas bajo rasante, destinadas a garajes y trasteros, con un diseño arquitectónico de alta calidad y provisto de una instalación de calefacción de suelo radiante [12].

4.1. Instalación de calefacción y ACS

La instalación térmica consiste en una BC geotérmica agua-agua reversible de 68 kW de potencia nominal. No obstante, dada la localización geográfica de la instalación y, por lo tanto, su clima, solo funciona en modo calefacción ya que la climatización en verano no es obligatoria en el País Vasco [13]. Se dimensionó con el objeto de abastecer la demanda base de calefacción y ACS del edificio mediante el aprovechamiento del calor del subsuelo. Se pretende aprovechar la energía geotérmica de baja entalpía que, además de ser una buena alternativa para suministrar energía, es renovable y limpia, [14]. Cuenta también con un sistema de generación auxiliar, consistente en una caldera de condensación a gas natural, con una potencia nominal de 120 kW y un rendimiento del 97,5 % que funciona a alta temperatura para llegar a la consigna de temperatura de consumo de ACS requerida. Además, cubre la demanda pico y está dimensionada para poder suministrar la totalidad de la demanda en el caso de que la bomba de calor esté temporalmente fuera de uso.

Para asegurar el suministro y evitar un excesivo número de arranques y paradas de los equipos de generación, la instalación cuenta con dos depósitos de inercia con una capacidad de acumulación de 2.000 l cada uno para ACS y un depósito de 2.000 l para calefacción. Los elementos principales de la instalación se muestran en la Fig. 3 junto a una breve descripción de los principales componentes utilizados, se recogen en la *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..*

El sistema de regulación y control actúa sobre los componentes de la instalación en base a la lectura de la temperatura en los depósitos de acumulación. Se prioriza cubrir la demanda de ACS frente a la demanda de calefacción y utilizar la BC para cubrir la demanda de calefacción, relegando el uso de la caldera a cubrir picos de demanda.

La BC cubre la demanda de ACS o calefacción dependiendo de la posición de una válvula de tres vías todo-nada comandada por el sistema de control mientras que la caldera puede cubrir ambas demandas simultáneamente.

Los modelos generados en TRNSYS se construyen basados en los componentes que forman la instalación, su disposición en planta y el control.



Figure 02.
Studio building in Durango
with geothermal heat pump.

all heating and DHW demand of the building by using the subsoil heat. The aim is to take advantage of low enthalpy geothermal energy, which, in addition to being a good alternative to supply energy, is renewable and clean, [14]. It also has an auxiliary generation system, consisting of a natural gas condensing boiler, with a nominal power of 120 kW and a mean efficiency of 97.5%. It is dimensioned to be able to supply all of the demand in case that the geothermal heat pump is temporarily out of use.

To ensure the supply and to avoid excessive number of starts and stops of the generation equipment, the installation has two storage tanks with a storage capacity of 2,000 l each for DHW and a 2,000 l tank for heating.

The main elements of the installation are shown in and a brief description, together with the abbreviations used, of the components are shown in Table 1 and in Fig. 3.

The control of the system is carried out by means of the temperature sensors in the storage tanks. The DHW demand has priority against the heating demand; in addition, the HP is principally used to cover the demands while the boiler covers the demand peaks. The HP decision of covering the DHW or heating demand depends on the position of an all-nothing three-way valve commanded by the control system; the boiler, conversely, can cover both demands simultaneously.

The models generated in TRNSYS, are built based on the components of the facility, its plant layout and control.

The facility has numerous sensors that provide the necessary signals to control and guarantee its correct operation, as well as to monitor its operating status. Data storage is done using a SCADA system

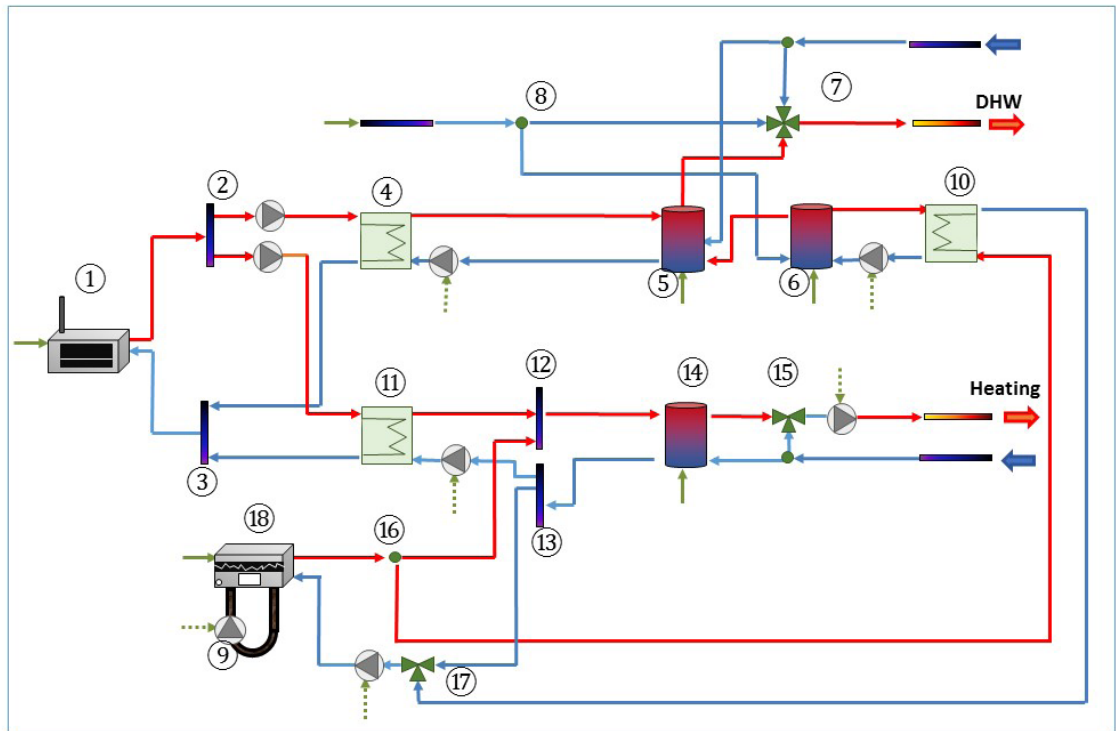


Figure 03.
Scheme and main groups of the facility under study.

CONSIDERED COMPONENTS			
No.	DESCRIPTION	No.	DESCRIPTION
①	Boiler	⑩	DHW heat pump heat exchanger
②	Diverter DHW/heating boiler	⑪	Heat exchanger heating boiler
③	Mixer DHW/heating boiler	⑫	Mixer heating boiler/ heat pump
④	Heat exchanger DHW boiler	⑬	Diverter heating boiler/ heat pump
⑤	Storage tank DHW final T	⑭	Storage tank heating
⑥	Storage tank DHW low T	⑮	V3V heating preparation
⑦	V4V DHW	⑯	Mixer
⑧	V3V DHW return	⑰	V3V DHW/heating
⑨	Ground heat exchanger	⑱	Heat pump

Table 01.
Brief description of the main components.

La instalación dispone de numerosos sensores que proporcionan las señales necesarias para controlar y garantizar su correcto funcionamiento; así como, para monitorizar su estado. El almacenamiento de datos se hace mediante un sistema SCADA que permite llevar a cabo un estudio energético detallado. En función de la localización del flujo y del equipo monitorizado, el registro de datos se hace en periodos temporales diferentes: por lo general, los valores de las temperaturas dentro del circuito de distribución, el consumo de gas en la caldera y el consumo de electricidad en la BC se recogen cada 15 minutos mientras que los calorímetros y registros de los consumos de ACS y calefacción de los usuarios son diarios.

4.2. Formas de funcionamiento

El control de la instalación limita la producción de calefacción al período denominado de invierno lo que

that allows a detailed energy study. Depending on the location of the flow and the monitored equipment, the data is recorded in different time-periods. Generally, the values of the temperatures within the distribution circuit, the gas consumption in the boiler and the electricity consumption in the heat pump are collected every 15 minutes, while the calorimeters and DHW and heating consumption data are registered daily.

4.2. Operation modes

The control of the installation limits the production of heating to the so-called winter period, which distinguishes two operating modes in the system: heating period (October 15th- May 14th) and non-heating period (May 15th - October 14th). Heating can be produced by the HP or by the boiler.

However, in order to consider the climate of the

hace que distinguir dos modos de funcionamiento: periodo de calefacción (15 de mayo-14 de octubre) y de no-calefacción (15 de octubre-14 de mayo). La calefacción puede producirse mediante la BC o mediante la caldera.

Sin embargo, considerando las características climatológicas del lugar donde se ubica la instalación y para que los modelos reflejen de forma fiel los distintos estados de funcionamiento de la instalación, siguiendo lo recomendado en la guía, se distinguen 4 periodos climatológicos:

- El período de invierno, que incluye los meses de diciembre, enero y febrero.
- El período de transición entre invierno y verano que incluye los meses de marzo, abril y mayo.
- El período de verano que incluye: los meses de junio, julio y agosto.
- El período de transición entre verano e invierno que incluye: los meses de septiembre, octubre y noviembre.

Y para cada período, se eligen los siguientes días tipo como representativos del estado de funcionamiento de la instalación:

- Un día laboral, de lunes a viernes.
- Un día de fin de semana, de sábado a domingo.

Por tanto, se tienen 8 días representativos de la instalación que dan lugar a 8 modelos generados en TRNSYS.

4.3. Registro de datos

Como se ha comentado, la información de la instalación se almacena en un SCADA, en la Tabla 2, se incluye la información relativa a los contadores con los que cuenta la instalación. De dicho registro, se han seleccionado los datos relativos a los contadores para un período de 1 año (1 de mayo del 2019- 30 de abril del 2020).

location, to accurately construct the models of the different operating states, and to follow the recommendations of the guide, 4 climatological periods are distinguished:

- The winter period, which includes the months of December, January and February.
- The transition period between winter and summer: March, April and May.
- The summer period: June, July and August.
- The transition period between summer and winter: September, October and November.

In addition, also following the recommendations, for each period the following standard days are chosen to represent the operating mode:

- one labour day from Monday to Friday
- and another weekend day, Saturday to Sunday.

Therefore, there are 8 representative days of the installation that give 8 models.

4.3. Data acquisition

As mentioned, the installation information is stored in a SCADA. The Table 2 shows the information about the meters of the facility. Records related to 1 year, 1st May 2019- 30th April 2020 have been selected from the database.

DHW and heating consumptions are the inputs of the TRNSYS models, while resource and heat consumption in the circuits are compared with the outputs of the TRNSYS models.

4.4. Simulated and registered data

For calibration, it is necessary to have a support tool from a simulation program to allow comparisons between simulated and measured records; In this case, Excel tool has been used.

METER CODE	DISPLAY FREQUENCY VIA SCADA	MEASUREMENT
C7	24 hours	Thermal energy in primary circuit DHW HP
C8		Thermal energy in primary circuit DHW boiler
C16		Thermal energy in primary circuit heating HP
C17		Thermal energy in primary circuit heating boiler
C34		Thermal energy in geothermal circuit
C31	24 hours	User DHW
C32		User heating
C26	15 minutes	Electrical energy in HP
C28		Gas in boiler

Table 02. Meters of the facility.

Los consumos de ACS y calefacción constituyen los inputs de los modelos de TRNSYS, mientras que los consumos de recursos y de calor en los circuitos se comparan con los outputs de los modelos de TRNSYS.

4.4. Registros simulados y medidos

Para la calibración es necesario contar con una herramienta de apoyo para TRNSYS que permita realizar la comparativa entre los registros simulados y medidos; en este caso se ha utilizado la herramienta Excel.

Así, mediante un método gráfico, se han comparado los registros simulados y medidos además de constituir un nexo de unión entre SCADA y TRNSYS.

La brecha entre ambos registros es el indicador del nivel de incertidumbre entre el modelo y la instalación real.

Para reducir el nivel de incertidumbre se aplica un proceso de calibración.

4.5. Proceso de calibración

Tal como se ha mencionado, el objetivo es calibrar la instalación para obtener un modelo matemático de la misma. Para ello, se han realizado varias iteraciones. Los resultados obtenidos para consumo de recursos, contabilizados por C26 y C28, indican que la incertidumbre en el modelo supera el límite impuesto de 10% y un 30% para los índices MBE y Cv(RMSE). Por tanto y según se indica en la Fig. 1, se requiere hacer cambios en el modelo y una nueva iteración.

El proceso de calibración escogido para este caso de estudio sigue un plan que se fundamenta en la utilización del método de calibración manual para introducir cambios en el control de la instalación y un método de calibración automático, utilizando la herramienta GenOpt para modificar los parámetros que definen los tipos de TRNSYS que componen el modelo. En este trabajo se aborda la parte del plan de calibración que afecta al control de la instalación.

5. Resultados numéricos y gráficos

Se presentan a continuación los resultados numéricos y las representaciones gráficas de la calibración del caso de estudio.

5.1. Recogida de datos y filtrado.

Como se ha descrito, la instalación se calibra tomando como base para los cálculos de los índices estadísticos MBE y CV(RSME) los valores de los outputs reales y simulados de unos días representativos. Los días representativos seleccionados son una muestra para el periodo temporal 1/05/2019-30/04/2020.

Thus, by means of a graphical method, simulated and measured records were compared and used as a link between SCADA and TRNSYS.

The gap between both registers is the uncertainty level indicator between the model and the actual installation.

Consequently, a calibration process is applied to reduce the level of uncertainty.

4.5. Calibration process

The goal is to calibrate the mathematical model of the facility. To this end, several iterations have been carried out. The results obtained for resource consumption, accounted for by C26 and C28, indicate that the uncertainty in the model exceeds the imposed limit of 10% and 30% for the MBE and Cv(RMSE) indices. Therefore, as indicated in Fig. 1, changes in the model and more iterations are required.

The calibration process chosen for this case study follows a plan based on the use of the manual calibration method to introduce changes in the control of the facility and an automatic calibration method, using the GenOpt tool to modify the parameters that define the TRNSYS types that make up the model. This paper addresses the part of the calibration plan that affects the control of the facility.

5. Numerical and graphic results

The numerical results and graphical representations of the calibration of the case study are presented below.

5.1. Data collection and filtering

As described above, the facility is calibrated on the basis of the MBE and CV(RSME) statistical indexes calculations with the values of the actual and simulated outputs of a few representative days. The selected representative days are a sample for the period included between 1/05/2019-30/04/2020.

The sample includes all the operating modes of the facility and is representative of the average daily DHW and heating demand in the building.

A database is generated with the records of 45 measuring devices: 7 correspond to meters and 37 to thermocouples. Each record has a value, a unit and the day and time of recording associated with it.

Due to connection problems with SCADA, discontinuities in the recording values appear during the period. The following records for the counters are taken from the new database:

- C26: Electricity BC. 97 records/ day.

La muestra recoge todos los modos de funcionamiento de la instalación y es representativa de la demanda media diaria de ACS y calefacción en el edificio.

Se genera una base de datos que cuenta con registros de 45 aparatos de medida: 7 corresponden a contadores y 37 a termopares. Cada registro tiene asociado un valor, una unidad y el día y hora de registro.

Debido a los problemas de conexión con SCADA, se observa discontinuidad en el registro de valores para el periodo temporal estudiado. De la nueva base de datos se toman los registros para los contadores:

- C26: Electricidad BC. 97 registros/ día.
- C28: Gas caldera. 97 registros/ día.
- C31: Sumatorio de contadores de ACS del edificio. 1 registros/ día.
- C32: Sumatorio de contadores calefacción del edificio. 1 registros/ día.

- C28: Boiler gas. 97 records/day.
- C31: Sum of DHW meters of the building. 1 record/day.
- C32: Sum of building heating meters. 1 record/day.

First of all, the quality of the records associated to these meters is studied, since the records of C26 and C28 are used to compare their values with the outputs of the TRNSYS models, while the records of C31 and C32 are used to generate the demand profiles that are inputs of the TRNSYS models. The demand profiles are generated using the tool developed in [15]. In Table 3, red colour indicates that there are no records for C26, C28, C31, C32 while green coloured boxes indicates a complete record.

As it can be seen, the quality of data collection is really poor due to the lack of calibration of the sensors and the difficulty of communicating with the installation company. This fact must be solved for future analysis and diagnostic actions.

However, the current calculations are based on the few data collected in Table 3.

	DAYS																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
May. 2019																																
Jun. 2019																																
Jul. 2019																																
Aug. 2019																																
Sep. 2019																																
Oct. 2019																																
Nov. 2019																																
Dec. 2019																																
Jan. 2020																																
Feb. 2020																																
Mar. 2020																																
Apr. 2020																																

Table 03. Quality of the records.

Se estudia la calidad de los registros asociados a dichos contadores ya que los registros de C26 y C28 se utilizan para comparar sus valores con los outputs de los modelos TRNSYS, mientras que los registros de C31 y C32 se utilizan para generar los perfiles de demanda que son inputs de los modelos TRNSYS. Los perfiles de demanda se generan utilizando la herramienta desarrollada en [15]. En la Tabla 3 el color rojo indica falta de registros para C26, C28, C31, C32 mientras que el color verde indica registro completo.

Como se comprueba, la calidad de recogida de datos es verdaderamente escasa debido a la falta de calibración de los sensores y dificultad de comunica-

	Period	Complete record [%]
1	jun.-jul.-ago. 2019	0.53
2	sept. -oct.-nov.2019	0.91
3	dic. 2019- ene.-feb.2020	0.63
4	mar.-abr.2020- may. 2019	0

Table 04. Quality records of meters C26,C28,C31 and C32.

ción con la empresa instaladora. Hecho que deberá solucionarse cara a futuras actuaciones de análisis y diagnóstico.

Sin embargo, los cálculos actuales se basan en los pocos datos recogidos en la Tabla 3.

Debido a la discontinuidad en los registros la instalación se calibra para días representativos de los periodos climatológicos en los que se ha dividido el año a estudio. La Tabla 4 recoge el porcentaje de días con registro completo para los periodos climatológicos.

Se observa que para el periodo climatológico 4, no hay ningún día que tenga un registro completo, este hecho tiene una relación directa con las dificultades emergidas debido al Covid19. Siendo el objetivo final calibrar y validar la instalación, se descarta trabajar con días cuyos datos asociados aumenten la incertidumbre en los modelos.

Por tanto, la base de datos para la elección de los días representativos se compone solamente de los días con registro completo.

5.2. Días representativos

Los días representativos son dos por periodo, uno corresponde a un día laborable, de lunes a viernes (L-V), y otro a un día de fin de semana (S-D), de sábado a domingo.

Due to the discontinuity in the records, the facility is calibrated only according to the representative days into which the year under study has been divided (which are related to the weather). Table 4 shows the percentage of days with complete records for the climate periods.

It can be seen, there is no day that has a complete record for the climate period 4; indeed, this fact has a direct relation with the difficulties emerged due to the Covid19. Therefore, as the final objective is to calibrate and validate the installation, the days whose associated data increase the uncertainty in the models are erased.

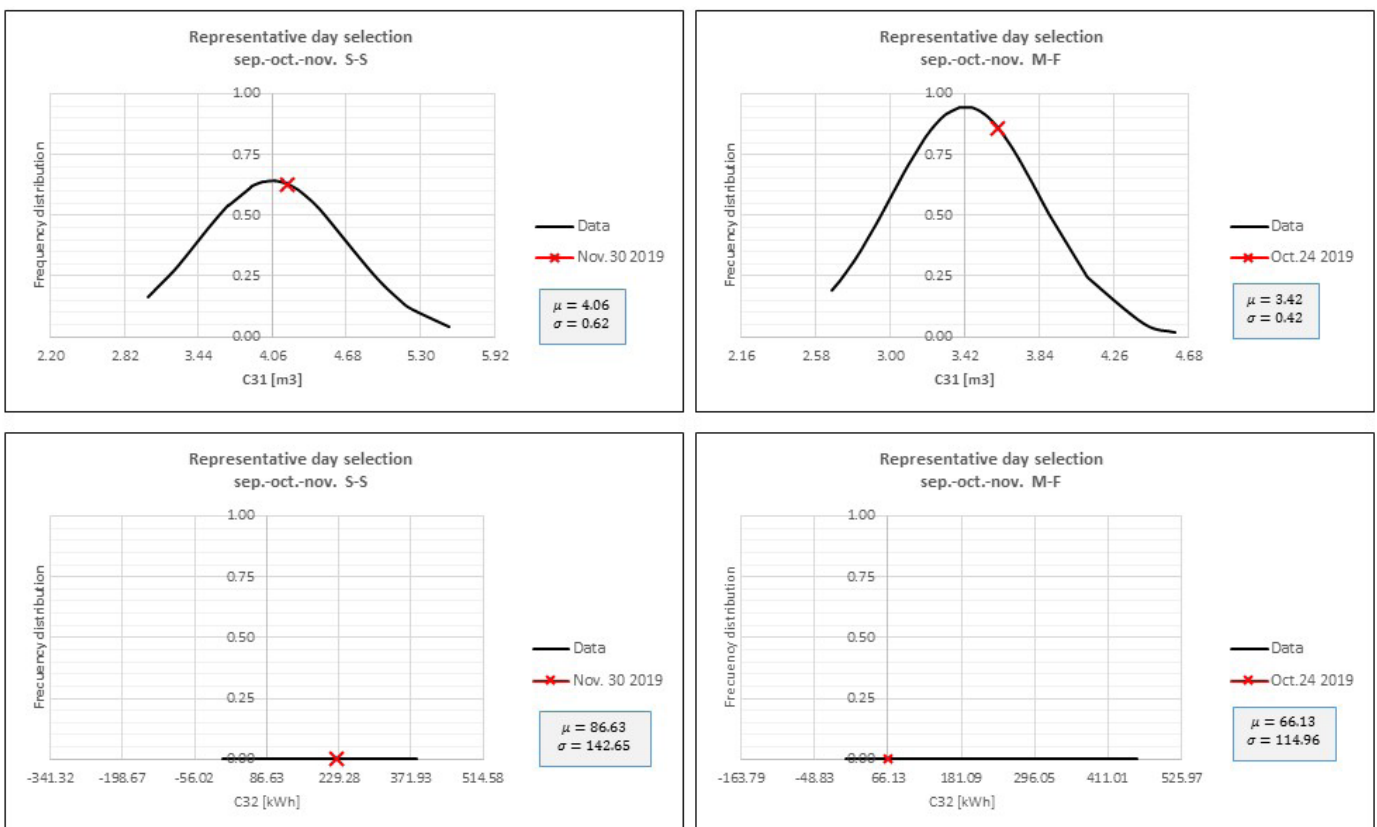
Therefore, the database for the choice of representative days consists only of days with complete recording.

5.2. Representative days

The representative days are two per period, one corresponds to a working day, Monday to Friday (M-F), and the other to a weekend day (S-S), Saturday to Sunday.

The selection of representative days for periods 1, 2 and 3 is based on a statistical study carried out on the series of values of C31 and C32. The days whose records in C31 and C32 have centralised values with respect to the series studied are selected. Figure 4 shows the choice of the representative day of period 2.

Figure 04.
Elección del día representativo para el periodo 2.



La selección de los días representativos para los periodos 1,2 y 3 se fundamenta en un estudio estadístico realizado sobre las series de valores de C31 y C32. Se seleccionan los días cuyos registros de C31 y C32 tengan valores centralizados respecto a las series estudiadas. La Fig. 4 muestra la elección del día representativo del periodo 2.

La selección de los días representativos del periodo 4, se fundamenta en el estudio del registro de la temperatura exterior T33. Se utiliza la T33 media del periodo 4 para hallar en la base de datos del periodo 2 dos días cuyos registros de T33 sean próximos. La correspondencia entre los periodos 2 y 4 se establece en base al estudio estadístico de T33 que figura en las Tabla y ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..

La ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. muestra los días representativos seleccionados y la Tabla 6 Días representativos seleccionados recoge el registro de los contadores dónde se muestra que se recogen todos los modos de funcionamiento de la instalación, producción de ACS mediante BC y caldera, contadores C7, C8 y C34 y producción de calefacción mediante BC y caldera, contadores C16, C17 y C34.

5.3. Formas de funcionamiento. Caldera y bomba de calor

A partir de los datos registrados se chequea la adecuación del control del modelo. Inicialmente el control del modelo está en función del estado de los depósitos. Sin embargo, una de las conclusiones obtenidas del estudio en tiempo real de la instalación a través de la imagen que SCADA proyecta de la instalación, es que la caldera y la bomba de calor, además de estar supeditadas al estado de los depósitos, tienen su propio control.

Esta información puede ser evidente, pero el análisis de datos de temperaturas a partir del registro impide extraer esta conclusión debido a que la frecuencia de visualización del registro, 15 minutos para el caso de temperaturas, es excesiva para observar este detalle. En la Fig. 5 se muestran los resultados y se verifica la hipótesis.

Se ha analizado la temperatura del flujo que circula a través de la caldera en la entrada T14 y en la salida T15 de la misma, la temperatura del depósito de almacenamiento de ACS T1, cada 15 segundos y los límites de temperatura del depósito impuestos por la temperatura de consigna y su histéresis Tinf. y Tsup.

Asimismo, se ha analizado la temperatura del flujo que circula a través de la BC en la entrada T39 y en la salida T41 de la misma, la temperatura del depósito de almacenamiento de ACS T2, cada 15 segundos y los límites de temperatura del depósito impuestos por la temperatura de consigna y su histéresis Tinf. y Tsup.

The selection of the representative days of period 4 is based on the study of the T33 outdoor temperature record.

The average T33 of period 4 is used in order to find in the database of period 2 two days whose records are close to T33. The correspondence between periods 2 and 4 is established based on the statistical study of T33 shown in Table 5 and Table 6.

Table 7 shows the selected representative days and Table 8 shows the record of the meters gathering all the operating modes of the installation, the DHW production by means of BC and boiler, meters C7, C8 and C34 and heating production by means of HP and boiler, meters C16, C17 and C34.

Period	T33 [°C]	
	Mean	Standard deviation
1	20.8	5.9
2	15.5	5.4
3	10.2	4.3
4	13.8	5.2

Table 05. Statistical study of T33.

Period	T33 mean [°C]		Representative day	
	M-F	S-S	M-F	S-S
2	14.5	12.6	4-nov.-2019	20- oct.-2019
4	13.7	13.9		

24jun.2019	M-F
21jul.2019	S-S
24oct.2019	M-F
30nov.2019	S-S
17feb2020	M-F
11jan2020	S-S
4nov2019	M-F
20oct2019	S-S

Table 06. Correspondence between period 2 and 4.
Table 07. Choice of the representatives day.

5.3. Forms of operation. Boiler and heat pump

Based on the recorded data, the adequacy of the model control is checked. Initially the model control is based on the status of the tanks. However, one of the conclusions obtained from the real-time study of the installation through SCADA is that the boiler and the heat pump, in addition to being subject to the state of the tanks, have their own control.

This information may be evident, but the analysis of temperature data from the register hide this conclusion because the frequency of display of the register,

Representative days	Meters in the circuits				
	C7 [kWh]	C8 [kWh]	C16 [kWh]	C17 [kWh]	C34 [kWh]
24jun.2019	75	61	0	0	43
21jul.2019	92	63	0	0	32
24oct.2019	119	70	51	0	93
30nov.2019	135	77	162	35	197
17feb2020	75	84	221	0	194
11jan2020	70	100	366	0	297
4nov2019	100	72	41	0	80
20oct2019	113	73	9	0	69

Table 08.
Meter values in the circuits.

5.4. Resultados

Se han generado las herramientas necesarias para empezar con el proceso de calibración del modelo y se ha cuantificado el nivel de incertidumbre del mismo mediante el cálculo de los índices MBE y Cv(RMSEperiod). Los valores se obtienen comparando los registros reales y simulados del contador de consumo de energía eléctrica en la BC C26 y del contador de consumo de gas en la caldera C28 para el conjunto de los días representativos seleccionados.

En relación a los resultados numéricos, la Fig. 6 muestra los resultados de la calibración. En esta figura se observa una baja relación entre los índices obtenidos y los índices requeridos para cumplir el estándar. Según las instrucciones de la guía, para realizar una calibración horaria y para que el modelo de la instalación sea validado, existen unos valores máximos de los índices MBE y Cv(RMSEperiod) del 10% y 30% respectivamente.

Por lo tanto, considerando estos valores, los resultados de este estudio sobrepasan los límites notablemente. No obstante, estos resultados no son de extrañar. Existen numerosos estudios, entre los que se encuentran las referencias [16],[17], que tratan la existencia y el origen de estas grandes diferencias entre modelo y realidad.

Sin embargo, el procedimiento descrito a lo largo de este trabajo nos permite conocer la incertidumbre del modelo y generar las herramientas para el cálculo de los índices MBE y Cv(RMSEperiod). Este paso es básico e imprescindible ya que, según se indica en la Fig.1, para validar del modelo, se requiere iniciar un proceso iterativo hasta converger a con una mínima tolerancia.

Sin embargo, el proceso iterativo queda fuera del alcance de este paper y se desarrollará en un siguiente trabajo.

Además, para iniciarlo, hay que localizar el origen de la incertidumbre y hacer cambios en los inputs del modelo hasta alcanzar unos resultados que indiquen

15 minutes in the case of temperatures, is excessive for observing this detail. Figure 5 shows the results and verifies the hypothesis.

The temperature of the flow through the boiler at the T14 inlet and at the T15 outlet of the boiler, the temperature of the DHW storage tank T1, every 15 seconds and the tank temperature limits imposed by the set point temperature and its hysteresis T_{inf} and T_{sup} . have been analysed.

Likewise, the temperature of the flow that circulates through the HP at the T39 inlet and at the T41 outlet of the same, the temperature of the DHW storage tank T2, every 15 seconds and the tank temperature limits imposed by the set temperature and its $T_{limit 1}$ and $T_{limit 2}$ hysteresis have been analysed.

5.4. Results

The necessary tools to start with the model calibration process have been generated and the level of uncertainty of the model has been quantified by calculating the MBE and Cv(RMSEperiod) indexes. The values are obtained by comparing the real and simulated records of the electricity consumption meter in BC C26 and the gas consumption meter in boiler C28 for all the selected representative days.

In relation to the numerical results, Fig. 6 shows the results of the calibration. This figure shows a low relationship between the obtained indexes and the ones required to comply with the standard. According to the instructions of the guide, to perform an hourly calibration and to validate the model of the installation, the maximum values of the MBE and Cv(RMSEperiod) indexes are 10% and 30% respectively. Therefore, considering these values, the results of this study exceed the limits notably. Nevertheless, these results are not surprising. There are numerous studies, including references [16],[17], that address the existence and the source of these large differences between model and reality.

However, the procedure described throughout this work allows calculating the uncertainty of the model

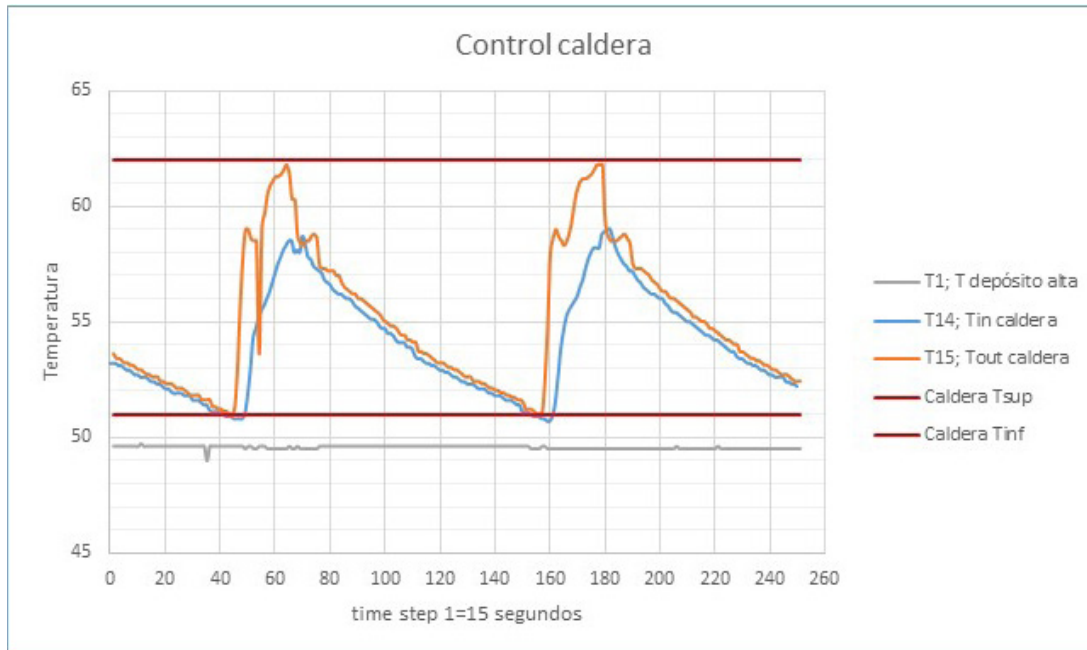
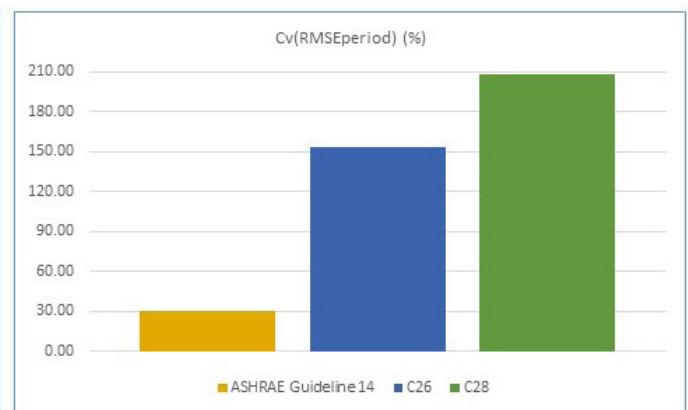
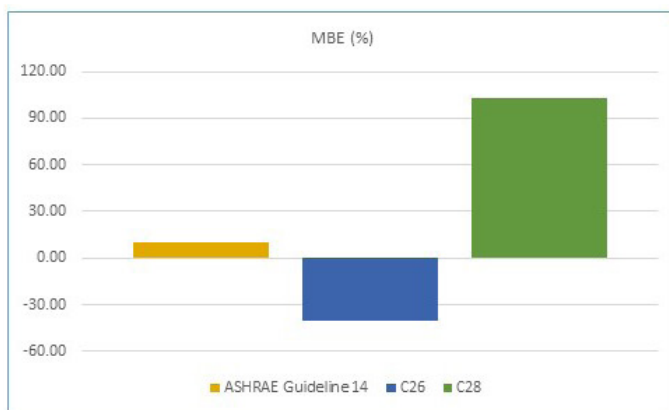


Figure 05. Boiler control verification.
Figure 06. Calibration results.



que la incertidumbre del modelo está dentro de los límites admisibles según el estándar adoptado.

6. Conclusiones

Las demandas actuales de la sociedad hacen necesario el uso de soluciones energéticamente más sostenibles y eficaces. Para ello es necesario el acercamiento entre los modelos matemáticos y reales mediante procesos de calibración que den como resultado la validación del modelo. Este aspecto es de suma importancia ya que los resultados obtenidos de modelos validados son los únicos que demuestran una correspondencia con la realidad. Por tanto, la calibración y validación de un modelo dinámico de una instalación térmica es el primer paso a resolver para las posteriores optimizaciones energéticas.

Del proceso de obtención de resultados de este trabajo se concluye que para que los procesos de calibración y validación sean una realidad extendida es imprescindible contar con sistemas de recogida y monitorización de datos que estén adecuadamente

and generating the tools for the calculation of the MBE and Cv(RMSEperiod) indexes. This step is basic and essential since, as indicated in Fig.1, to validate the model, an iterative process is required until converging to a minimum tolerance.

However, the iterative process is out of the scope of this paper and it will be developed in a next work. In addition, to start it, the origin of the uncertainty must be located and changes must be made to the inputs of the model until valid results are obtained. That would mean that the uncertainty of the model is within the permissible limits according to the adopted standard.

6. Conclusions

The current demands of society require the use more sustainable and efficient energy solutions. This requires a rapprochement between mathematical and real models through calibration processes that result in the validation of the model. This aspect is of utmost importance since the results obtained from

diseñados, en cuanto a número de sensores, posición y frecuencia de registro.

Además de adecuadamente mantenidos, para obtener bases de datos de calidad suficiente para poder realizar una calibración en base a los requisitos de algún estándar.

7. Discusión

Aunque este trabajo termina aquí, abre el camino para futuras investigaciones, y su objetivo común es lograr un mayor ahorro de energía en los edificios. En base a los resultados obtenidos a lo largo de este estudio, planeamos continuar con un estudio exhaustivo y profundo para la mejora de la eficiencia energética en las instalaciones térmicas de los edificios.

Una de las acciones a implementar, se refiere a la aplicación de la Termoeconomía para un análisis exhaustivo del reparto de costes a lo largo del sistema. La Termoeconomía, a través del segundo principio de la termodinámica y las variables económicas, permite observar y cuantificar de manera racional los puntos de mayor impacto para el consumo de energía. Estos consumos extra se traducen a gastos "evitables" o "inevitables" tanto a nivel energético, económicos como ambiental.

Además, la Termoeconomía relaciona los efectos debido a las conexiones termodinámicas internas y permite detectar cómo interfiere cada equipo en el resto. Este hecho es esencial para posteriores mejoras de control y análisis de fallos y malfunciones.

Agradecimientos

Las autoras agradecen el apoyo brindado por el Laboratorio de Control de Calidad en Edificación del Gobierno Vasco.

validated models are the only ones that demonstrate a correspondence with reality. Therefore, the calibration and validation of a dynamic model of a thermal facility is the first step to solve for the subsequent energy optimizations.

According to the results, in order to make the calibration and validation processes an extended reality, it is essential to have database and monitoring systems that are adequately designed, in terms of the number of sensors, position and recording frequency. In addition, proper maintenance is required to obtain databases of sufficient quality for further calibration based on the requirements of any standard.

7. Discussion

Although this work ends here, it opens the way for future research, following the common goal to achieve greater energy savings in buildings. Based on the results obtained throughout this study, we plan to continue with an exhaustive and in-depth study to improve energy efficiency in the thermal systems of buildings.

One of the actions to be implemented refers to the application of Thermoeconomics for an exhaustive analysis of the distribution of costs throughout the system. Thermoeconomics, through the second principle of thermodynamics and economic variables, allows to observe and quantify in a rational way the points of greatest impact on energy consumption. These extra consumptions translate into "avoidable" or "unavoidable" costs in energy, economic and environmental level.

In addition, Thermoeconomics relates the effects due to internal thermodynamic connections and allows detecting how each component interferes with the rest. This fact is essential for further control improvements and failure and malfunction analysis.

Acknowledgements

The authors appreciate the support provided by the Building Quality Control Laboratory LCCE of the Basque Government.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] European Parliament. (2012). Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC. Official Journal of the European Union L, 315.
- [2] B. Wang y X. Xia, «Optimal maintenance planning for building energy efficiency retrofitting from optimization and control system perspectives», *Energy and Buildings*, vol. 96, pp. 299-308, 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.03.032.
- [3] T. Babaei, H. Abdi, C. P. Lim, y S. Nahavandi, «A study and a directory of energy consumption data sets of buildings», *Energy and Buildings*, vol. 94, pp. 91-99, 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.02.043.
- [4] Instituto para La Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), «Guía IDAE 022. Guía Técnica de Energía Solar Térmica.» 2020.
- [5] «TRNSYS v18, TRNsient SYStem Simulation program, University of Wisconsin-Madison, 2017
- [6] Boyer, S. A., SCADA: supervisory control and data acquisition. International Society of Automation (ISA), 2009.
- [7] Castilla M.M., Álvarez J.D., Rodríguez F., y Berenguel M., *Confort control in buildings*. Springer, 2014.
- [8] ASHRAE, «ASHRAE Guideline 14–2002, Measurement of Energy and Demand Savings». 2002.
- [9] E. Fabrizio y V. Monetti, «Methodologies and Advancements in the Calibration of Building Energy Models», *Energies*, vol. 8, n.o 4, pp. 2548–2574, 2015, doi: 10.3390/en8042548.
- [10] D. Coakley, P. Raftery, y M. Keane, «A review of methods to match building energy simulation models to measured data», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 37, pp. 123-141, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.007>
- [11] D. Bushnell, «GENOPT—a program that writes user-friendly optimization code», *International Journal of Solids and Structures*, vol. 26, n.o 9, pp. 1173-1210, 1990, doi: [https://doi.org/10.1016/0020-7683\(90\)90023-O](https://doi.org/10.1016/0020-7683(90)90023-O).
- [12] BEST, Bilbao Energy Solutions Trends, «Execution Project. Heating and DHW centralized installation in building of 26 dwellings of official protection in Durango (in Spanish).» 2008.
- [13] «Gobierno de España. Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. 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. BOE-A-2013-9511. 2013»
- [14] G.Llopis y V.Rodrigo, «Geothermal Energy Guide (in Spanish), Fenercom, Energy Foundation of the Community of Madrid.» 2009.
- [15] Iturriaga E., «Tesis doctoral. Desarrollo de un método simple para la optimización del diseño de las instalaciones en edificios residenciales de consumo energético casi nulo en el País ... UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO, Bilbao.» 2017.
- [16] Hensen, J.L.M., y Lamberts R., Claridge, D.E. *Building simulation for practical operational optimization*. In *Building Performance Simulation for Design and Operation*. Oxfordshire, UK.: Spon Press, 2011
- [17] E. M. Ryan y T. F. Sanquist, «Validation of building energy modeling tools under idealized and realistic conditions», *Energy and Buildings*, vol. 47, pp. 375-382, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.020>.

Reactivation of “Herriko Plaza” area in Pasajes San Pedro

Reactivación del entorno de “Herriko Plaza” en Pasajes San Pedro

Aimar Santos-Garcia¹

ABSTRACT

This research focuses on the regeneration of the “Herriko Plaza” urban area in Pasajes San Pedro, which formerly was the central axis of the village and due to the construction of new infrastructure became a disused space. The only existing square in San Pedro has been transformed into a wide street in which vehicles have taken most of the free space. As a result, it has lost its identity as a central location in the village.

Bearing in mind the relevance of this place and the presence of important local equipment (school, library, church, cemetery and town hall) surrounding it, an analysis has been carried through. The analysis has focused on determining the uses around it, the accessibility characteristics and the flows of people in order to identify problems and potentials of the area and ultimately to try to strengthen “Herriko Plaza” and its surroundings.

As a result of this analysis, accessibility has been identified as the most prevalent among the problems of this area. Moreover, this factor is the most critical one, since the cemetery, the school, and the town hall show a severe lack of accessibility. Furthermore, an in-depth analysis of the buildings surrounding the area, the library, and the school, have been found to lack sufficient space or not adequate room for the different uses they host. Lastly, as a conclusion of the fieldwork and surroundings’ analysis, it has been proved that there is a strong lack of recreational space for children and properly protected covered public areas. Taking into account the analyzed public space, it could be observed the excessive presence of parking lots occupying most of the street’s width. Besides, there is also a problem with the lack of functionality, due to the difficulty of understanding the limits of the street and the square.

In order to solve the above-mentioned problems, an intervention is outlined for the public space itself and the surrounding buildings. This intervention focuses on achieving accessibility in the area and its buildings, the introduction of new uses as a means of urban regeneration while preserving the character of this area.

The proposed intervention considers the next factors:

- Accessibility to the public space, surrounding buildings and the cemetery located in the north of the public space at a higher level.
- Refurbishing and extending the school (located in the west) in order to counteract the lack of space and accessibility.
- Creation of a cultural center hosting a bigger library and a playground in the north part of the public space. These actions will substitute the current small library and will give an answer to the lack of recreational space for children. In fact, the introduction of new uses intends to help regenerate the area.
- Reorganization of the town hall’s internal functioning, providing new accessibility and enabling the connection with the new library (in order to solve common management issues).
- Rearrangement of the public space, prioritizing pedestrian mobility and creating new limits for the leisure spaces in order to improve their functioning.

Keywords: Urban renewal, Integrated urban regeneration, Sustainability, Pasajes

(1) Department of Architecture, UPV/EHU, aimar.santos@ehu.eus

1. Pasajes, un enclave único

La presente comunicación trata de analizar la singular condición del entorno de Herriko plaza, situado en el casco histórico de Pasajes San Pedro, para después proponer una intervención de carácter regenerador que pueda devolverle parte del significado e importancia del que históricamente gozó esta plaza. Para ello, previamente se ha realizado un exhaustivo análisis del lugar, además de las zonas colindantes, en el que se han identificado los problemas y potencialidades que deberían tenerse en cuenta en la intervención. Pero, para entender la importancia de este lugar primero hay que entender su procedencia y evolución, ya que el estudio de la ciudad es mucho más beneficioso y completo cuando se hace de esta manera [1]

Pasajes históricamente ha sido un enclave muy singular debido a su orografía y valor estratégico [2]. Su ubicación alrededor de la bahía protegida por los montes Ulía y Jaizkibel, además de suponer un enclave singular muy codiciado a nivel estratégico, ha condicionado por completo su crecimiento históricamente. El estrecho espacio situados entre las faldas de ambos montes y el límite de la bahía fue el origen de los barrios actualmente conocidos como San Pedro (oeste) y San Juan (este). Estos barrios, que mostraban actividad desde el tiempo de los romanos y empezaron a consolidarse a partir del siglo VIII de la mano del rey Alfonso I [2], tuvieron un crecimiento lineal, siguiendo el estrecho espacio edificable entre la línea de costa y la escarpada montaña.

En ambos casos la morfología de los cascos históricos se formalizó mediante una única calle que actuaba como columna vertebral, a cuyos lados se ubicaban las viviendas. Unas de ellas, se ubicaban encaramadas a las faldas del monte, mientras que otras comían parte del terreno al mar y generaban la nueva línea de costa. Algunas de estas en cambio, ocupaban ambas partes y se unían mediante pasarelas, o construían un túnel para mantener abierto el paso de la calle.

En el caso del casco histórico de San Juan, permaneció inalterable en gran medida, mientras que en el caso de San Pedro se dieron grandes cambios desde el siglo XIX, que fueron cambiando el carácter de su única calle (calle San Pedro) y el de la plaza popular que ubicaba en su límite oeste, llamada Herriko plaza.

2. Análisis del entorno

Elementos de interés

En el entorno de Herriko plaza se pueden encontrar varios elementos de interés arquitectónico y socio-cultural que son la clara muestra de que esta zona fue antaño el corazón de Pasajes San Pedro (Fig. 01). Entre ellos encontramos los siguientes:

1. Pasajes, an unique location

This communication tries to analyze the unique condition of the environment of Herriko plaza, located in the historic center of Pasajes San Pedro, and then propose a regenerative intervention that can restore part of the meaning and importance that this place historically had. For this, an exhaustive analysis of the place has been previously carried out, in addition to the neighboring areas, in which the problems and potentialities that should be considered in the intervention have been identified. But, to understand the importance of this place, one must first understand its origin and evolution, since the study of the city is much more beneficial and complete when done in this way. [1]

Pasajes has historically been a very unique location due to its orography and strategic value [2]. Its location around the bay protected by the Ulía and Jaizkibel mountains, in addition to being a highly sought-after strategic place, has completely conditioned its growth historically. The narrow space between the slopes of both mountains and the limit of the bay was the origin of the neighborhoods currently known as San Pedro (west) and San Juan (east). These neighborhoods, which showed activity from the time of the Romans and began to consolidate from the 8th century by the hand of King Alfonso I [2], had a linear growth, following the narrow building space between the coastline and the steep mountains.

In both cases, the morphology of the historic centers was formalized by means of a single street that acted as a backbone, on whose sides the houses were located. Some of them were located on the slopes of the mountain, while others gained part of the land to the sea and generated the new coastline. Some of these, on the other hand, occupied both parts and were joined by walkways, or they built a tunnel to keep the street open.

In the case of the old town of San Juan, it remained largely unchanged, while in the case of San Pedro there were major changes since the 19th century, which changed the character of its only street (Calle San Pedro) and the popular plaza located on its western limit, called Herriko plaza.

2. Site analysis

Interesting elements

In the surroundings of Herriko plaza you can find various elements of architectural and socio-cultural interest that are the clear proof that this area was once the heart of Pasajes San Pedro (Fig. 01). Among them we find the following:

Located to the west side of the plaza is the San Pedro nursery school, which has a covered porch that accommodates a small fish shop and serves as a living

Situados al oeste de la plaza el colegio infantil de San Pedro, el cual tiene un porche cubierto que da cabida a una pequeña pescadería y sirve como espacio de estancia para padres y paseantes. Al este de la plaza se encuentra la tenencia de alcaldía, la cual da lugar a la propia tenencia, el despacho del juez de paz y una biblioteca de tamaño bastante reducido. Entre ambos edificios se encuentra un muro de contención de 5m de altura que contiene la falda del monte Ulia y cierra a su vez el único perímetro no edificado de la plaza. Encima de este muro se ubica un pequeño paseo con zonas de estancia y después de este una gran pendiente con vegetación.

Al otro lado de la plaza, se encuentra la iglesia construida en 1774 de estilo barroco [2], [3], que desde sus inicios hasta la construcción del paseo marítimo en 1945 supuso el límite de costa de San Pedro con la bahía. Esta iglesia fue una respuesta al crecimiento de la población para la adecuación a sus necesidades y sustituyó a la anterior iglesia ubicada en la actual ubicación del cementerio. Además, la nueva ubicación de la iglesia supuso una gran mejoría, ya que el único camino para acceder a la antigua iglesia era un camino con escarpadas escaleras ubicado en la parte trasera de lo que a futuro sería el colegio infantil de José Belaunzarán. Actualmente la portada de estilo gótico de la antigua iglesia se mantiene como acceso al cementerio.

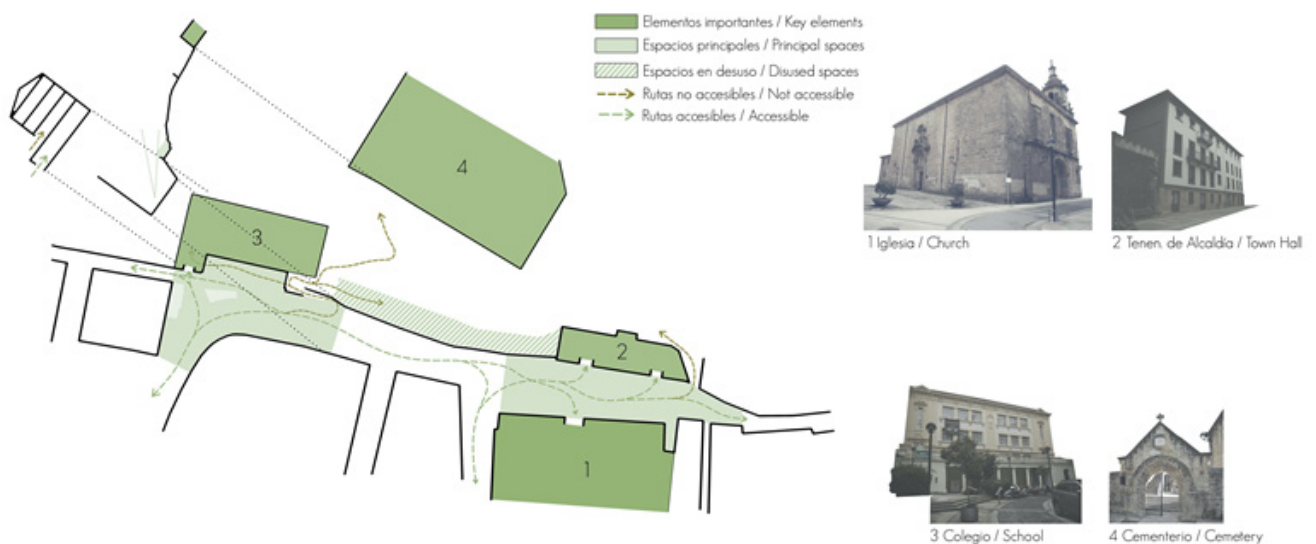
Al suroeste de este enclave, se puede encontrar la plaza del frontón de San Pedro, la cual es una gran responsable de la falta de vitalidad en Herriko plaza. Este frontón se construyó en 1808 (como muestra la placa en su parte superior) ya que en Herriko plaza no había espacio suficiente para celebrar las fiestas locales. La mejor ubicación y soleamiento de esta plaza y el desplazamiento del folclore local supusieron el principio del declive de la antigua plaza.

space for pupil’s parents and walkers. In the east of the plaza there is the local office of the Town Hall, which contains the Town Hall office, the Justice of the Peace office and a fairly small library. Between both buildings is a 5m high retaining wall that contains the hillside of Mount Ulia and closes the only unbuilt perimeter of the square. Above this wall is a small promenade with living areas and after this a large slope with vegetation.

On the other side of the square, there is a church built in 1774 in the Baroque style [2], [3], which from its beginnings until the construction of the seafront promenade in 1945 was the limit of the coast of San Pedro with the bay. This church was a response to the growth of the population to suit their needs and replaced the previous church located in the current location of the cemetery. In addition, the new location of the church was a great improvement, since the only way to access the old church was a path with steep stairs located at the back of what would be the José Belaunzarán children’s school in the future. Currently the Gothic style doorway of the old church is maintained as access to the cemetery.

To the southwest of place, you can find the fronton plaza of San Pedro, which is largely responsible for the lack of vitality in Herriko plaza. This fronton was built in 1808 (as the plaque on its upper part shows) since in Herriko plaza there was not enough space to celebrate local festivals. The better location and natural illumination of this square and the displacement of local folklore were the beginning of the decline of the old square.

Figure 01. Interesting elements. Source: Self production. Year: 2016



Preexistencias en la intervención

Entre los elementos preexistentes anteriormente descritos, se plantea que los de mayor interés de cara a la propuesta de intervención son los siguientes:

- El actual colegio infantil perteneciente al colegio "Pasaia Lezo Lizeoa", proyectado como escuela municipal de chicos y chicas (como dos edificios separados por una medianera) por el arquitecto Pedro Gaiztarro en 1922 y construido en 1924 [4]. Este edificio de estilo ecléctico realizado en hormigón armado es muestra de una arquitectura en la que todavía no se comprendían las posibilidades del nuevo material y se utilizaban los espesores y el aspecto de la construcción de sillería.

Este colegio antiguamente dividido en dos se construyó de manera diferente a la proyectada, cambiando su composición de fachada y distribución en planta [4], [5]. Además, sufrió cambios posteriores como el derribo de la medianera que dividía los dos colegios, la construcción de un anexo con aseos y la creación de una pequeña pescadería en el porche de la planta baja [5].

- La actual tenencia de alcaldía y biblioteca pese a parecer un único edificio son en realidad dos edificios medianeros de diferentes épocas. La primera parte de la edificación (la mitad este), proyectada como colegio infantil, se construyó de la mano del arquitecto José Belaunzaran en 1887 [4] con una planta menos de las que tiene en la actualidad y con una cubierta a un agua. En 1933 el arquitecto Pedro Gaiztarro proyectó la ampliación de este edificio [4], manteniendo la estética y distribución del edificio original, pero sumando una planta a ambos y añadiendo una cubierta unificada a dos aguas, que se sustituyó por una nueva recientemente. Este edificio se encuentra dividido en dos a excepción de su última planta que se unificó para dar lugar a la biblioteca.
- El muro de contención que une ambos edificios fue construido en 1933 (como lo indica la placa en su parte superior) como remate de la única parte de la falda de Uliá que todavía no se había antropizado. De este modo, se dio un carácter más urbano al entorno de Herriko plaza, pero a su vez debido a la altura de 5m del muro, se construyó demasiado el espacio. A la vez que este muro, se construyeron unas escaleras de acceso más directas para el cementerio.

Es reseñable que tanto el colegio infantil como la tenencia de alcaldía gozan del grado de protección P3a en el P.E.R.I. del casco histórico de Pasajes San Pedro. Esto supone que la composición general de sus fachadas está protegida con el objetivo de mantener la atmósfera de este entorno.

Preexistencias en la intervención

Among the pre-existing elements previously described, it is stated that those of greatest interest regarding the intervention proposal are the following:

- The current nursery school belonging to the "Pasaia Lezo Lizeoa" school, designed as a municipal school for boys and girls (as two buildings separated by a party wall) by the architect Pedro Gaiztarro in 1922 and built in 1924 [4]. This eclectic style building made of reinforced concrete is an example of an architecture in which the possibilities of the new material were not yet understood and the thickness and appearance of the ashlar construction were used.

This school that was formerly divided into two, was built in a different way from the one planned, changing its composition of the façade and the layout on the ground [4], [5]. In addition, it underwent subsequent changes such as the demolition of the party wall that divided the two schools, the construction of an annex with toilets and the creation of a small fish market on the ground floor porch [5].

- The current Town Hall office and library, despite appearing to be a single building, are actually two party buildings from different periods. The first part of the building (the eastern half), designed as a children's school, was built by the architect José Belaunzaran in 1887 [4] with one less floor than it currently has and with a one-water roof. In 1933 the architect Pedro Gaiztarro planned the extension of this building [4], maintaining the aesthetics and distribution of the original building, but adding a floor to both and adding a unified gabled roof, which was recently replaced by a new one. This building is divided into two except for its top floor, which was unified to make room for the library.
- The retaining wall that joins both buildings (school and town hall) was built in 1933 (as indicated by the plaque on the top) as a finish to the only part of Uliá's hillside that had not yet been anthropized. In this way, a more urban character was given to the surroundings of Herriko plaza, but in turn due to the 5m height of the wall, the space was too constricted. Along with this wall, more direct access stairs were built for the cemetery.

It is remarkable that both the nursery school and the Town Hall office enjoy the degree of protection P3a in the P.E.R.I. from the old town of Pasajes San Pedro. This assumes that the general composition of its facades is protected with the aim of maintaining the atmosphere of this environment.

3. Problemática del entorno

Accesibilidad y flujos

Uno de los principales problemas de este entorno es la accesibilidad como se puede deducir viendo la compleja topografía en la que se sitúa Pasajes. Históricamente el pueblo se ha desarrollado en torno a una estrecha calle (Calle San Pedro) que serpentea entre la costa y el monte Uliá. De este modo, las viviendas se han tenido que situar como línea de costa en un lado y encaramadas a las faldas del monte en el otro. Esto último ha supuesto que los edificios situados en el lado del monte tengan serios problemas de accesibilidad hoy en día.

En el caso de los edificios o zonas relacionadas con la intervención, a día de hoy se puede observar varios problemas de accesibilidad. De estos problemas, el más evidente es el del cementerio, que se encuentra en una cota 18 metros superior al de la plaza. Sus dos principales vías de acceso son un camino de escaleras muy escarpadas al lado del colegio infantil y otro camino de escaleras algo menos escarpadas a las que se accede por la parte trasera de la tenencia de alcaldía.

El colegio cuenta con un acceso accesible en planta baja (la antigua entrada de chicos), mientras que la entrada simétrica se hace por la primera planta debido a la existencia de una veta de roca donde debería ubicarse la otra entrada [4]. Además, dentro del colegio no existe accesibilidad entre el resto de plantas, ya que no cuenta con ningún ascensor.

En el caso de la tenencia de alcaldía y biblioteca no existen problemas de accesibilidad evidentes, ya que ambos cuentan con un acceso en planta baja y ascensor que comunica todas las plantas.

Espacio público

En el caso del espacio público, se puede apreciar la clara priorización del vehículo aun tratándose de un espacio de dimensiones muy reducidas y que no da acceso a ningún garaje. Esto queda patente al observar la cantidad de aparcamientos de motos y coches que se encuentran a lo largo de la plaza. Esto supone que la única parte libre de vehículos sea la parte situada entre la iglesia y la tenencia, dejando muy poco espacio para los peatones a lo largo de la calle y delante del acceso del colegio.

Este funcionamiento no tiene mucho sentido hoy en día, ya que el espacio no tiene gran afluencia de vehículos y funciona como un cul de sac, además de existir diversos aparcamientos exclusivos para residentes en el paseo marítimo y en el aparcamiento subterráneo de una plaza cercana.

Otro gran problema del espacio público en Herriko plaza son su forma y sus límites, ya que estos dificul-

3. Environment problems

Accessibility and flows

One of the main problems of this environment is accessibility, as can be deduced by looking at the complex topography in which Pasajes is located. Historically, the town has been developed around a narrow street (Calle San Pedro) that winds between the coast and Mount Uliá. Thus, the houses have had to be located as a coastline on one side and on the slopes of the mountain on the other. The latter has meant that buildings located on the side of the mountain have serious accessibility problems today.

In the case of buildings or areas related to the intervention, today can be seen several accessibility problems. The most obvious is the one that affects the cemetery, which is 18 meters higher than that of the plaza. Its two main access routes are a very steep stair path next to the nursery school and another somewhat less steep stair path which is accessed from the rear of the mayoral holding.

The school has an accessible access on the ground floor (the old boys' entrance), while the symmetrical entrance is made on the first floor due to the existence of a rock vein where the other entrance should be located [4]. In addition, within the school there is no accessibility between the rest of the floors, since it does not have an elevator.

In the case of the Town Hall office and library, there are no obvious accessibility problems, since both have a ground floor access and an elevator that connects all the floors.

Public space

In the case of public space, it is appreciable the clear prioritization of vehicles even though it is a space of very small dimensions and that does not give access to any garage. This is evident when observing the number of parking lots for motorcycles and cars that are found along the square. This means that the only part free of vehicles is the part located between the church and the Town Hall, leaving very little space for pedestrians along the street and in front of the school entrance.

This functioning does not make much sense nowadays, since the space does not have a large flow of vehicles and functions as a cul de sac, in addition to the existence of several exclusive parking lots for residents on the seafront and in the underground car park in a nearby plaza.

Another great problem of the public space in Herriko plaza is its shape and its limits, since these make it difficult to read as a single space. In principle, the square was conceived as a single elongated space that expands and contracts at certain points. This

tan su lectura como un único espacio. En principio, la plaza estaba concebida como un único espacio alargado que se dilata y se contrae en ciertos puntos. Esta indefinición en los límites genera la sensación de tratarse de una especie de calle ancha que no funciona como un espacio público.

Por último, encima del muro de contención de la parte norte, existe un espacio de estancia en toda la longitud del muro, que permanece invisible debido a la altura de muro y la estrechez de la plaza en ese punto. Este espacio hoy en día carece de uso debido a su falta de visibilidad.

Usos existentes

El entorno de Herriko plaza muestra una considerable diversidad de usos que es claro reflejo de la importancia que ha tenido durante la historia. Como se ha mencionado anteriormente, en esta plaza se ubican un colegio infantil, la tenencia de alcaldía, la oficina del juez de paz, la biblioteca, la iglesia y en la falda del monte se ubica el cementerio. El problema es que varios de esos usos no tienen espacios que se adecuen correctamente a sus necesidades.

En el caso del colegio, después de dos visitas y entrevistas con trabajadores se ha comprobado que existen problemas con la falta de espacio, ya que no los niños carecen de un espacio cubierto en condiciones para utilizar los días de lluvia. Por otro lado, no tienen espacio de comedor y los niños se ven obligados a comer en las propias aulas. Además de esto, los espacios colindantes a la contención del terreno muestran serios problemas de humedades.

En el edificio de la alcaldía existen dos núcleos de comunicación independientes debido a que anteriormente fueron dos edificios separados, y esto supone una gran ineficiencia y espacio perdido en el edificio. Además, la biblioteca ubicada en este edificio carece de superficie suficiente para los habitantes que la usan.

Además de esto, se realizó una entrevista a diversos vecinos de la zona preguntando que usos echaban en falta en la zona del casco histórico de San Pedro. La mayoría de respuestas se centraron en la falta de un espacio público cubierto en la zona, la necesidad de un espacio de ocio para los niños y la necesidad de aumentar la superficie y el equipamiento de la biblioteca. Estos resultados, coincidieron en gran medida con las intervenciones de carácter social que reclamaron los vecinos en otro trabajo de investigación realizado en el municipio [6]

4. Enfoque de intervención

Una vez analizados la problemática de Herriko plaza en Pasajes San Pedro, se puede observar que es un espacio que en caso de ser regenerado exige una combinación de diferentes intervenciones, ya que

lack of definition in the limits generates the sensation of being a kind of wide street that does not function as a public space.

Finally, above the retaining wall on the north side, there is a living space for the entire length of the wall, which remains invisible due to the height of the wall and the narrowness of the plaza at that point. This space today has no use due to its lack of visibility.

Existing uses

Herriko plaza shows a considerable diversity of uses that is a clear reflection of the importance it has had throughout history. As mentioned above, in this plaza there is a nursery school, the Town Hall office, the Justice of the Peace office, the library, the church and the cemetery, that is located on the slopes of the mountain. The problem is that several of those uses do not have spaces that adequately suit your needs.

In the case of the school, after two visits and interviews with workers, it has been proven that there are problems with the lack of space, since the children do not have a covered space in conditions to use on rainy days. On the other hand, they do not have a dining room and children are forced to eat in their own classrooms. In addition to this, the areas adjacent to the retaining wall show serious humidity problems.

In the City Hall building there are two independent vertical communication cores because previously they were two separate buildings, and this supposes a great inefficiency and lost space in the building. Furthermore, the library located in this building lacks sufficient surface for the citizens who use it.

In addition to this, an interview was conducted with various residents of the area asking what uses were lacking in the area of the old town of San Pedro. Most of the responses focused on the lack of a covered public space in the area, the need for a leisure space for children and the need to increase the surface and equipment of the library. These results largely coincided with the social interventions that the residents claimed in another research work carried out in the municipality [6].

4. Intervention's approach

Once the problems of Herriko plaza have been analyzed, it can be seen that it is a space that in case of being regenerated requires a combination of different interventions, since it shows problems of a very different nature.

On the one hand, it shows problems with public space, since its design is not attractive for potential users who prefer to approach other public spaces of greater size and interest. This is largely due to the importance and surface that road traffic and vehicle parking occupy. To improve this problem, the pe-

muestra problemas de muy diferente índole.

Por un lado, muestra problemas con el espacio público, ya que su diseño no supone ningún atractivo para los potenciales usuarios que prefieren acercarse a otros espacios públicos de mayor tamaño e interés. Esto se debe en gran medida a la importancia y superficie que ocupa el tráfico rodado y el aparcamiento de vehículos. Para mejorar este problema, se propone la peatonalización del entorno, puesto que la afluencia de vehículos no es muy alta y estudios afirman que la peatonalización supone un gran beneficio urbano y de salud para los habitantes, mediante la implantación de zonas verdes y mobiliario [7].

Además de atraer a más usuarios mediante la mejora en la calidad del espacio público, se propone la implantación de nuevos usos y mejora de los existentes. La implantación de nuevos usos supondría a su vez la aparición de nuevos usuarios tanto para los nuevos usos como para el espacio público [8].

Para asegurar el éxito de estos nuevos usos, se considera que deben responder en gran medida a las necesidades de los habitantes del entorno que puedan ser potenciales usuarios. Por ello, se pretenden plantear usos que intenten dar respuesta a las necesidades que plantearon los vecinos que fueron entrevistados.

Tanto en el caso de los nuevos usos como en los existentes, se deberá asegurar la accesibilidad universal. De este modo, se evitará la exclusión de potenciales usuarios y se facilitará la vida de muchos usuarios actuales [9]. Aun así, ha de tenerse cuidado al implantar soluciones de accesibilidad en centros históricos y sobre todo en este caso, ya que debido a la estrechez de la plaza en algunos puntos, existe el riesgo de generar un elemento que tome demasiada importancia y genere un espacio claustrofóbico.

Además de responder a la problemática existente, la intervención debería contemplar mantener el carácter del lugar e intentar que el impacto en su atmósfera no sea excesivo; manteniendo su carácter verde y natural y promoviendo así el sentimiento de apego al lugar [10] y trayendo beneficios físicos y mentales para los más mayores [11]. Por ello, se entiende que la intervención planteada debería mantener el carácter de este entorno en el que todavía se puede percibir el carácter verde del monte Ulia bajando hasta la plaza. Para conseguir esto, los nuevos usos planteados, que se ubicarían en el espacio libre sobre el muro de contención que une el colegio y la tenencia, deberían intentar mantener en la medida de lo posible el perfil de la topografía actual.

5. propuesta de intervención

La intervención que se propone para Herriko plaza, ha de ser una intervención unificadora que entienda

destrianización del entorno se propone, since the influx of vehicles is not very high and studies affirm that pedestrianization represents a great urban and health benefit for the inhabitants, through the implementation of green areas and furniture [7].

In addition to attracting more users by improving the quality of public space, it is proposed to introduce new uses and improve existing ones. The implementation of new uses would in turn mean the appearance of new users, both for new uses and for public space [8].

To ensure the success of these new uses, it is considered that they must largely respond to the needs of the inhabitants of the environment who may be potential users. For this reason, the aim is to propose uses that attempt to respond to the needs of the residents who were interviewed.

Both in the case of new and existing uses, universal accessibility must be ensured. In this way, the exclusion of potential users will be avoided and the life of many current users will be facilitated [9]. Even so, care must be taken when implementing accessibility solutions in historical centers and especially in this case, since due to the narrowness of the square in some points, there is a risk of generating an element that takes too much importance and creates a claustrophobic space.

In addition to responding to existing problems, the intervention should include maintaining the character of the place and trying to ensure that the impact on its atmosphere is not excessive; maintaining its green and natural character and thus promoting the feeling of attachment to the place [10] and bringing physical and mental benefits to the elderly [11]. For this reason, it is understood that the proposed intervention should maintain the character of this environment where you can still perceive the green character of Mount Ulia going down to the plaza. To achieve this, the new proposed uses, which would be located in the free space above the retaining wall that links the school and the town hall, should try to maintain as far as possible the profile of the current topography.

5. Intervention proposal

The intervention proposed for Herriko plaza must be a unifying intervention that understands the plaza, its façade, its inhabitants, the uses that are located in that place and its entire environment as a single element to be treated (Fig. 02), since an intervention that only addressed some of the aspects (physical, economic, social ...) that have been addressed, could not solve the complex problem [12] that this place hides. The fact of trying to solve only the introduction of new uses without accessibility, or the improvement of public space without the introduction of new uses, could possibly lead to failure.

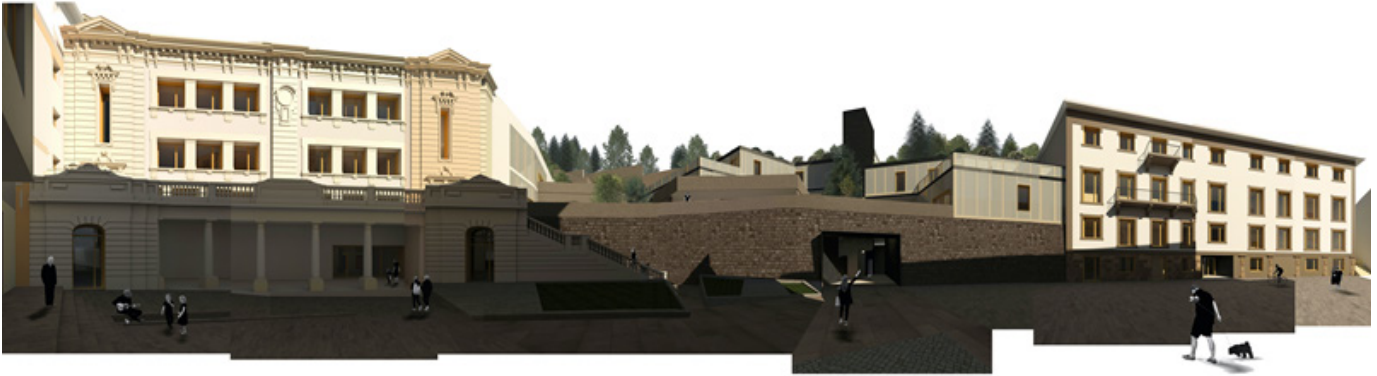


Figure 02. Collage of a possible proposal. All the front/façade of the plaza and the plaza itself are treated. Source: Self production. Year: 2016

la plaza, su fachada, sus habitantes, los usos que se ubican en ese lugar y todo su entorno como un único elemento a tratar (Fig. 02), ya que una intervención que afrontase solamente alguno de los aspectos (físico, económico, social...) que se han abordado, no podría resolver la compleja problemática [12] que esconde este enclave. El hecho de intentar solucionar solamente la implantación de nuevos usos sin accesibilidad, o la mejora del espacio público sin implantación de nuevos usos posiblemente desembocaría en fracaso.

Por ello, a continuación, se describe, por apartados, lo que se considera como una propuesta de intervención integral que intenta mitigar la totalidad de problemas de este entorno:

Resolución de la accesibilidad

Dado que este problema se daba tanto en el espacio público como dentro del colegio, se han planteado diferentes medidas en cada caso. En el caso del colegio, éste cuenta con una entrada accesible en planta baja, pero nada más entrar encontramos varios tramos de escaleras hasta llegar a la primera planta donde se ubican los usos. Por ello, se plantea otro acceso al colegio, aprovechando la existencia del porche en planta baja, y desde éste se plantea un ascensor que se ubica en la ampliación del colegio que se detallará más adelante.

En el caso de la accesibilidad del espacio público, se ha buscado una solución que pueda dar accesibilidad a los diferentes espacios públicos presentes en el lugar, conectando Herriko plaza con el cementerio y el espacio público resultante de la implantación de nuevos usos encima del muro de contención. A su vez, el ascensor que se propone para conectar estos espacios, daría servicio a los nuevos usos planteados encima del muro de contención de la plaza.

Para la implantación de este ascensor, se ha buscado mantener el carácter del lugar creando el mínimo impacto visual. Para ello, se ha propuesto el ascensor en el punto en el que el camino del cementerio

For this reason, it is described below by sections what is considered as a comprehensive intervention proposal that attempts to mitigate all the problems in this environment:

Accessibility resolution

Given that this problem occurred both in the public space and within the school, different measures have been proposed in each case. In the case of the school, it has an accessible entrance on the ground floor, but as soon as we enter we find several flights of stairs until we reach the first floor where the uses are located. For this reason, another access to the school is proposed, taking advantage of the existence of the porch on the ground floor, and from this an elevator is proposed that is located in the extension of the school that will be detailed later.

In the case of the accessibility of public space, a solution has been sought that can give accessibility to the different public spaces in the place, connecting Herriko plaza with the cemetery and the public space resulting from the introduction of new uses on top of the retaining wall. In turn, the elevator that is proposed to connect these spaces, would provide service to the new uses proposed above the retaining wall of the plaza.

For the introduction of this elevator, it has been sought to maintain the character of the place by creating the minimum visual impact. For this, the elevator has been proposed at the point where the cemetery path and the retaining wall were closest. In addition, instead of posing the elevator in an external way (which would create a great visual impact and a feeling of narrowness in the square), an access has been proposed that goes into the wall so that the elevator emerges from the ground in a position more backward and less impactful.

Finally, despite the fact that the Town Hall office and the library were accessible, the reorganization of the building is proposed, so that it can be solved with a single vertical communication core.

y el muro de contención estaban más cercanos. Además, en lugar de plantear el ascensor de manera exterior (lo cual crearía gran impacto visual y una sensación de estrechez en la plaza), se ha planteado un acceso que se adentra en el muro de modo que el ascensor emerja del terreno en una posición más atrasada y menos impactante.

Por último, pese a que la tenencia de alcaldía y la biblioteca eran accesibles, se plantea la reordenación de edificio, de manera que se pueda resolver con un único núcleo de comunicación.

Resolución del espacio público

El tráfico rodado es el mayor problema de este espacio público y teniendo en cuenta la escasa cantidad de aparcamientos que proporciona y la existencia de espacios para ello en el paseo marítimo, se ha optado por la eliminación de plazas de aparcamientos. Aun así, en el diseño de espacio público, se ha tenido en cuenta que podría ser necesaria la posibilidad de acceso de vehículos para carga y descarga.

Una vez eliminado el tráfico rodado, se ha abordado el problema de los límites en este espacio público. La falta de límites impedía una clara percepción del espacio público como espacio de estancia y por ello se plantea la utilización de plataformas de madera que puedan actuar de banco, jardinera o plataforma de juegos en sus diferentes zonas. Éstas, permiten percibir el límite del espacio público sin cortar la visión, además de ofrecer un espacio para juegos y de estancia.

Para definir los límites de una manera clara, se proponen dos espacios públicos: la plaza delante de la iglesia y la que se ubica delante del colegio. Los límites de estos espacios y la calle que los une se plan-

Public space resolution

Road traffic is the biggest problem of this public space and considering the small number of parking spaces it provides and the existence of spaces for it on the seafront, the elimination of parking spaces has been chosen. Even so, in the design of public space, it has been taken into account that the possibility of vehicle access for loading may be necessary.

Having eliminated road traffic, the problem of limits in this public space has been addressed. The lack of limits prevented a clear perception of public space as a living space and for this reason the use of wooden platforms that can act as a bench, a planter or a game platform in its different areas is proposed. These allow to perceive the limit of public space without cutting vision, as well as offering a space for games and living.

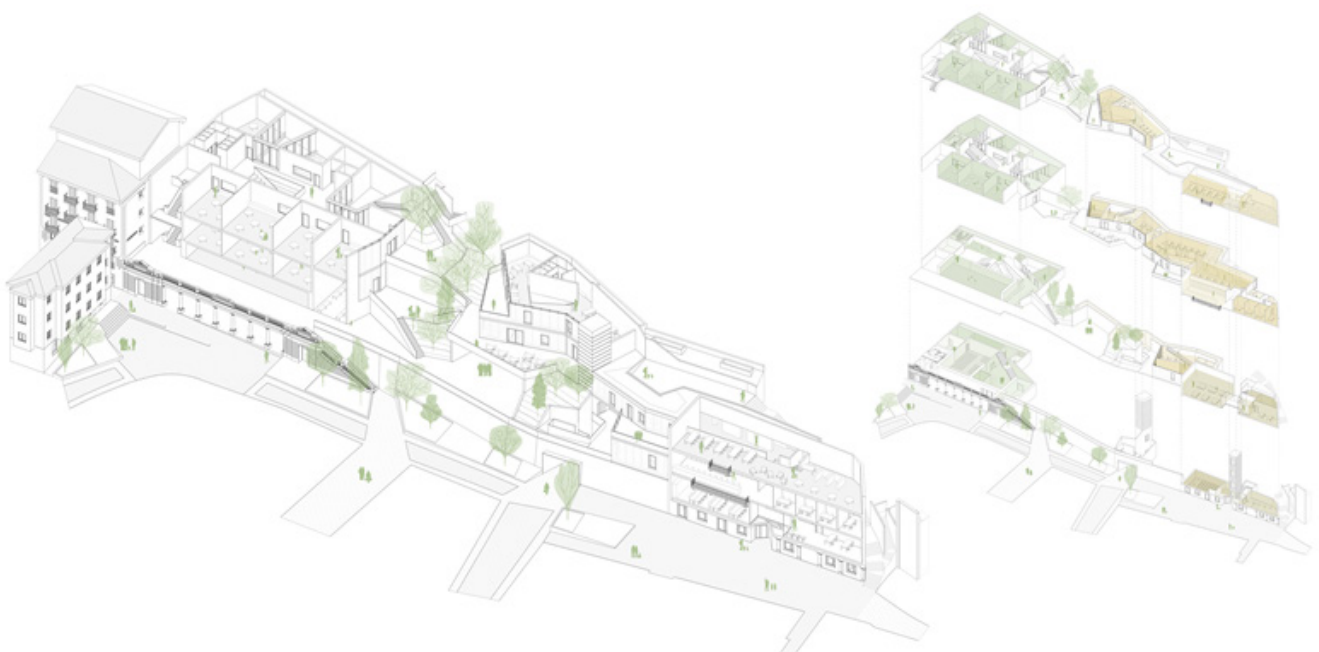
To define the limits in a clear way, two public spaces are proposed: the square in front of the church and the one located in front of the school. The limits of these spaces and the street that connects them are set out with the aforementioned wooden platforms. In this way, spaces gain definition and more friendly furniture that invites their use.

Adaptation and creation of uses

In response to the lack of vitality and the needs raised by the inhabitants, the introduction of certain uses and the expansion or reordering of existing ones is proposed (Fig. 03). In this way, taking into account the specific needs expressed by users, a better functioning and a greater sense of roots and social cohesion are achieved [13], [14]. This adaptation or implementation of uses is proposed in a different way in each case.

Figure 03.

Axonometry of uses proposal. School (green), Civic center (ochre), Town Hall (brown) Source: Self production. Year: 2016



tean con las mencionadas plataformas de madera. De este modo, los espacios ganan definición y un mobiliario más amable que invita a su uso.

Adaptación y creación de usos

Como respuesta a la falta de vitalidad y las necesidades planteadas por los habitantes, se plantea la implantación de ciertos usos y la ampliación o reordenación de los existentes (Fig. 03). De este modo, teniendo en cuenta las necesidades concretas expresadas por los usuarios, se consigue un mejor funcionamiento y una mayor sensación de arraigo y cohesión social [13], [14]. Esta adecuación o implantación de usos se propone de una manera diferente en cada caso.

En lo que respecta al colegio, sus trabajadores se quejan de la falta de espacio para recreo de los niños, falta de espacio de comedor y grandes problemas de humedades (además de la accesibilidad). Por ello, en este caso se plantea una intervención de ampliación en la que se excava la parte trasera y baja del colegio para resolver los problemas de humedades y falta de espacio. Se plantea excavar la planta baja para poder plantear un nuevo acceso accesible y un auditorio que pueda funcionar a nivel local/vecinal, de modo que funcione como un equipamiento para el barrio que mejore su vitalidad [8], [14]. En las plantas superiores, se elimina el pasillo que da acceso a las aulas y se sustituye por un espacio central de gradas y escaleras, además de aseos, comedor y cuatro aulas más. Esta nueva intervención se ilumina a través de dos patios y un lucernario, y plantea una galería técnica para evitar los problemas de humedades.

En lo que respecta a los usos exigidos por los habitantes, se plantean en el espacio libre de la plaza que se ubica en la parte superior del muro de contención. Se plantea la ubicación de una mediateca para el uso de los niños, una nueva biblioteca que se maclaría con la tenencia de alcaldía (por motivos de gestión), un pequeño bar entre ambos usos y un espacio público cubierto. Estos usos se dividirían en tres plantas, para así poder ir escalonando el edificio y adaptarse lo más posible a la topografía existente. Por último, la parte superior del edificio y los espacios no edificados se plantearían como zonas verdes para mantener el carácter que el espacio muestra hoy en día.

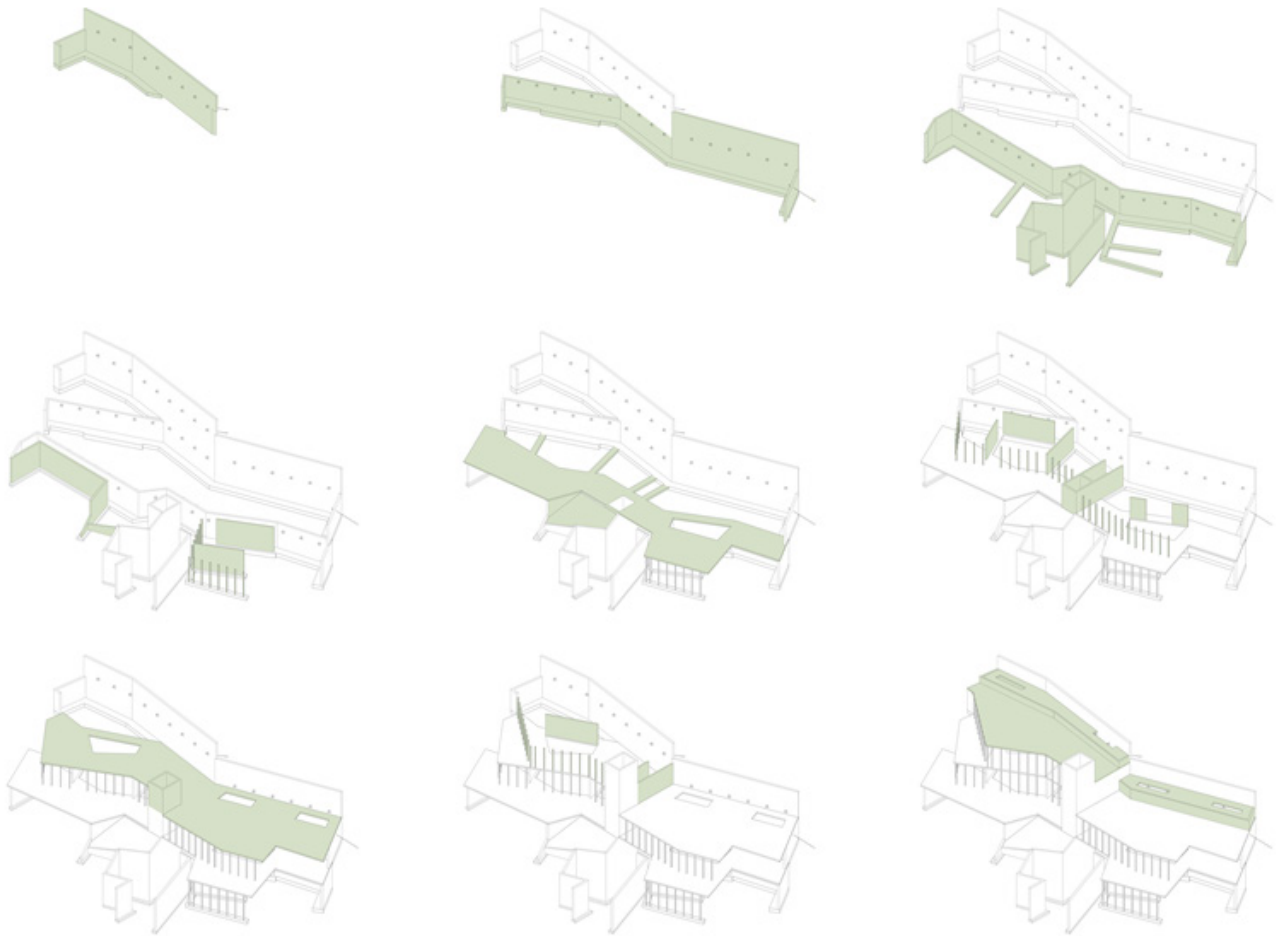
Este espacio encima del muro se encuentra sin construir, debido a que detrás del paseo público que se encuentra en este espacio, el terreno tiene una pendiente de entre el 50-150%, convirtiéndolo en un espacio difícil de edificar. Por ello, en este caso se plantea un esquema de construcción con muros por bataches (horizontales y verticales), ya que no es posible plantear pantallas debido a la falta de espacio para la maquinaria. Este muro por bataches se construiría empezando por las plantas superiores y bajando hasta la parte inferior (Fig. 04). Después, se

As for the school, its workers complain about the lack of space for children's recess, lack of dining space and major problems with humidity (in addition to accessibility). Therefore, in this case an expansion intervention is proposed in which the rear and lower part of the school is excavated to solve the problems of humidity and lack of space. It is planned to excavate the ground floor to be able to propose a new accessible access and an auditorium that can function at the local/neighborhood level, so that it functions as an equipment for the neighborhood that improves its vitality [8], [14]. On the upper floors, the corridor giving access to the classrooms is eliminated and replaced by a central space with stands and stairs, as well as toilets, a dining room and four more classrooms. This new intervention is illuminated through two patios and a skylight, and proposes a technical gallery to avoid humidity problems.

Regarding the uses demanded by the inhabitants, they are proposed in the free space that is located at the top of the retaining wall. It is proposed the creation of a play center for children, a new library that would be connected with the Town Hall office (for management reasons), a small bar between both uses and a covered public space. These uses would be divided into three floors, in order to be able to stagger the building and adapt as much as possible to the existing topography. Finally, the upper part of the building and the unbuilt spaces would be conceived as green areas to maintain the character that the space shows today.

This space above the wall is actually unbuilt, because behind the public promenade that is in this space, the land has a slope of between 50-150%, making it a difficult space to build. Therefore, in this case, a construction scheme with walls by trenches (horizontal and vertical) is proposed, since it is not possible to raise screen retaining walls due to the lack of space for the machinery. This trench wall would be built starting from the upper floors and going down to the bottom (Fig. 04). Later, this wall would be used to create a technical gallery that protects the building from humidity.

Finally, with regard to the Town Hall office, there would be an internal redistribution organized around a single vertical communication core. A central core would be proposed to eliminate the existing duplicity, and the library part (research room, work classrooms and children's area) would be relocated on the two upper floors; in order to connect it with the new library building. As for the rest of the floors, the ground floor would accommodate a multipurpose room for residents' information and a citizen service office. The main Town Hall office and the Justice of the Peace office would be located on the first floor.



utilizaría este muro para crear una galería técnica que proteja de la humedad al edificio.

Por último, en lo que respecta a la tenencia de alcaldía, se haría una redistribución interior organizada en torno a un único núcleo de comunicación. Se plantearía un núcleo central para eliminar la duplicidad existente, y se reubicaría la parte de biblioteca (sala de investigación, aulas de trabajo y zona infantil) en las dos plantas superiores; para así poder unirlo con el nuevo edificio de la biblioteca. En cuanto al resto de plantas, la baja daría cabida a una sala multiusos para la información de los vecinos y una oficina de atención al ciudadano. En la planta primera se ubicarían la oficina principal de la tenencia y el juez de paz.

6. Conclusiones

Con esta propuesta de intervención se plantea que para alcanzar una resolución satisfactoria de la problemática es necesario un enfoque de actuación unitaria que permita resolver todos los aspectos que afectan al barrio: económicos, físicos, sostenibles y sociales [12]; a diferencia de diversos ejemplos realizados en las últimas décadas, en los que se ha actuado en entornos más simbólicos en lugar de espacios degradados, con el objetivo de mejorar la imagen y atraer inversiones a esos espacios [15], [16]. De otro

6. Conclusions

With this intervention proposal, it is suggested that in order to achieve a satisfactory resolution of the problem, a unitary action approach is necessary to resolve all the aspects that affect the neighborhood: economic, physical, sustainable and social [12]; unlike various examples carried out in recent decades, in which more symbolic environments have been renewed, instead of degraded spaces, with the aim of improving the image and attracting investment to those spaces [15], [16]. Otherwise, the operation would not be appropriate, since, without new uses, new users would not be attracted to the area [8], even if the public space was improved; while solving exclusively the uses would not be very fruitful, since considering the quality of the existing public space, it is possible that it would not work, due to the poor attractiveness of the public.

This leads us to think that an intervention at different scales and with different properties would be necessary, such as the one that has been proposed, in which the school is privately owned, while treated public space, the existing public building and the creation of a plot for the construction of the new building are public responsibility. This option would require taking the cooperation work between public

Figure 04.

Structure construction phases. Source: Self production. Year: 2016

modo, el funcionamiento no sería el pertinente, ya que, sin nuevos usos no se atraerían nuevos usuarios a la zona [8], por mucho que se mejorara el espacio público; mientras que resolver exclusivamente los usos no sería muy fructífero, ya que teniendo en cuenta la calidad del espacio público existente es posible que no funcionara, debido a lo poco atractivo del espacio público no acudirían personas a ese entorno.

Esto conduce a pensar que sería necesaria una intervención a diferentes escalas y de diferentes propiedades, como la que se ha planteado, en la que el colegio es de propiedad privada, mientras que se trata el espacio público, un edificio público y se necesita crear una parcela para la construcción de la nueva edificación. Esta opción exigiría llevar un paso más allá el trabajo de cooperación entre agentes públicos y privados que se ha venido dando en los procesos de regeneración de las últimas décadas [17].

Esto pone de manifiesto, que a la hora de plantear la regeneración de ciertos entornos las herramientas urbanísticas de las que se dispone hoy en día pueden hacer un flaco favor a la regeneración de las ciudades, barrios o enclaves determinados debido a su rigidez [18], [19]. Ya que, solamente dilatan en el tiempo la realización de estas intervenciones y en ciertos casos las imposibilitan. Por ello, y debido a la situación actual en la que nuestras ciudades envejecen dando oportunidades de regeneración, es necesario ampliar los planteamientos con el objetivo de realizar las intervenciones más beneficiosas para nuestras ciudades.

Agradecimientos

Cabe mencionar que parte del trabajo de análisis del entorno y la propuesta de intervención se han extraído del Trabajo Fin de Master (TFM) del propio autor que se encuentra disponible en el repositorio de la EHU/UPV. También es necesario dar las gracias al Gobierno Vasco por la ayuda predoctoral concedida al autor de la investigación, el cual se encuentra en el primer año de concesión de dicha ayuda.

and private agents that has been taking place in the regeneration processes of the last decades one step further [17].

This shows that when planning the regeneration of certain environments, the urban planning tools available today can do a disservice to the regeneration of certain cities, neighborhoods or key-locations due to their rigidity [18], [19]. Since they only delay the performance of these interventions and in some cases make them impossible. For this reason, and due to the current situation in which our cities are aging giving opportunities for regeneration, it is necessary to broaden the approaches in order to carry out the most beneficial interventions for our cities.

Acknowledgements

It is worth mentioning that part of the site analysis work and the intervention proposal have been extracted from the author's Master Final Project (TFM in Spanish), which is available in the repository of the EHU/UPV. It is also necessary to thank the Basque Government for the predoctoral researching grant received by the author, who is receiving this grant for the first year.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] F. Chueca Goitia, *Breve Historia del Urbanismo*, 1st ed., Alianza Editorial, Madrid, 1968.
- [2] Enciclopedia Auñamendi, Pasaia, Last consulted: 20/5/2020, URL: <http://aunamendi.eusko-ikaskuntza.eus/eu/pasaia/ar-103597/>.
- [3] Catálogo de Patrimonio Cultural de Euskadi, Patrimonio de Pasaia, Last consulted: 20/5/2020, URL: <https://www.euskadi.eus/app/ondarea/patrimonio-construido-vasco-en-el-municipio/pasaia/consultaOndarea/codmun-20064/desc-pasaia/desceu-pasaia/tipoinv-1&locale=ES>.
- [4] Archivo Municipal de Pasajes, Expedientes de Archivo Histórico.
- [5] A. Santos-García, *San Pedroko Herriko Plazaren Berreskuratzea*, EHU/UPV, 2016.
- [6] E. Serrano et al., Evaluación del impacto en salud de intervenciones de regeneración en la bahía de Pasaia: Percepciones de la población afectada, *Gaceta Sanitaria*, vol. 28, no. 6, 2014, pp. 442–44.
- [7] M. J. Nieuwenhuisen and H. Khreis, Car free cities: Pathway to healthy urban living, *Environment International*, vol. 94, 2016, pp. 251–262.
- [8] M. Carmona, The Place-shaping Continuum: A Theory of Urban Design Process, *Journal of Urban Design*, vol. 19, no. 1, 2014, pp. 2–36.
- [9] F. Carrión, El centro histórico como proyecto y objeto de deseo, *EURE*, vol. 31, no. 93, 2005, pp. 89–100.
- [10] A. Jorgensen, J. Hitchmough, and N. Dunnett, Woodland as a setting for housing-appreciation and fear and the contribution to residential satisfaction and place identity in Warrington New Town UK, *Landscape and Urban Planning*, vol. 79, no. 3–4, 2007, pp. 273–287.
- [11] A. Jorgensen and A. Anthopoulou, Enjoyment and fear in urban woodlands - Does age make a difference?, *Urban Forestry and Urban Greening*, vol. 6, no. 4, 2007, pp. 267–278.
- [12] A. Hernández Aja and I. Rodríguez Suárez, De la rehabilitación a la regeneración urbana integrada, *Ciudades*, vol. 20, no. 20, 2017, pp. 1–20.
- [13] J. Fariña Tojo, Cambiar el modelo urbano, *Ciudades*, vol. 18, no. 18, 2015, p. 69.
- [14] M. Á. Orduña-Gañán and M. del R. Del-Caz-Enjuto, Movimientos ciudadanos y mejoramiento barrial: Algunos ejemplos realizados en Berlín, *Bitacora Urbano Territorial*, vol. 23, no. 2, 2013, pp. 75–84.
- [15] J. León-Casero and A. Ruiz-Varona, Estrategias de desarrollo urbano sostenible: inclusión social y regeneración urbana en consenso obligado. Zaragoza como caso de estudio, *Ciudades*, vol. 20, no. 20, 2017, pp. 111–134.
- [16] M. Raco, Remaking place and securitising space: Urban regeneration and the strategies, tactics and practices of policing in the UK, *Urban Studies*, vol. 40, no. 9, 2003, pp. 1869–1887.
- [17] E. De Manuel Jerez and J. M. López Medina, Dinamizar la regeneración urbana desde la escala barrial: aprendizajes y transferencias del proyecto Barrios en Transición, *Ciudades*, vol. 20, no. 20, 2017, pp. 21–44.
- [18] A. Gómez Nieto, Sistemas urbanos emergentes para la regeneración urbana y la producción de espacio público, *Ciudades*, vol. 20, no. 20, 2017, pp. 179–196.
- [19] F. Gastaldi and F. Camerin, La regeneración urbana en Italia a partir de la reutilización del patrimonio público inmobiliario: un catálogo de herramientas y protocolos, *Ciudades*, vol. 20, no. 20, 2017, pp. 155–178.

A study of the comfort, energy- and cost-efficiency of different measures to achieve an nZEB renovation in Spain

Estudio sobre confort, eficiencia energética y costo efectividad de diferentes medidas adoptadas para lograr la rehabilitación nZEB en España

Almudena Espinosa¹, Marta Monzón¹, Belinda López¹

ABSTRACT

The European Commission defined in 2010 the concept of Nearly Zero Energy Buildings (nZEB) as those characterised by a very low energy demand and a high on-site renewable energy production. This concept relies on a careful design of passive and low-energy strategies, on-site or near renewable energy sources and high efficiency facilities and equipment. The definition of nZEB offers flexibility to the Member States to specify their own demands, adapted to the local construction practices and national climatic conditions. Different technical specifications and procedures are being defined by Member States to ensure the construction of newly built nZEBs by the end of 2020 and to boost the retrofit of existing constructions.

In Spain, the modification of the so-called Energy Saving Basic Document (Documento Básico DB-HE de «Ahorro de Energía», in Spanish, and DB-HE in short) approved by Real Decreto 732/2019, of December 20 (BOE 27-diciembre-2019) updates the definition of Nearly Zero Energy Buildings, as a building, new or existing, that meets the regulatory requirements regarding the limitation of energy consumption established for newly built buildings.

According to the National Institute of Statistics of Spain (INE), 87,7% of the buildings in which we will live in 2050 are already built. In addition, 44% of these buildings were built before 1979 and did not have to comply with any regulations that limited the energy demand or consumption. The built environment in Spain is old and inefficient. It represents an opportunity to reduce CO₂ emissions and energy efficiency towards the ambitious aim to reduce up to 80% the EU carbon emissions of the building stock by 2050. It accounts for more than 40% of the overall energy consumption and 36% of the overall CO₂ emissions in Europe. The reduction of the energy use in the building sector has its own policy development. Strategies are being defined to drive governments towards the retrofit of the existing building stock.

In this paper, a residential building located in Zaragoza (Northern Spain) is studied with the aim to evaluate what implies its transformation into an nZEB according to the Spanish energy efficiency regulations. The paper studies four retrofit scenarios that could be implemented for the existing building, which consider the improvement of the envelope insulation, windows, and heat generation. The building energy performance is simulated with DesignBuilder (the most established and advanced user interface to EnergyPlus) and HULC (the official tool in Spain for energy certification). The simulated models are used for evaluation of the building's non-renewable and total primary energy consumption and thermal comfort performance (according to ASHRAE adaptive standards) after the proposed retrofit scenarios. The results obtained are compared with the normative limit values for nZEB buildings. The paper also analyses the investment costs, in order to identify the most cost-effective solutions. The results show that the insulating externally the whole façade approach is the best strategy in regard to the studied aspects, achieving a 68,7% reduction of CO₂ emissions and 77,7% of heating use, and the only one capable of transforming these buildings into nZEBs.

Key Words: Spanish nZEB renovation standard, residential buildings, energy efficiency, comfort, cost-efficiency.

(1) Department of Architecture, University of Zaragoza, almudenaef@unizar.es.

1. Introducción

Está previsto que para el año 2050, el 68% de la población mundial viva en áreas urbanas y además deberemos haber avanzado hacia una economía baja en carbono. Este proceso hace que nos preguntemos sobre dónde vamos a dar cabida a toda esta población, y qué sucede con los edificios ya construidos y que no son sostenibles.

En la estructura sectorial del consumo de energía final, el sector residencial supone el 18,1% del consumo total, siendo el cuarto sector que más consume. Por usos finales, la Calefacción supone el 43% del consumo energético del sector residencial [1].

En el actual parque de viviendas existente tenemos una fuente de consumos energéticos susceptible de minorarse sustancialmente con políticas de fomento de rehabilitación energética, ya que el 60% de las viviendas existentes son ineficientes energéticamente, porque se construyeron antes de 1980, primer año en el que entró en vigor la primera normativa de eficiencia energética para edificios de nueva planta.

Entre los años 1940-1980, se construyeron un total de 12.186.853 viviendas [2], un 47,39% del total de viviendas construidas a fecha del 2018 (estimación del Parque de Viviendas según INE). En Zaragoza, las viviendas construidas en esa época, 183.430 viviendas, representan el 56,10% del total de viviendas según el censo de 2011.

Sus características responden a un tipo de edificación de la época, caracterizado por la escasez de materiales, y de aislamiento térmico. Su potencial de rehabilitación es muy alto y en particular las viviendas incluidas en algunos de los Conjuntos Urbanos así declarados por el Plan General de Zaragoza (PGOUZ) en los "Estudios y Propuestas para la Rehabilitación de 21 Conjuntos Urbanos de Interés" (Sociedad Municipal de Rehabilitación Urbana de Zaragoza, SMRUZ, 2004)

La propuesta del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 en el ámbito residencial, es conseguir un ahorro acumulado de 4.755 ktep de energía final durante el periodo 2021-2030, como resultado, por un lado, de la intervención sobre la envolvente térmica en 1.200.000 viviendas, comenzando con 30.000 viviendas/año en 2021 y finalizando con 300.000 viviendas/año en 2030. Y por otro, gracias también a la renovación de las instalaciones térmicas (centralizadas e individuales). El plan prioriza las inversiones sobre la envolvente térmica, respecto a las mejoras en las instalaciones térmicas porque se considera que la reducción del consumo energético debe abordarse en primer lugar para evitar el sobredimensionamiento de los equipos de calefacción y/o climatización que deben satisfacerla.

Con el fin de incentivar y promover la realización de

1. Introduction

By 2050, 68% of the world's population is expected to live in urban areas and we will have to move towards a low-carbon economy. This process makes us wonder where we are going to accommodate this entire population, and what happens to existing buildings that are not sustainable.

In the final energy consumption sector structure, the residential sector accounts for 18.1% of total consumption, the fourth sector that consumes the most. By end-uses, heating supposes 43% of energy consumption of the residential sector [1].

Existing housing buildings have energy consumptions that can be substantially reduced with energy retrofit policies. 60% of the existing buildings are energy inefficient, because they were built before 1980, which is the first year in which the first energy efficiency regulation for new buildings came into force.

12,186,853 residential buildings were built between 1940-1980 [2], and represent 47,39% of the total existing buildings in 2018 (INE residential building rate). In Zaragoza, the residential stock built (183,430) in this period represents 56.10% of the total residential buildings according to the 2011 census.

Its constructive solutions are typical of the buildings of the time, characterized by a shortage of materials, and thermal insulation. Its potential renovation is very high. Many of them have been declared Urban Areas of Interest (UAI, Conjuntos Urbanos de Interés in Spanish) in the General Plan of Urban Planning of Zaragoza (PGOUZ) of 2001 and 2007, due to their character of unity bringing together representative environmental values of types of residential building and urban areas characteristic of its time.

The National Integrated Energy and Climate Plan (PNIEC) 2021-2030 proposes to achieve a cumulative saving of 4,755 ktep of final energy during the period 2021-2030 in residential buildings, as a result, on the one hand, of the thermal intervention on the envelope of 1,200,000 buildings, starting with 30,000 buildings/year in 2021 and ending with 300,000 buildings/year in 2030. On the other hand, thanks also to the renovation of heating and DHW systems (centralized and individual). The Plan prioritizes investments in the thermal envelope, with respect to improvements in thermal installations because it is considered that the reduction of energy consumption should be addressed first to avoid oversizing the heating and / or air conditioning equipment.

The Ministry of Energy, Tourism and Digital Agenda, through the Institute for Energy Diversification and Saving (IDAE), promotes a specific financing program (PAREER + grows) [3,4] based on four lines of action. The objective is to boost and promote the

actuaciones de reforma en edificios existentes, el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, a través del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), puso en marcha un programa específico de ayudas y financiación (PAREER+crece) basado en cuatro líneas de actuación. El número de solicitudes favorables y en tramitación para el mes de mayo de 2020 [3,4] que ha recibido el Programa en cada tipo de actuación son:

1. Mejora de la eficiencia energética de la envolvente térmica: 1.181

- Mejora del aislamiento térmico de fachadas, cubiertas, suelos y puentes térmicos: Por la cara interior, exterior o insuflado en la cámara de aire del cerramiento (en caso de que exista)
- Mejora de aislamiento y permeabilidad al aire de huecos: carpinterías y vidrios.

2. Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas y de iluminación: 211

- Cambio de la instalación de generación térmica por otra más eficiente, con mejor rendimiento y que permita además su regulación (domótica y automatización)
- Mejora en el transporte de la energía: Aislamiento de conductos que transportan el calor
- Mejora en los puntos de consumo: Programación y regulación de radiadores.

3. Sustitución de energía convencional por biomasa en las instalaciones térmicas: 56

4. Sustitución de energía convencional por energía geotérmica en las instalaciones térmicas: 19

En definitiva, reducir el consumo y ser capaces de alcanzar el máximo confort en nuestras casas con la menor emisión de Kg de CO₂ posible. La Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europea relativa a la eficiencia energética de los edificios definió el modelo de Edificios de Consumo Casi Nulo (ECCN) en 2010 como aquellos caracterizados por una muy baja demanda de energía y una alta producción de energía renovable en el sitio. Serán los Estados miembros quienes especifiquen sus propios consumos, adaptados a las prácticas locales de construcción y las condiciones climáticas nacionales. En España, la modificación del denominado Documento Básico de Ahorro de Energía (Documento Básico DB-HE de «Ahorro de Energía») aprobado por el Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre (BOE 27 -diciembre-2019) actualiza la definición de ECCN, como un edificio, nuevo o existente, que cumple con los requisitos reglamentarios con respecto a la limitación del consumo de energía establecido para edificios de nueva construcción.

refurbishment of existing buildings.

1. Improvement of the energy efficiency of the thermal envelope: 1,181

- Improvement of the thermal insulation of facades, roofs, floors and thermal bridges: On the inside, outside wall or in the air cavity of the construction.
- Improvement of insulation and air permeability of windows: frame and glass.

2. Improving the energy efficiency of thermal and lighting installations: 211

- Change of the thermal generation installation for a more efficient one: better performance and regulation (automation)
- Improved energy transport: insulation of ducts that distribute heat
- Improvement in consumption points: Programming and regulation of elements.

3. Substitution of conventional energy by biomass in thermal installations: 56

4. Substitution of conventional energy by geothermal energy in thermal installations: 19

To conclude, its objective is to reduce consumption and being able to achieve maximum comfort in our homes with the lowest possible Kg CO₂ emission. Directive 2010/31/EU on Energy Efficiency in Buildings defined nearly Zero Energy Building (nZEB) in 2010 as a building with very high energy performance where the nearly zero or very low amount of energy required should be extensively covered by renewable sources produced on-site or nearby. The EPBD requires Member States (MS) to set their own consumption, adapted to local construction practices and national climatic conditions. In Spain, the modification of Basic Document of Energy Saving (DB-HE) approved by Royal Decree 732/2019, on December 20 (BOE 27-December-2019) updates the definition of nZEB, as a building, new or existing, which meets the energy requirements for new buildings.

A residential building located in Zaragoza (Northern Spain) is studied with the aim to evaluate what implies its transformation into an nZEB according to the Spanish energy efficiency regulations. The case study is a real social housing buildings located in one of the 19 multifamily UAI of Zaragoza: Grupo Girón. In this paper, four retrofit scenarios are considered improving the insulation of the envelope, windows and heating, DHW systems. The building's energy performance is simulated with HULC, the Spanish official tool for energy certification and DesignBuil-

Se estudia un bloque residencial ubicado en Zaragoza (norte de España) que forma parte de uno de los 21 Conjuntos Urbanos de Interés (CUI), con el objetivo de evaluar lo que implica su transformación en un ECCN de acuerdo con la normativa española de eficiencia energética. El documento estudia cuatro escenarios de rehabilitación que consideran la mejora del aislamiento de la envolvente, las ventanas y las instalaciones de generación térmica. El rendimiento energético del edificio se simula con la Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC), la herramienta oficial en España para la certificación energética y DesignBuilder (la interfaz de usuario más establecida y avanzada para EnergyPlus). Los modelos simulados se utilizan para evaluar el consumo de energía primaria no renovable y total y el rendimiento del confort térmico (de acuerdo con los estándares de adaptación de ASHRAE) del estado original de la edificación y los cuatro escenarios propuestos de modificación. Los resultados obtenidos se comparan con los valores límite normativos para cumplimiento del Documento Básico DB-HE de «Ahorro de Energía» y para edificios ECCN. El documento también analiza los costos de inversión, con el fin de identificar las soluciones más rentables. Además, los resultados de este documento proporcionan información útil para cuantificar la conveniencia técnica y la rentabilidad de diferentes medidas para alcanzar una renovación ECCN con el fin de optimizar las futuras inversiones para programas de rehabilitación energética.

2. Metodología

2.1 Descripción de los edificios

En estudios previos, se han analizado 19 conjuntos residenciales plurifamiliares declarados Conjuntos Urbanos de Interés [5] para el Municipio de Zaragoza. Se han estudiado sus características constructivas [6, 7, 12] y las características de sus envolventes energéticas y acústicas [8, 9]. Además se han simulado energéticamente mediante una metodología simplificada [10, 3, 4].

El bloque de viviendas seleccionado para este estudio, forma parte del CUI grupo Girón (construido en 1957), Fig. 1, y representa el comportamiento común de los 19 Conjuntos Urbanos de Interés [11]:

- Calificación energética según el consumo de Energía Primaria No Renovable: E.

De los 19 CUI el 88,5% de los edificios están calificados con la letra E, el 5,2% con la letra F, y el 3,1% con la letra G.

- Calificación energética según las emisiones de CO₂: E.

De los 19 CUI el 80,9% de los edificios están calificados con la letra E, y el 15,9 % con la letra D.

der (the most established and advanced user interface for EnergyPlus). The simulated models are used to assess total and non-renewable primary energy consumption and thermal comfort performance (in accordance with ASHRAE adaptation standards) of the original scenario of the building and the four proposed retrofit scenarios. The results obtained are compared with the normative limit values for compliance with the Basic Document DB-HE of «Energy Savings» and nZEBs. The document also analyses investment costs, in order to identify the most profitable solutions. Furthermore, the results of this document provide useful information to quantify the technical convenience and cost effectiveness of different measures to achieve an ECCN renovation in order to optimize future investments for energy rehabilitation programs.

2. Methodology

2.1 Building description: case study

In previous research works, we had catalogued the 19 multifamily residential estates of Zaragoza declared as UAI [5], identified the construction characteristics of the buildings [6,7,12], done an energy and acoustic characterization of their envelopes [8,9], and simulated the buildings energy use through a simplified methodology [10,3,4]

Grupo Girón (built in 1957), Fig 1, is a case study representative of the most common energy efficiency performances found among the buildings of the 19 residential estates [11].

- Energy performance rating for the indicator of nonrenewable primary energy: E

Of 19 UAIs, 88.5% of the buildings are rated with E, 5.2% with F, and 3.1% with G.

- Energy performance rating for the indicator CO₂ emissions: E

Of 19 UAIs, 80.9% of the buildings are rated with E, 15.9% with D.

The construction characteristics of the buildings studied are described in Table 1-3.

2.2 Scenarios description

Five scenarios were considered depending on the retrofit of the envelope and heating and DHW system [12] (Table 1-3). The energy retrofit strategies in envelope will be on external wall, not interfering construction with the occupants' daily life.

2.3 Study Phases

The research is composed of the next Phases:

Las características constructivas del bloque de viviendas social estudiado se resumen en la Tabla 1-3.

2.2 Descripción de los escenarios de rehabilitación

Se proponen cinco escenarios de análisis en función de la actuación en la envolvente edificatoria y en las instalaciones de generación térmica [12] (Tabla 1-3). Las actuaciones propuestas de intervención en la envolvente energética, se ejecutarán siempre desde el exterior, no interfiriendo la obra de rehabilitación con el uso diario de la vivienda.

2.3 Fases de estudio

En este estudio se han seguido las siguientes fases:

1. Definición de las exigencias que debe cumplir una reforma en las que se renueven más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio y las instalaciones de generación térmica.

Definición de las exigencias requeridas según CTE para ser ECCN

2. Simulación energética mediante herramienta informática HULC de los distintos escenarios propuestos para comprobar si cumple la rehabilitación con los estándares normativos y con la condición de ECCN.

Se define el sistema operacional y de uso y las condiciones climáticas (archivo climático) de la herramienta HULC.

3. Simulación energética mediante herramienta informática DesignBuilder, bajo las condiciones climáticas, de uso y operacionales de HULC. El objetivo es tener dos modelos energéticos simulados y calibrados que permita obtener con DesignBuilder valores de confort térmico validados.

4. Cuantificar la costo-efectividad de la rehabilitación energética.

1. Definition of the requirements for major renovations which are compulsory when more than 25% of the envelope and heating and DHW system are improved.

Definition of the requirements for the transformation of existing buildings into nZEBs.

2. Energy simulation with HULC version 2.0.1960.1156 software. We checked the compliance or not of the five scenarios with the two set of requirements: the compulsory major renovation requirements and the optional nZEB renovation requirements.

Operational, use and climate conditions are defined.

3. Energy simulation with Design Builder version 6 software. We introduce in simulation model operational, use and climate conditions defined in HULC software. The objective is to simulate two calibrated energy models that allow to obtain with DesignBuilder validated values of thermal comfort.

4. Estimate the cost-effectiveness of each scenario of improvement.

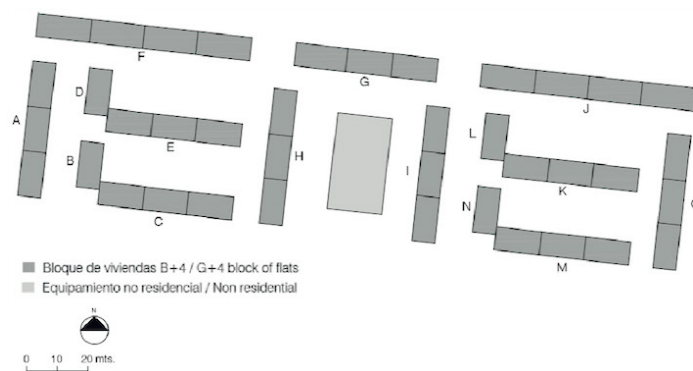


Figure 01. Urban layout and general image of the case study, M.Monzón-Chavarrías, B.Lopez-Mesa, 2018 [5].

	Original state	Refurbished state			
	Scenario 0	Scenario 1-3		Scenario 2-4	
		S1	S3	S2	S4
Roof					
Pitched roof with ventilated chamber	Arabic ceramic roof tile	Arabic ceramic roof tile	Arabic ceramic roof tile	Arabic ceramic roof tile	Arabic ceramic roof tile
	2cm_Mortar cement	2cm_Mortar cement	2cm_Mortar cement	2cm_Mortar cement	2cm_Mortar cement
	3cm_Thick ceramic board	3cm_Thick ceramic board	3cm_Thick ceramic board	3cm_Thick ceramic board	3cm_Thick ceramic board
	One-way slab with precast joists of reinforced ceramic	One-way slab with precast joists of reinforced ceramic	One-way slab with precast joists of reinforced ceramic	One-way slab with precast joists of reinforced ceramic	One-way slab with precast joists of reinforced ceramic
	Ventilated air space	Ventilated air space	Ventilated air space	Ventilated air space	Ventilated air space
		25cm_Thermal insulation	25cm_Thermal insulation	25cm_Thermal insulation	25cm_Thermal insulation
	One-way slab with precast joists of reinforced ceramic	One-way slab with precast joists of reinforced ceramic	One-way slab with precast joists of reinforced ceramic	One-way slab with precast joists of reinforced ceramic	One-way slab with precast joists of reinforced ceramic
	2cm_Thick ceramic false ceiling	2cm_Thick ceramic false ceiling	2cm_Thick ceramic false ceiling	2cm_Thick ceramic false ceiling	2cm_Thick ceramic false ceiling
1cm_Plastering	1cm_Plastering	1cm_Plastering	1cm_Plastering	1cm_Plastering	
Façade					
F3	1.5cm_Mortar cement	1.5cm_Mortar cement	1.5cm_Mortar cement	1.5cm_Mortar cement	1.5cm_Mortar cement
4th Floor		16cm_Thermal insulation	16cm_Thermal insulation	16cm_Thermal insulation	16cm_Thermal insulation
	24cm_Hollow brick	24cm_Hollow brick	24cm_Hollow brick	24cm_Hollow brick	24cm_Hollow brick
	1cm_Mortar cement	1cm_Mortar cement	1cm_Mortar cement	1cm_Mortar cement	1cm_Mortar cement
	3cm_Nonventilated air space	3cm_Nonventilated air space	3cm_Nonventilated air space	3cm_Nonventilated air space	3cm_Nonventilated air space
	4cm_Hollow brick	4cm_Hollow brick	4cm_Hollow brick	4cm_Hollow brick	4cm_Hollow brick
	1.5cm_Plastering	1.5cm_Plastering	1.5cm_Plastering	1.5cm_Plastering	1.5cm_Plastering
F2	24cm_Facing solid brick	24cm_Facing solid brick	1.5cm_Mortar cement	1.5cm_Mortar cement	1.5cm_Mortar cement
1st-3rd Floor			10cm_Thermal insulation	10cm_Thermal insulation	10cm_Thermal insulation
			24cm_Facing solid brick	24cm_Facing solid brick	24cm_Facing solid brick
	1cm_Mortar cement	1cm_Mortar cement	1cm_Mortar cement	1cm_Mortar cement	1cm_Mortar cement
	3cm_Nonventilated air space	3cm_Thermal insulation	3cm_Thermal insulation	3cm_Nonventilated air space	3cm_Nonventilated air space
	4cm_Hollow brick	4cm_Hollow brick	4cm_Hollow brick	4cm_Hollow brick	4cm_Hollow brick
	1.5cm_Plastering	1.5cm_Plastering	1.5cm_Plastering	1.5cm_Plastering	1.5cm_Plastering
F1 Ground Floor	36cm_ Facing solid brick	36cm_ Facing solid brick	1.5cm_Mortar cement	1.5cm_Mortar cement	1.5cm_Mortar cement
			10cm_Thermal insulation	10cm_Thermal insulation	10cm_Thermal insulation
			36cm_ Facing solid brick	36cm_ Facing solid brick	36cm_ Facing solid brick
	1cm_Mortar cement	1cm_Mortar cement	1cm_Mortar cement	1cm_Mortar cement	1cm_Mortar cement
	3cm_Nonventilated air space	3cm_Thermal insulation	3cm_Thermal insulation	3cm_Nonventilated air space	3cm_Nonventilated air space
	4cm_Hollow brick	4cm_Hollow brick	4cm_Hollow brick	4cm_Hollow brick	
	1.5cm_Plastering	1.5cm_Plastering	1.5cm_Plastering	1.5cm_Plastering	
Windows	Wood frame	PVC frame	PVC frame	PVC frame	PVC frame
	Single glass	Triple glass	Triple glass	Triple glass	Triple glass
Ground					
S1	Concrete slab-on-ground	Concrete slab-on-ground	Concrete slab-on-ground	Concrete slab-on-ground	Concrete slab-on-ground
		Perimeter insulation	Perimeter insulation	Perimeter insulation	Perimeter insulation
Heating system					
Gas boiler (performance)	81% [13]	81% [13]	100%	81% [13]	100%
DHW			60% Solar		60% Solar

Table 01.

Urban layout and general image of the case study, M.Monzón-Chavarrías, B.Lopez-Mesa, 2018 [5].

Constructive system	U-value (W/m ² ·K)				
	Scenario 0	Scenario 1-3		Scenario 2-4	
		E1	E3	E2	E4
Roof					
Pitched roof with ventilated chamber	2.25	0.12			
Façade					
4th Floor-F3	0.78	0.15	0.21		
1st-3rd Floor-F2	1.23	0.66	0.23		
Ground Floor-F1	1.05	0.6	0.23		
Windows	5.08	1.04			
Ground					
S1	3.81	3.81			
		Perimeter insulation: 1 m, R = 3.0 m ² ·K/W;			
Windows					
Frame	2	1.8			
Glass	5.6	0.85			
Frame and glass	5.08	1.04			

Table 02. Thermal characteristics of the construction system of the original and rehabilitated scenarios, own elaboration, 2020.

Scenario	Floor-To-Wall Junctions	Wall-To-Wall Junctions: Exterior	Wall-To-Wall Junctions: Interior	Window-To-Wall Junctions: Ledge	Window-To-Wall Junctions: Lintel	Window-To-Wall Junctions: Jamb	Slab-On-Ground
0	0,99	0,15	-0,22	0,10	0,58	0,37	3,51
1, 3	0,67	0,08	-0,12	0,12	0,55	0,34	3,76
2, 4	0,07	0,04	-0,06	0,08	0,09	0,03	3,88

Table 03. Linear thermal transmittance of thermal bridges (W/mK) [12].

Indicator	DB-HE 2019	HULC	DesignBuilder	CYPE software and database
Energy consumption limitation				
Nonrenewable (NREN) Primary Energy (PE), C _{ep,nren}	YES	YES	YES	NO
Total Primary Energy (PE), C _{ep,tot}	SI	YES	YES	NO
CO₂ Emissions	NO	YES	YES	NO
Conditions for controlling Energy Demand				
Envelope global heat transfer coefficient K-value	YES	YES	NO	NO
Solar control of windows q _{sol,jul}	YES	YES	NO	NO
Maximum U-value for each element	YES	YES *	YES *	NO
Thermal Comfort				
Hours within 90% acceptability	NO	NO	YES	NO
Hours out of 90% acceptability	NO	NO	YES	NO
Cost-Effectiveness				
Total investment renovation costs	NO	NO	NO	YES
Euro / kWh saved	NO	NO	NO	YES

Table 04. Indicators analysed and how they are quantified, own elaboration, 2020.
*: It is possible to obtain the particular values of each constructive solution to be able to compare them with the normative data.

2.4 Descripción de los indicadores analizados

Los indicadores que se analizan en los cinco escenarios del bloque residencial y la herramienta con la que se cuantifican son los indicados en la Tabla 4:

2.4.1 Documento Básico DB-HE de «Ahorro de Energía»

En este estudio se analizan cuatro intervenciones de rehabilitación y comprobar si cumple con los requerimientos de rehabilitación profunda y/o ECCN.

Las secciones del DB-HE se ordenan desde los aspectos más generales de la eficiencia energética del edificio a los más particulares, procediendo desde del consumo energético del edificio hasta la definición de la envolvente térmica y las instalaciones técnicas. En la Tabla 5 se muestran los valores límites exigidos para el cumplimiento DB-HE0 y DB-HE1 en caso de rehabilitación y cuando se quiere conseguir un edificio ECCN.

2.4.2 Simulaciones energéticas

En primer lugar se definió en la herramienta HULC 2.0.1960.1156 [14], el modelo energético del estado inicial y de las cuatro propuestas de rehabilitación en forma, orientación, climatología, soluciones constructivas, puentes térmicos y perfil de uso y operacional, Tabla 6. A continuación se obtuvo la comprobación de las limitaciones de consumo de EP, control

2.4 Description of the indicators analysed

The indicators analysed in the five scenarios and the tool that quantifies them are listed in Table 4:

2.4.1 Basic Document Energy Saving (DB-HE)

In this paper, we checked the compliance or not of the five scenarios with the compulsory major renovations and nZEB renovation set requirements.

DB-HE is sorted from the most general aspects of the energy efficiency of the building to the most particular, from the energy consumption of the building to the definition of the thermal envelope and heating-DHW systems. Table 5 shows the limit values required for compliance DB-HE0 and DB-HE1 for major renovation and nZEB renovation.

2.4.2 Energy simulations

Original scenario energetic model and improved scenarios models were introduced in HULC 2.0.1960.1156 software [14] regarding the shapes, orientations of the buildings, climatic conditions, construction solutions, thermal bridges and use-operational conditions, Table 6. Once the simulation was done, limit primary energy and CO₂ emissions are checked.

The same building models were introduced in DesignBuilder software [16]. It is checked whether the values obtained in this simulation of PE has been ob-

Requirements	Limit value	
	Major renovation	nZEB renovation
Limit primary energy [kW·h/m²·y], Zaragoza		
Cep,nren,lim [kW·h/m ² ·y]	70	38
Cep,tot,lim [kW·h/m ² ·y]	105	76
Envelope limit global heat transfer coefficient K-value (K_{lim}) [W/m²·K] depends on the compactness of the building V/A (m³/m²)*		
V/A ≤ 1	0.48	
V/A ³ 4	0.67	
Solar control of Windows, q_{sol;jul,lim} [kWh/m²·m]	2	
U_{lim} [W/m²·K]** for each element of the envelope that is added, replaced, or modified		
Façade	0.41	
Roof	0.35	
Ground	0.65	
Windows	1.8	
Accepted permeability of the windows depends on the climate zone: Zaragoza	Class 3 (minimum)	
% of the energy demand for DHW obtained from renewable sources, with local origin or nearby the building. This is applicable to those renovations that change the DHW systems	60%	

Table 05.

Limit values for compliance requirements DB-HE 0 and DB-HE 1, own elaboration, 2020.

* The K value depends on the area and thermal transmittance U of the elements of the thermal envelope, the length and linear thermal transmittance of the thermal bridges and the point thermal transmittance of the point thermal bridges.

** In renovations, these U_{lim} values can be exceeded when the global transmission coefficient, K, considering the affected elements, does not exceed that obtained by applying the values in the table.

de la demanda de energía y emisiones de CO2.

Estos mismos modelos, con las mismas condiciones de modelado, uso y operacionales, se simularon en la herramienta DesignBuilder [16]. Se comprueba si los valores obtenidos en esta simulación de consumo de EP y de control de la demanda de energía, han sido obtenidos con los mismo factores de paso de energía que utiliza HULC [17]. Como los valores de factores de paso difieren de los usados en la simulación de HULC, se actualizan los datos obtenidos con DesignBuilder con los factores de paso de energía usados por HULC mediante el uso de cálculos adicionales.

Si los valores no difieren en más de un 5%-10% [18] se dan por válidos los modelos de DesignBuilder y se utilizan para cuantificar el confort térmico de los diferentes escenarios.

tained with the same energy passing factors used by HULC [17]. Because the step factor values differ from those used in the HULC simulation, the data obtained with DesignBuilder is updated with the energy step factors used by HULC using additional calculations.

If values do not differ by more than a 5% -10% [18] are valued DesignBuilder models and they are used to quantify the thermal comfort of the five scenarios.

To estimate the thermal comfort, we used the adaptative comfort approach according to the ASHRAE55-2017 standard. An annual simulation was run at intervals of one hour in DesignBuilder software. The data in csv format were exported to the software ConfAdapt-ASH55 [15] that allowed us to obtain the hours inside and outside the 80% and 90% acceptability limits.

Parameters	Values
Occupancy density (3 people)	0.05 people / m ²
Hours of operation and occupancy: Monday to Friday: 7 am to 3 pm	25% occupation
Hours of operation and occupancy: Monday to Friday: 3 pm to 8 pm	50% occupation
Hours of operation and occupancy: Monday to Friday: 8 pm to 7 am	100% occupation
Hours of operation, activity and occupancy: Saturday and Sunday	100% occupation
Climate equipment operating hours (heating)	7 a.m. to 10 p.m.
Climate equipment operating hours (cooling)	9 a.m. to 8 p.m.
Running of the air conditioning system from Monday to Sunday	7 days/week
Summer period	1st June–30th September
Winter period	1st October–31st May
Metabolic factor: "Standing/walking" option	1
Clothing values (CLO)	Summer 0.5 Clo; winter: 1.0 Clo
Load due to general lighting	4.4 W/m ² –100lux (10% (0–7 h, 30% (7–18 h), 50% (18–19 h), 100% (19–23 h), 50% (23–24 h)
High set point temperature (June–September)	27°C (0:00–7:00, 23:00–23:59)
	25°C (15:00–22:59)
Low set point temperature (January–May, October–December)	17°C (0:00–7:00, 23:00–23:59)
	20°C (7:00–22:59)
Relative humidity of the indoor air	50%
Infiltration air flow rate per internal volume through the envelope (n50)	5,72h ⁻¹ scenario 0, y 4,91h ⁻¹ improved scenarios (1–4)
Renewal air flow	33 l/s
Night ventilation	4 h–1 (June–September; 1–8 h)
Activation of solar control in summer	Window shading
	Type: blind with low reflectivity slats (scenario 0), blind with high reflectivity slats (scenarios 1–4)
	Position: outside
	Slat angle control type: fix; vertical
	Operation schedule: residential CTE shading:
	On: June–September; 30% 0–24 h Off: January–May; October–December

Table 06. Operational conditions for residential use according to CTE, [12].

Para el cálculo de resultados de confort adaptativo conforme a criterios del estándar ASHRAE 55-2017, se ejecuta una simulación anual en intervalos de una hora mediante la herramienta de simulación energética DesignBuilder y se realizan cálculos adicionales con la herramienta ConfAdapt-ASH55 [15], desarrollada por Sol-Arq (asociado de DesignBuilder Ltd) y que permite obtener las horas dentro y fuera del 80% y 90% de aceptabilidad por el estándar.

2.4.3 Estimación de la costo-efectividad de las propuestas de rehabilitación

En primer lugar se estima el coste de la inversión en las medidas de rehabilitación propuesta para cada escenario mediante la base de datos CYPE [19], luego dividimos por la superficie total para obtener la inversión de renovación por m² para cada caso. Para estimar la relación costo-efectividad de cada escenario de mejora [20] se dividen los costes totales de inversión por los kW·h ahorrados de energía primaria no renovable para los cinco escenarios estudiados.

3. Resultados y discusión

3.1 Resultados cumplimiento CTE ECCN

Del análisis de los resultados obtenidos con HULC para el cumplimiento o no de las exigencias normativas según rehabilitación o edificio ECCN, se concluye que dos escenarios cumplen con las exigencias para rehabilitación, escenarios 2 y 4 y solo un escenario cumple con la exigencia de ECCN, el escenario 4. En la Tabla 7 se muestran los valores obtenidos de los indicadores estudiados comparados con sus valores normativos de referencia [12].

Los resultados obtenidos muestran que para conseguir que un edificio rehabilitado cumpla con las exigencias de ECCN, debe ser aislado siguiendo la "regla del rotulador". Una regla que se utiliza habitualmente en edificios que se diseñan según criterios del estándar Passivhaus y que consiste en poder trazar una línea continua alrededor de la sección del edificio (vertical y horizontal) por donde se prevé la colocación del aislamiento. Los escenarios 1 y 3 a pesar de estar también aislados, no lo hacen al 100%. La solución de aislamiento insuflado en la cámara de aire no resuelve de forma eficiente los puentes térmicos además de ser insuficiente el grado de aislamiento de la fachada, tal y como se observa en los valores obtenidos de Coeficiente de Transmisión global, K, para estos escenarios.

Si analizamos el consumo de EP NREN y las emisiones de CO₂ [12], mostradas en la Fig. 2, de los cuatro escenarios rehabilitados respecto del estado original podemos observar que, para que una rehabilitación cumpla con las exigencias normativas española, escenario 2, ha sido necesario reducir el consumo de EP NREN en un 39,24% (una reducción del 38,75% en

2.4.3 Methodology to estimate the cost-effectiveness of the scenarios

We first estimated the total investment renovation costs of the measures for each of the four improvement scenarios by means of the CYPE software and database [19]. Afterwards we divided it by the total surface to obtain the renovation investment per m² for each case. To estimate the cost-effectiveness of each scenario of improvement, the costs-to-effectiveness ratio [20] that we established divided the total investment costs by the saved kW·h of non-renewable primary energy for the five scenarios of the three case studies.

3. Results and discussion

3.1 Energy regulation compliance

From the analysis of the results obtained with HULC for the compliance or not of the requirements according to major renovation or nZEB renovation, it is concluded that two scenarios complied with major renovation requirements, scenarios 2 and 4 and one scenario complied with the nZEB renovation requirements, scenario 4. Table 7 values' compare studied indicators is studied with normative reference values [12].

We analyse the NREN PE values and CO₂ emissions [12] from the five scenarios, Fig.2. Scenario 2 and 4 provides solutions that would comply with current regulations. Improving both the envelope and the systems (scenario 4) could even transform existing social housing buildings into nZEBs. Scenario 2 has reduced the NREN PE by 39.24% (38.75% CO₂ emissions reduction) and scenario 4 has reduced NREN PE by 68% and emissions by 68.7%. In both cases, the reduction is relative to the original scenario.

Reducing CO₂ emissions means reducing the energy demand for heating, cooling and DHW and/or consuming renewable energy. In scenario 4, energy demand is reduced by 53% and NREN PE is reduced because 60% of DHW is produced in a renewable way through solar panels.

3.2 Primary Energy Results, emissions , thermal comfort and cost-effectiveness of the scenarios

Total PE values obtained, Table 8 and Fig. 3, with HULC software are 0.6% (S0), 1.12% (S1), 4.64% (S2), 0.34% (S3) and 5.24% (S4), higher than values obtained with DesignBuilder software. In any of the five scenarios, the deviation range is between 5% and 10% maximum [18] and the DesignBuilder model can be considered valid to quantify thermal comfort.

When analysing NREN PE saved in heating, cooling systems, Fig. 4, we observed the increase in cooling NREN PE, 8.9% in scenarios 1-3 and 11.95% in scena-

		Primary Energy (kW-h/m ² -year)								Total HULC	Total DB
		Heating		Cooling		DHW		Total partial			
		HULC	DB	HULC	DB	HULC	DB	HULC	DB		
S0	RN	0.23	0.26	1.59	1.29	0.18	0,17	2	1.72	105.53	104.89
	NREN	53.76	56.5	7.52	6.62	42.25	40,05	103.53	103.17		
S1	RN	0.12	0.14	1.74	1.41	0.18	0,17	2.04	1.72	82.05	81.12
	NREN	29.57	32.15	8.19	7.21	42.25	40.05	80.01	79.41		
S2	RN	0.06	0.05	1.78	1.19	0.18	0.17	2.02	1.41	66.13	63.05
	NREN	13.44	13.01	8.42	8.59	42.25	40.05	64.11	61.64		
S3	RN	0.11	0.12	1.74	1.41	20.47	19.79	22.31	21.32	69.21	68.98
	NREN	25.49	27.67	8.19	7.21	13.22	12.78	46.9	47.66		
S4	RN	0.05	0.04	1.78	1.19	20.47	19.79	22.31	21.03	55.96	53.03
	NREN	12.02	10.63	8.42	8.59	13.22	12.78	33.66	32		

Table 08.

Total primary energy values (kW-h/m²-year), renewable PE (RN) and non-renewable PE (NREN): heating, cooling and DHW systems, five scenarios, HULC and DesignBuilder energy simulation, own elaboration, 2020.

emisiones CO₂) y para conseguir que sea ECCN hay que reducir el consumo de EP NREN en un 68% y las emisiones en un 68,7%.

Reducir las emisiones de CO₂ supone reducir la demanda de producción de calor, frío y agua caliente y/o usar energía renovable. En el caso del escenario 4 que cumple los requerimientos para ser ECCN, se ha reducido la demanda energética (el coeficiente global de Transmisión del escenario 2 y 4 se reduce un 53% respecto del estado original), y se ha reducido el consumo de Energía Primaria No Renovable porque un 60% del agua caliente Sanitaria se produce de forma renovable mediante placas solares.

3.2 Resultados Energía Primaria, emisiones, confort térmico y costo-efectividad de los escenarios propuestos

La datos obtenidos de EP total, Tabla 8 y Fig. 3, mediante el programa HULC son 0,6% (E0), 1,12% (E1), 4,64% (E2), 0,34% (E3) y 5,24% (E4), superiores a los valores obtenidos mediante el programa DesignBuilder. En cualquiera de los cinco escenarios, el rango de desviación está entre el 5% y el 10% máximo [18] y se puede dar por valido el modelo de DesignBuilder para cuantificar el confort térmico.

Si se analiza el ahorro en el consumo de EP NREN en calefacción y refrigeración, Fig. 4, se observa que el aumento de aislamiento de la envolvente térmica (escenarios 1-3, 2-4) supone el aumento en el consumo de energía primaria no renovable para refrigeración, en concreto en un 8,9% en los escenarios 1-3 y un 11,95% en los escenarios 2-4. En el caso de la calefacción la disminución de consumo es más significativa, entre el 45-52,6% para los escenario 1-3 y un 75-77,6% para los escenario 2-4. Estos ahorros de consumo reflejan un aumento en las horas de confort del doble respecto de la situación original.

rios 2-4. Heating NREN PE is reduced. This reduction in heating energy is significant, a 45-52,6% reduction in escenarios 1-3 and 75-77,6% reduction in escenarios 2-4. These energy savings reflect a double increase in comfort hours of the improve scenarios about original scenarios.

We can see in Fig. 4, the relation between total renovation investment costs of the different scenarios and NREN EP kWh saved. The most cost-effective scenario is number 2, followed by 1, 4 and 3.

4. Conclusions

Two possible façade improvements and a system improvement we considered reducing primary energy consumption and CO₂ emissions for the energy renovation of a social housing built in 1957.

- Improve thermal envelope: cavity wall insulation of 3cm thick for the brick facing walls.
- Improve thermal envelope: external insulation of 10cm thick for façades and 16 cm thick for plastered walls.
- Improve heating, cooling and DHW systems

The combination of these three strategies generates four renovation scenarios. They are analysed through energy simulation in a social housing building in Zaragoza, Grupo Girón quantified the indicators of NREN PE, total PE, CO₂ emissions, thermal comfort and cost-effectiveness.

The analysed data shows that the external insulation solution compliances with Spanish normative requirements for major renovation, as well as being the most cost-effective solution.

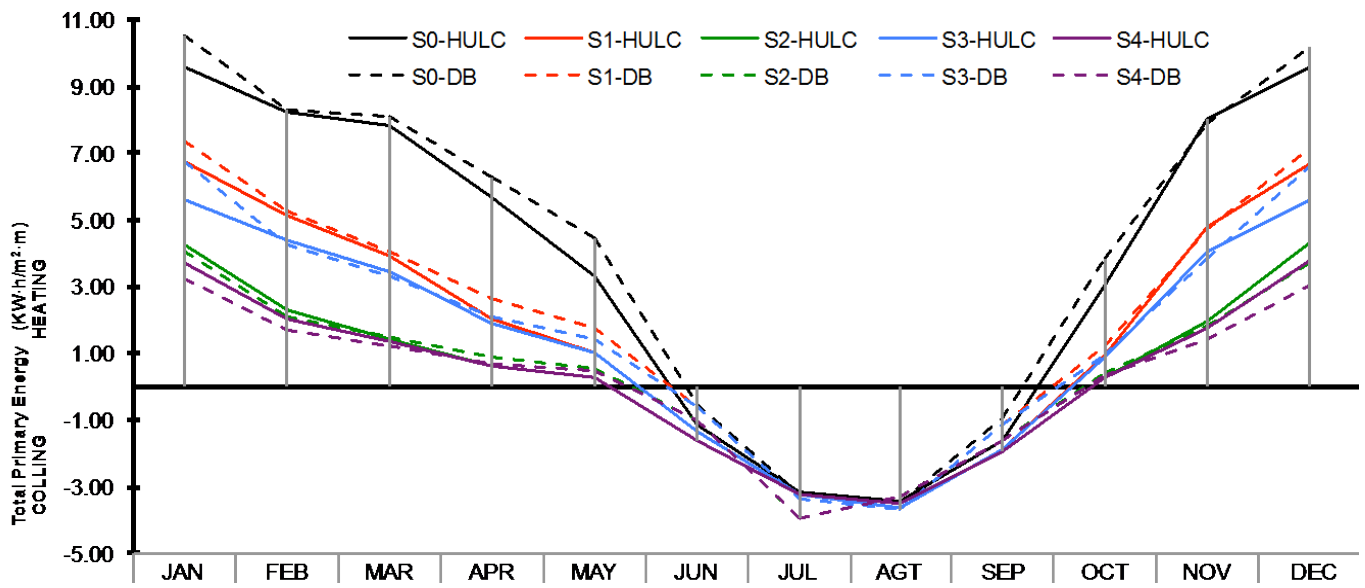
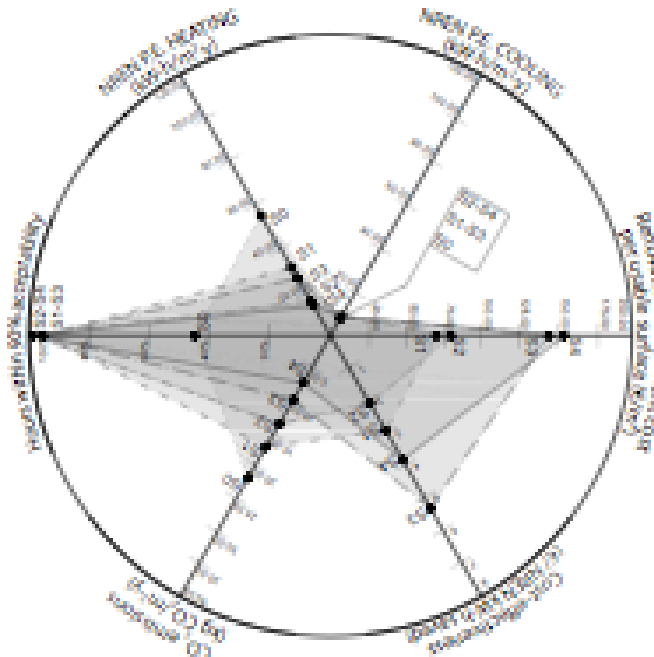


Figure 03. Total primary energy values (kWh/m² monthly) original scenario and improve scenarios: HULC and DesignBuilder software, own elaboration, 2020.

Figure 04. Summary of indicators analysed for the Girón Group: total NREN PE (heating and cooling), CO₂ emissions, renovation investment cost, euro/kWh saved and hours within 90% acceptability (comfort), own elaboration, 2020.



	E0	E1	E2	E3	E4
Total Primary Energy NREN (heating) (kWh/m ² ·y)	53.75	29.57	13.44	25.49	12.02
Total Primary Energy NREN (cooling) (kWh/m ² ·y)	7.52	5.19	5.42	5.19	5.42
Renovation investment cost per usable surface (€/m ²)	0.00	75.07	75.90	145.41	155.23
€/kWh saved	0.00	2.07	2.02	5.28	3.80
Hours within 90% acceptability	45.3%	99.4%	99.9%	99.4%	99.9%
CO ₂ emissions (kg CO ₂ /m ² ·y)	21.80	16.80	13.23	9.59	6.77

Girón case study

4. Conclusions

Ante la rehabilitación energética de un bloque de viviendas construido en el año 1957 se plantea la combinación de dos posibles actuaciones de mejora en la fachada y en las instalaciones para reducir su consumo energético y en consecuencia las emisiones de CO₂:

- Mejorar la envolvente térmica, insuflando aislamiento en la cámara de aire, no consigue las exigencias mínimas de aislamiento térmico de la envolvente.
- Mejorar la envolvente térmica aislando por la cara exterior de la fachada, consigue las exigencias mínimas de aislamiento de la envolvente térmica y cumple con las exigencias mínimas establecidas por el CTE para una rehabilitación.
- Mejorar el rendimiento de las instalaciones de generación térmica. Esta mejora junto con la mejora de la envolvente térmica aislando por la cara exterior de la fachada cumple con las exigencias normativas para que una rehabilitación pueda ser considerada ECCN.

La combinación de estas tres estrategias genera cuatro escenarios de rehabilitación que se analizan mediante simulación energética en un edificio de vivienda social de Zaragoza, Grupo Girón. Para ello se cuantifican los indicadores de consumo de EP NREN, consumo de EP total, emisiones de CO₂, confort térmico y costo-efectividad de las medidas tomadas.

Los datos analizados muestran que la solución de aislamiento completo por la cara exterior de la fachada, es la solución que permite cumplir con las exigencias normativas españolas para rehabilitación, además de ser la solución más costo-efectiva.

Para conseguir una solución de rehabilitación y ser además ECCN es necesario, además de aislar la totalidad de la fachada por su cara exterior, mejorar el rendimiento de las instalaciones de generación térmica y aumentar el uso de energía renovable.

To achieve a building renovation and also be nZEB, it is necessary isolating the façade externally, improving the heating and cooling system and increasing the use of renewable energy.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Ministerio para la Transición Ecológica, Informe sintético de indicadores de eficiencia energética en España. Año 2017, IDAE, Ed., Madrid, 2019.
- [2] Ministerio de Fomento, Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España (2014), Ministerio de Fomento, Ed., Madrid, 2014.
- [3] http://pareer-res.idae.es/iday_estadistica_resumen_v_list.asp (accessed on May 20, 2020)
- [4] M. Monreal, Rehabilitación de viviendas para ahorrar energía. Guía para conseguir viviendas confortables y de bajo consumo, edition nº1, Fundación Centro de Recursos Ambientales de Navarra-CRANA, Navarra, 2020.
- [5] M. Monzón-Chavarrías, B. López-Mesa, Identificación y catalogación de los casos de estudio: los Conjuntos Urbanos de Interés de Zaragoza, in: Nuevos enfoques en la rehabilitación energética de la vivienda hacia la convergencia europea. La vivienda social en Zaragoza, 1939-1979, B. López-Mesa, Prensas de la Universidad de Zaragoza: Zaragoza, 2018, pp. 95–123. ISBN 978-84-17358-41-9.
- [6] F. Kurtz, M. Monzón, B. López-Mesa, Obsolescencia de la envolvente térmica y acústica de la vivienda social de la postguerra española en áreas urbanas vulnerables. El caso de Zaragoza, *Inf. la Construcción* 67 (2015), m021.
- [7] F. Kurtz, B. López-Mesa, Definición constructiva de los casos de estudio, in: Nuevos enfoques en la rehabilitación energética de la vivienda hacia la convergencia europea. La vivienda social en Zaragoza, 1939-1979, B. López-Mesa, Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2018, pp. 125–167. ISBN 978-84-17358-41-9.
- [8] M. Monzón, B. López-Mesa, Simplified model to determine the energy demand of existing buildings. Case study of social housing in Zaragoza, Spain, *Energy Build* (2017).
- [9] M. Monzón-Chavarrías, B. López-Mesa, Caracterización energética y acústica de las soluciones constructivas de la envolvente, in: Nuevos enfoques en la rehabilitación energética de la vivienda hacia la convergencia europea. La vivienda social en Zaragoza, 1939-1979, B. López-Mesa, Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2018, pp. 169–187. ISBN 978-84-17358-41-9.
- [10] M. Monzón, B. López-Mesa, Buildings performance indicators to prioritise multi-family housing renovations, *Sustain. Cities Soc.* 38 (2018).
- [11] B. López-Mesa, M. Monzón-Chavarrías, El desarrollo de indicadores de obsolescencia física más precisos para la definición de estrategias de rehabilitación de vivienda social, in: Nuevos enfoques en la rehabilitación energética de la vivienda hacia la convergencia europea. La vivienda social en Zaragoza, 1939-1979, B. López-Mesa, Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2018, pp. 243–265. ISBN 978-84-17358-41-9.
- [12] B. López-Mesa, M. Monzón-Chavarrías, A. Espinosa-Fernández, Energy retrofit of social housing with cultural value in Spain: analysis of strategies conserving the original image vs coordinating its modification, *Sustainability* 12 (2020) 5579
- [13] AICIA (Universidad de Sevilla), Escala de calificación energética. Edificios existentes, IDAE, Ed., Madrid, 2011.
- [14] AICIA (Universidad de Sevilla), HULC Available online: <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-recursos/menu-aplicaciones/282-herramienta-unificada-lider-calener.html>, (accessed on May 1, 2020)
- [15] Sol-Arq CONFADAPT-ASH55 Available online: <https://www.seiscubos.com/recursos/confadapt-ash55>, (accessed on May 15, 2020)
- [16] Design Builder Software Design Builder Available online: <https://designbuilder.co.uk/>, (accessed on May 1, 2020)
- [17] https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Otros%20documentos/Factores_emision_CO2.pdf (accessed on May 15, 2020)
- [18] G. Mustafaraj, D. Marini, A. Costa, M. Keane M, Model calibration for building energy efficiency simulation, *Appl. Energy*, 130 (2014) 72–85.
- [19] CYPE Ingenieros CYPE generador de precios. España Available online: <http://www.generadordeprecios.info/>, (accessed on May 15, 2020)
- [20] Capacity4dev Cost-effectiveness analysis Available online: https://europa.eu/capacity4dev/evaluation_guidelines/wiki/cost-effectiveness-analysis-0 (accessed on May 23, 2020)

Local REGEN, Multi-criteria methodology for the evaluation of local renovation strategies of housing

LocalREGEN, Metodología multi-criterio para la evaluación de estrategias locales de rehabilitación de la vivienda

Xabat Oregi¹, Belinda López², Rufino Javier Hernández¹, Olatz Grijalba¹

ABSTRACT

The Energy performance of buildings directive (EPBD) and the Energy efficiency directive (EED) recommend EU countries to use measurable progress indicators to monitor the impact of the national buildings renovation strategies on the gradual decarbonisation of the national building stocks. In Spain, the implementation of housing renovation strategies is delegated to local Administrations, and therefore it is at this level where the measurement of the impact should start. Furthermore, the effectiveness of the local strategies and action plans do not only depend on energy-efficiency or building performance matters, but also on socioeconomic and management-related issues. In recent years, multi-criteria assessment (MC) systems and life cycle perspective methods have included this comprehensive view in the assessment. The combination of these two methods should have great potential for the objectives pursued and would constitute an interesting scientific advance.

This communication presents the Local-REGEN (Multi-criteria methodology for the evaluation of local renovation strategies of housing from the perspective of Life Cycle thinking) Project funded by the Ministry of Spain within the program "R+D+i Projects" 2019 - Modalities "Research Challenges" and "Knowledge Generation". The main objective of this coordinated project developed between the University of the Basque Country and the University of Zaragoza is to define methodology for the assessment of the impact of the local strategies for housing renovation, based on progress indicators that are broad enough to encompass the specificities of different territories of Spain. The local strategies of two Autonomous Communities will be used as case studies, the Basque Country and Aragón. Each subproject will work with their local Administrations. The methods and tasks will be coordinated and the results will be shared, both among the subprojects and with the entities that are working on updating the strategy at the national level, to progress in a common framework of indicators and a multi-criteria methodology for the evaluation of local strategies for housing rehabilitation under the Life Cycle perspective.

The selection of indicators will be done, on a case by case basis, in collaboration with each of the local Administrations. However, we already know from previous studies and collaborations that the indicators should deal at least with (i) the estimation of the deep renovation rate, (ii) the public subsidy, (iii) the renovation costs, (iii) the generation of employment, (iv) the environmental benefits of the energy retrofit, (v) and the monitoring of mechanisms for enhancing neighbours implication and overcoming the financial barriers, such as occupants health improvement and urban revitalisation. The two last issues (iv and v) represent the highest uncertainty for Administrations, financial institutions and investors, and the main scientific challenge for the project.

Key Words: Energy retrofit, progress indicators, local strategies, housing, decarbonisation

(1) CAVIAR Research Group, Department of Architecture, UPV/EHU, xabat.oregi@ehu.eus (2) Department of Architecture, University of Zaragoza.

1. Introducción

Según la Comisión Europea [1] “el 40% del consumo de energía y del 36% de las emisiones de CO₂ en la UE, corresponde a los edificios, lo que los convierte en el mayor consumidor de energía de Europa”. La mayoría de los edificios actuales seguirán en uso en las próximas décadas y necesitarán ser renovados. Sin embargo, se estima que sólo el 0,4-1,2% del parque de edificios se renueva cada año [1]. La UE fomenta la renovación de los edificios por que puede desempeñar un papel importante en la transición a la energía limpia y, también, porque los beneficios económicos, sociales y medioambientales pueden contribuir a mejorar la salud, el confort y el bienestar de sus residentes, ayudar a los hogares a escapar de la pobreza energética y estimular la economía.

Para fomentar la eficiencia energética de los edificios, la UE estableció un marco legislativo que incluye la Directiva relativa a la eficiencia energética de los edificios (DEEE) (2010/31/UE) y la Directiva relativa a la eficiencia energética (DEEE) (2012/27/UE), recientemente modificada por la DEEE (UE) 2018/844.

En respuesta a las directivas EPBD y EED, a partir de 2014, los países de la UE deben presentar estrategias de renovación a largo plazo (LTRS) que fomenten las inversiones en la renovación de edificios cada tres años. Estas estrategias serán una parte fundamental de los planes nacionales integrados de energía y clima (PNE) de los países de la UE, que deben presentarse cada 10 años.

España presentó su primera “Estrategia a largo plazo para la renovación de la energía en el sector de la construcción en España” [2] en 2014 (LTRS-2014) y su actualización de 2017 [3] (LTRS-2017), proporcionando directrices útiles para ser consideradas en futuros programas de renovación. Además, se está preparando una nueva actualización que se presentará en 2020. Por esta razón, los municipios están hoy en día en el proceso de definir sus estrategias locales. Estas deberían estar alineadas con la nacional, que a su vez está alineada con las directivas de la UE.

El LTRS-2014 presentado por España obtuvo una evaluación muy alta de Europa. Sin embargo, su aplicación sigue siendo un desafío. La tasa de renovación profunda en España en 2014 fue una de las más bajas de Europa, con un 0,08% del parque de edificios [4]. Con esta tasa podríamos conseguir renovar todo el parque existente en 1.250 años. Esta estimación difiere significativamente de la de otros países vecinos como Francia, que, con una tasa del 1,75% [4], lograría este objetivo en menos de 58 años.

El último informe que analiza el problema de la generalización de la renovación del parque residencial en España [5] propone un nuevo modelo de políticas públicas para la promoción de la renovación del parque residencial que tiene como base el municí-

1. Introduction

According to the European Commission [1] “Buildings are responsible for 40% of energy consumption and 36% of CO₂ emissions in the EU, making them the single largest energy consumer in Europe”. Most of the current building stock will remain in use in the next decades, and will need to be renovated. However, it is estimated that only 0.4-1.2% of the building stock is renovated each year [1]. The renovation of buildings is encouraged by the EU because it can play an important role in the clean energy transition, and also because it can create economic, social and environmental benefits, it contributes to an improved health, comfort and wellbeing of their residents, it helps households escape energy poverty, and it stimulates the economy.

To encourage the energy performance of buildings the EU established a legislative framework that includes the Energy performance of buildings directive (EPBD) (2010/31/EU) and the Energy efficiency directive (EED) (2012/27/EU), which have recently been amended by the EPBD (EU) 2018/844.

In response to the EPBD and EED directives, EU countries must submit long-term renovation strategies (LTRS) that foster investments in the renovation of buildings every three years since 2014. These strategies will form a key part of EU countries’ integrated national energy and climate plans (NECPs), which have to be submitted every 10 years.

Spain submitted its first “Long-term strategy for energy renovation in the building sector in Spain” [2] in 2014 (LTRS-2014) and its 2017 update [3] (LTRS-2017) providing useful guidelines to be considered in future renovation programs. In addition, is preparing a new update to be submitted in 2020. For this reason, Municipalities are nowadays in the process of defining their local strategies. They should be aligned with the national one, which is at the same time aligned with the EU directives.

The LTRS-2014 submitted by Spain got a very high evaluation from Europe. However, its implementation remains a challenge. Deep renovation rate in Spain in 2014 was among the smallest in Europe, with a 0.08% of the building stock [4]. With this rate we could get the entire existing park renovated in 1,250 years. This estimate differs significantly from that of other neighbouring countries such as France, which, at a rate of 1.75% [4], would achieve this objective in less than 58 years.

The most recent report that analyses the problem of the generalization of the residential stock renovation in Spain [5] proposes a new model of public policies for the promotion of the renovation of the residential stock that has the Municipality as a base. Municipalities should define local strategies aligned with Spain’s LTRS, which is at the same time aligned with

pio. Los municipios deben definir estrategias locales alineadas con la LTRS de España, que a su vez está alineada con las Directivas Europeas. Los municipios y los gobiernos regionales están definiendo hoy en día sus estrategias locales.

En esta comunicación se presenta el Proyecto LOCAL REGEN financiado por el ministerio de España dentro del programa «Proyectos I+D+i» 2019 - Modalidades «Retos Investigación» y «Generación de Conocimiento». El principal objetivo de este proyecto coordinado desarrollado entre la Universidad del País Vasco y la Universidad de Zaragoza es definir una metodología para la evaluación del impacto de las estrategias locales de renovación de viviendas, basada en indicadores de progreso lo suficientemente amplios como para abarcar las especificidades de los diferentes territorios de España.

2. Justificación del proyecto

Las directivas EPBD y EED recomiendan a los países de la UE que utilicen indicadores de progreso cuantificables para supervisar la descarbonización gradual real del parque edificado de nacional. Este proyecto propone la definición de una metodología para apoyar a los municipios en la evaluación y el seguimiento de sus estrategias locales para la renovación del parque residencial mediante indicadores. Se utilizarán como casos de estudio las estrategias locales de dos Comunidades Autónomas: Aragón y el País Vasco. Sus municipios pertenecen a zonas climáticas diferentes (C1, D1, D2 y D3, en su mayor parte) y, a su vez, presentan cierta diversidad en las características de los edificios residenciales y las políticas de vivienda. Ambos territorios han sido pioneros en España. En Zaragoza se ha impulsado la renovación del parque residencial a través de políticas para la mejora de la eficiencia energética, la accesibilidad y la habitabilidad del entorno urbano del parque residencial de más de 40 años de antigüedad. En el País Vasco la política de renovación se ha mantenido a lo largo del tiempo, poniendo el énfasis en la renovación de las zonas vulnerables y un modelo financiero que va más allá de la subvención pública, logrando así el mayor ratio de casas renovadas por subvención pública de España.

El trabajo coordinado en estas dos Comunidades Autónomas permitirá, no sólo considerar la alineación de arriba a abajo entre las estrategias europeas-nacionales y locales, sino también estudiar transversalmente el uso de indicadores para apoyar la evaluación del impacto de las estrategias locales. De esta manera, se podrá identificar un conjunto común de indicadores básicos de progreso y definir indicadores específicos para comprender mejor los retos particulares y la evolución del parque de viviendas de cada territorio y sus políticas públicas.

the European Directives. Municipalities and Regional Governments are nowadays defining their local strategies.

This communication presents the LOCAL REGEN Project funded by the Ministry of Spain within the program "R+D+i Projects" 2019 - Modalities "Research Challenges" and "Knowledge Generation". The main objective of this coordinated project developed between the University of the Basque Country and the University of Zaragoza is to define methodology for the assessment of the impact of the local strategies for housing renovation, based on progress indicators that are broad enough to encompass the specificities of different territories of Spain.

2. Justification of the project

The EPBD and EED directives recommend EU countries to use measurable progress indicators to monitor the actual gradual decarbonisation of the national building stocks. This project proposes the definition of a methodology to support Municipalities in the evaluation and monitoring of their local strategies for the renovation of the residential stock by means of indicators. The local strategies from two Autonomous Communities will be used as case studies: Aragón and the Basque Country. Their municipalities belong to different climate zones (C1, D1, D2, and D3, for the most part), present different housing characteristics, and have different housing policies. Both territories have been pioneers in Spain. In Zaragoza, the renovation of the residential park has been promoted through policies for the improvement of the energy efficiency, the accessibility and the habitability of the urban surroundings of the residential stock ageing more than 40 years. In the Basque Country, the renovation policy has been maintained over time, placing emphasis on the renovation of vulnerable areas and a financial model that goes beyond public subsidy, resulting with the highest ratio of renovated houses to public subsidy of Spain.

The work on these two Autonomous Communities by means of the coordination of two subprojects will allow not only to consider the top-down alignment between the European-national-and local strategies, but also to transversally study the use of indicators to support the evaluation of the impact of local strategies so that a common set of basic progress indicators can be identified and specific indicators can be defined to better understand the particular challenges and evolution of the housing stocks of each territory and its public policies.

3. State of the art and starting hypothesis

This section describes the state of the art of the two most relevant points of this proposal: the Municipal strategies and the methodologies to evaluate renovation strategies.

3. Estado del arte e hipótesis de partida

Esta sección describe el estado del arte de los dos puntos más relevantes de esta propuesta: las estrategias municipales y las metodologías para evaluar las estrategias de renovación.

3.1. Estado del arte de las estrategias municipales para la renovación del parque residencial

En España, las competencias en materia de vivienda se delegan en gran medida en las autoridades locales. Por ejemplo, en 2015, el 69% del presupuesto total de la vivienda (1.310 millones de euros) corresponde al conjunto de las Comunidades Autónomas, y el 31% restante al Estado [6].

En un reciente informe se estudió la aplicación de las políticas públicas de fomento de la renovación del parque residencial en las distintas Comunidades Autónomas de España, incluyendo las políticas y planes tanto del Gobierno Autonómico como de los Municipios [7]. Los autores concluyeron que existe una ausencia de estrategias globales con una hoja de ruta asociada y recursos disponibles para alcanzar los objetivos fijados por las directivas europeas. Las barreras en España para hacer de la renovación de la vivienda una práctica generalizada no son de naturaleza tecnológica, sino social, económica y política. Por esta razón, las soluciones deben abarcar simultáneamente estos aspectos. Este informe señala que las cuatro primeras barreras principales son, en el siguiente orden:

1. Información insuficiente.
2. Situación económica de los residentes.
3. Concienciación de los usuarios.
4. Escasez de financiación, mal articulada con los procesos de renovación, y poco accesible para el usuario final.

De todas estas barreras, la primera (la falta de información) es especialmente relevante ya que dificulta a la Administración saber dónde y cómo intervenir, y repercute directamente en las otras tres barreras.

Como sugiere el Building Performance Institute Europe [8], la primera fase de la elaboración de una estrategia de renovación de edificios consiste en identificar a los agentes pertinentes y disponer de información sobre el parque de edificios. Por lo tanto, los diferentes interesados -principalmente los municipios, pero también los propietarios, las empresas de construcción, las instituciones financieras y los servicios energéticos- deben disponer de información de calidad que les permita identificar las posibles esferas de intervención, que deben incluir la

3.1. State of the art of the Municipal strategies for the renovation of the residential stock

In Spain the housing competencies are delegated to the local authorities to a significant extent. For instance, in 2015, 69% of the total housing budget (1,310 million euros) corresponded to the Autonomous Communities as a whole, and the remaining 31% to the State [6].

A recent report studied the implementation of the public policies for the promotion of the renovation of the residential stock in the different Autonomous Communities in Spain, including the policies and plans of both the Autonomic Government and the Municipalities [7]. The authors concluded that there is an absence of global strategies with an associated roadmap and resources available to achieve the goals set by European Directives. The barriers in Spain to make housing renovation a widespread practice are not of technological nature, but of social, economic, and political nature. For this reason, the solutions must simultaneously encompass these aspects. This report points out that the four first main barriers are, in the following order:

1. Insufficient information.
2. Economic situation of residents.
3. Users' awareness.
4. Scarcity of financing, poorly articulated with the renovation processes, and not very accessible to the end user.

From all of these barriers, the first one (lack of information) is particularly relevant since it makes difficult for the Administration to know where to intervene and how, and it has a direct impact on the other three barriers.

As the Buildings Performance Institute Europe suggests [8], the first phase in the development of a building renovation strategy consists of identifying the relevant actors and having information about the building stock. Therefore, the different stakeholders (mainly municipalities, but also owners, construction companies, financial institutions, and energy services) should have quality information that enables them to identify potential areas of intervention which should include habitability and energy-related, socio-economic, and architectural and urban aspects. Once a strategy development has gone through all the phases (technical and economic appraisal, policy appraisal, public consultations and delivery), it needs to be implemented through specific plans.

When the plans are implemented, it is important to monitor over time their impacts by means of indica-

habitabilidad y los aspectos energéticos, socioeconómicos y arquitectónicos y urbanos. Una vez que el desarrollo de una estrategia ha pasado por todas las fases (evaluación técnica y económica, evaluación de políticas, consultas públicas y ejecución), es necesario implementarla a través de planes específicos.

Cuando se ejecuten los planes, es importante vigilar a lo largo del tiempo sus repercusiones mediante indicadores [9]. Esta vigilancia requiere tener acceso continuo a los datos, a fin de comparar la evolución de los indicadores y, de esa manera, evaluar la eficacia de las medidas a lo largo del tiempo.

3.2. Estado del arte de las metodologías para la evaluación de las estrategias de renovación de viviendas

Con el fin de promover la mejora de la eficiencia energética de los edificios y evaluar aspectos como la definición de estrategias de optimización de costos o la reducción de la pobreza energética, en los últimos años se han desarrollado y aplicado diferentes sistemas o metodologías de evaluación. Entre estos métodos, cabe destacar dos líneas de trabajo o principales metodologías de evaluación.

Por un lado, están los sistemas de evaluación de criterios múltiples (MC), cuyo principal objetivo es proporcionar una evaluación completa de la sostenibilidad de la renovación propuesta que permita a los promotores que se esfuerzan por mejorar el rendimiento obtener una base objetiva para calcular sus esfuerzos [10]. Aunque cada sistema de MC considere diferentes indicadores, la estructura general y la filosofía de trabajo de la mayoría de ellos resulta ser similar. Utilizando diferentes sistemas de cálculo, cada sistema MC determina un rango de puntuación para cada indicador evaluado y una vez que se obtiene la puntuación, por la suma de puntos o por un sistema de ponderación, el usuario final obtiene la puntuación o calificación final para el edificio renovado. Sin embargo, se pueden obtener diferentes resultados para la misma estrategia de renovación energética dependiendo del sistema de MC aplicado, debido a que cada sistema de evaluación considera diferentes parámetros o debido a la falta de estandarización de los criterios de evaluación [11].

Por otro lado, existe la metodología de la perspectiva de ciclo de vida, cuyo principal objetivo comenzó siendo la evaluación del rendimiento ambiental de los procesos o productos con indicadores cuantificables basados en resultados científicos. Esta metodología evalúa todas las etapas del ciclo de vida de un sistema, proceso o producto. Para el sector de la construcción, normas como la 15978:2011 [12] definen los criterios para evaluar el comportamiento ambiental de los edificios con un enfoque de ciclo de vida. Durante la última década, la perspectiva de ciclo de vida ha evolucionado hacia una consideración más amplia de las cuestiones de sostenibilidad,

tors [9]. This monitoring requires to have continuous access to the data, in order to compare the evolution of indicators and, in this way, assess the effectiveness of the measures over time.

3.2. State of the art of methodologies for the assessment of housing renovation strategies

With the purpose of promoting improvement of the energy efficiency of the building stock and evaluating aspects such as the definition of cost-optimal strategies or reduction of the energy poverty, different systems or evaluation methodologies have been developed and implemented in recent years. Among these methods, two lines of work or main evaluation methodologies might be highlighted.

On the one hand, there are the Multi-Criteria (MC) evaluation systems, whose main objective is to provide a comprehensive assessment of the sustainability of the proposed renovation that allows developers striving for improved performance to gain an objective basis for calculating their efforts [10]. Even if each MC system considers different indicators, the general structure and working philosophy of most of them turns out to be similar. Using different calculation systems, each MC system determines a score range for each evaluated indicator and once the score is obtained, by the sum of points or by a weighting system, the end user gets the final score or rating for the renovated building. However, depending on the MC system applied, due to the fact that each evaluation system looks at different parameters or due to the lack of standardization of the assessment criteria, different outcomes may be obtained for the same energy renovation strategy [11].

On the other hand, there is the methodology of life-cycle thinking, whose main objective started being to assess the environmental performance of processes or products with measurable indicators based on scientific results. This methodology evaluates all stages of the life-cycle of a system, process or product, such as a building. For the building sector, standards such as 15978:2011 [12] define the criteria to assess the environmental behaviour of buildings with a life cycle approach. Life-cycle thinking has been moving towards a broader consideration of sustainability issues for the last decade, including not only environmental aspects but also economic (EN 16627 [13]) and social.(EN 16309 [14]). It should be noted that more and more studies apply the life cycle methodology to assess the impact of their buildings and prioritize among different renovation strategies [15]. In addition, some regulations are starting to consider the life-cycle methodology into their building energy performance certification processes.

The strengths and weaknesses of each of these two approaches are presented in the following table (see Table 1). This project will propose a set of progress

	Multi-criteria (MC)	Life-cycle assessment (LCA)
Strengths	_Provides a global vision when assessing different renovation strategies	_The standardization of the assessment avoids duplication, eliminates weighting schemes and facilitates the process of optimizing the impact of each life-cycle stage.
		_Identifies opportunities to improve the environmental, economic and social impacts during all life cycle stages avoiding a partial evaluation.
Weaknesses	_There is no general agreement regarding indicators to be used, and the way those are given a certain value and weighted and aggregated through the score system.	_The evaluation of each of the stages of the building life-cycle implies extensive workload.
		_The vast majority of experts in the construction sector are reluctant to the use of this methodology, being its use limited to research studies.
	_Many of the scoring requirements are interrelated, creating problems of "double counting".	_Not all scales are considered. _Environmental indicators are more developed than economic or social.

Table 01.

Strengths and weaknesses of multi-criteria and life-cycle assessment methodologies.

incluyendo no sólo los aspectos ambientales sino también económicos (EN 16627 [13]) y sociales (EN 16309 [14]). Cabe señalar que cada vez más estudios aplican la metodología del ciclo de vida para evaluar el impacto de sus edificios y establecer prioridades entre las diferentes estrategias de renovación [15]. Además, algunos reglamentos están empezando a considerar la metodología del ciclo de vida en sus procesos de certificación de la eficiencia energética de los edificios.

Los puntos fuertes y débiles de cada uno de estos dos enfoques se presentan en el siguiente cuadro (ver Tabla 1). Este proyecto propondrá un conjunto de indicadores de progreso para la evaluación y valoración del avance de la renovación del parque de viviendas desde la perspectiva del ciclo de vida. Esto permitirá la identificación de oportunidades para mejorar las estrategias de renovación, mediante la definición de indicadores cuantificables basados en resultados científicos, pero con la perspectiva integral propia de los sistemas de MC, incluyendo aspectos de escala múltiple (ciudad, barrio, edificio) y multicriterio (físico, ambiental y socioeconómico) de los procesos de renovación de viviendas.

3.3. Hipótesis de partida

Las hipótesis de partida de este proyecto pueden resumirse de la siguiente manera:

- Las estrategias locales de renovación deberían estar alineadas con el LTRS nacional y éstas con las directivas EPBD y EED, como se sugiere en el último informe del grupo GTR [5].
- Se necesitan indicadores de progreso cuantificables para supervisar la descarbonización gradual real de las reservas nacionales de edificios, como se recomienda en las directivas EPBD y EED.
- Se puede definir un conjunto de indicadores de progreso para la evaluación de las estrategias locales y la evaluación del avance de la renovación

indicadores for the evaluation and assessment of the advancement of the housing stock renovation from a life cycle perspective, allowing the identification of opportunities to improve the renovation strategies, by means of the definition of measurable indicators based on scientific results, but with a comprehensive perspective, as such of the MC systems, including multi-scale (city, neighbourhood, building) and multi-criteria (physical, environmental, and socio-economic) aspects of the housing renovation processes.

3.3. Starting hypotheses

The starting hypotheses of this project can be summarised as follows:

- Local renovation strategies should be aligned with national LTRS, and these ones with the EPBD and EED directives, as suggested in the last report by the of GTR group [5].
- Measurable progress indicators are required to monitor the actual gradual decarbonisation of the national building stocks, as recommended by the EPBD and EED directives.
- A set of progress indicators can be defined for the evaluation of local strategies and assessment of the advancement of the housing stock renovation, from a life cycle perspective, allowing the identification of opportunities to improve the renovation strategies, by means of the definition of measurable indicators based on scientific results, that have a comprehensive perspective, as such of the MC systems, including multi-scale aspects of the housing renovation processes.
- A coordinated work between different local Administrations will allow not only to consider the top-down alignment between the European-national-and local strategies, but also to transversally study the use of indicators to support the evaluation and monitoring of local strategies so that a common set of basic progress moni-

del parque de viviendas, desde una perspectiva de ciclo de vida, que permita la identificación de oportunidades para mejorar las estrategias de renovación, mediante la definición de indicadores mensurables basados en resultados científicos, que tengan una perspectiva integral, como tal, de los sistemas de MC, incluidos los aspectos de escala múltiple de los procesos de renovación de viviendas.

- Un trabajo coordinado entre las diferentes Administraciones locales permitirá no sólo considerar la alineación top-down entre las estrategias europeas-nacionales y locales, sino también estudiar transversalmente el uso de indicadores de apoyo a la evaluación y seguimiento de las estrategias locales, de manera que se pueda identificar un conjunto común de indicadores básicos de seguimiento de los progresos y definir indicadores específicos para comprender mejor los retos particulares y la evolución de las existencias de viviendas de cada territorio y sus políticas públicas.

4. Objetivos generales del proyecto y plan de trabajo

El objetivo principal de este proyecto LocalREGEN es definir una metodología multicriterio con una perspectiva de ciclo de vida para la evaluación y valoración del progreso de las estrategias locales de renovación de viviendas, basada en indicadores de progreso lo suficientemente amplios como para abarcar las especificidades de los diferentes territorios de España (ver Figura 1).

La perspectiva multicriterio implica que la evaluación y seguimiento incluirá los aspectos físicos, ambientales y socioeconómicos de los procesos de renovación de viviendas, a diferentes escalas, como la ciudad, el barrio o el edificio. El enfoque basado en el ciclo de vida implica que se basará en la utilización de indicadores cuantitativos basados en resultados científicos, lo que permitirá determinar las oportunidades de mejorar las estrategias de renovación.

Los retos que deben afrontar cada una de las administraciones locales son diferentes entre sí. Difieren por las características del parque residencial (año de construcción, tipología del edificio, tipología de la construcción, etc.), las características de sus habitantes (perfil socioeconómico, forma de tenencia, etc.), la zona climática, el contexto urbano o las políticas de vivienda, entre otros. Esto implica que necesitarán gran variedad de indicadores para evaluar su progreso. Sin embargo, al mismo tiempo, es aconsejable que algunos indicadores sean comunes para todas las Administraciones locales para que el progreso hacia la descarbonización del parque residencial se pueda resumir a nivel nacional y europeo. Por lo tanto, podemos decir que uno de los objetivos generales de este proyecto coordinado es defi-

ning indicators can be identified and specific indicators can be defined to better understand the particular challenges and evolution of the housing stocks of each territory and its public policies.

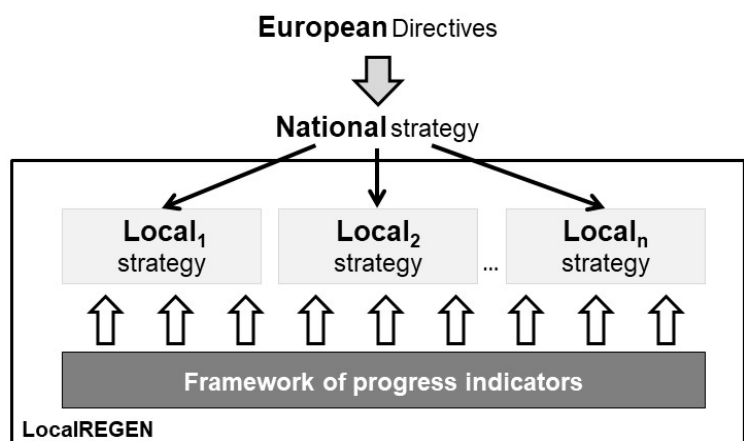
4. General objectives of the project and the methodology work plan

The main objective of this LocalREGEN project is to define a multi-criteria methodology with a life cycle thinking perspective for the evaluation and assessment of the progress of the local strategies for housing renovation, based on progress indicators that are broad enough to encompass the specificities of different territories of Spain (see Figure 1).

The multi-criteria perspective implies that the monitoring assessment will include physical, environmental, and socio-economic aspects of the housing renovation processes, at different scales, such as city, neighbourhood, or building. The life cycle thinking approach implies that it will be based on the use of quantitative indicators based on scientific results, allowing the identification of opportunities to improve the renovation strategies.

The challenges that different local Administrations have to deal with differ from one another. These differences are due to the characteristics of the residential stocks (year of construction, building typology, construction typology, etc.), the characteristics of their inhabitants (socioeconomic profile, tenure form, etc.), the climate zone, the urban context, or the housing policies, among others. These differences imply that they will need different indicators to assess their progress, but at the same time it is advisable that some indicators are common for all the local Administrations so that the progress towards the decarbonisation of the residential stock can be summed up at the national and European levels. Therefore, we can say that one of the general objectives of this coordinated project is to define a common basis for the basic progress indicators of different local administrations and to propose a set of indicators broad enough to encompass the specificities of different territories of Spain.

Figure 01. Main purpose of the LocalREGEN research project.



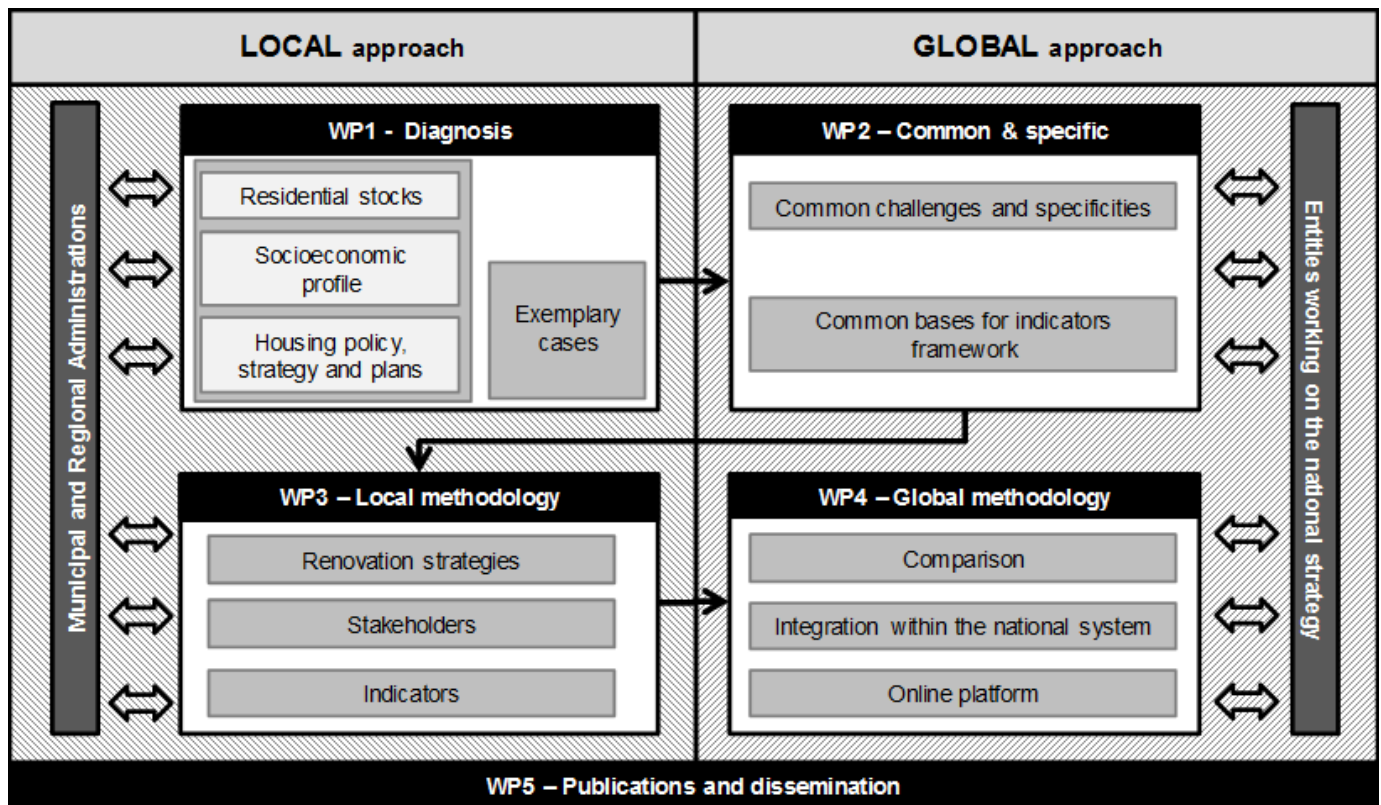


Figure 02.
Scheme of the LocalREGEN
work plan.

nir una base común para los indicadores básicos de progreso de las diferentes administraciones locales y proponer un conjunto de indicadores lo suficientemente amplio como para abarcar las especificidades de los diferentes territorios de España.

La figura 2 recoge los grupos de trabajo (GT) y las tareas a desarrollar durante el proyecto LocalREGEN y refleja la forma coordinada de trabajo entre los dos subproyectos y la colaboración con las Administraciones locales y con las Entidades que trabajan con la estrategia nacional.

WP1. Diagnóstico de los parques residenciales locales y estrategias de renovación

El objetivo de esta primera fase será recoger información que permita obtener una visión global sobre las características de los edificios residenciales de las dos Comunidades Autónomas, sobre el perfil socioeconómico de los usuarios y sobre la evolución de la política, las estrategias y los planes de vivienda. Además, se recogerá información sobre casos ejemplares de rehabilitación de vivienda. Toda esta información permitirá comprender mejor el problema de la renovación de vivienda en Aragón, el País Vasco y otros lugares de Europa.

WP2. Identificación de las bases comunes para los dos subproyectos y las especificidades

El objetivo de este paquete de trabajo es comparar los resultados del WP1 y explorar cuáles son los

The following Figure 2 collects the work packages (WP) and tasks to be developed during the present LocalREGEN project and reflects the coordinated way of working between the two subprojects and the collaboration with local Administrations and with Entities working with the national strategy.

WP1. Diagnosis of the local residential stocks and renovation strategies

The objective of this first phase will be to collect information that allows obtaining a global vision about the characteristics of the residential buildings in the two Autonomous Communities, about the socio-economic profile of the users and about the evolution of the housing policy, strategies and plans. Additionally, information about exemplary housing renovation cases will be gathered. All this information will allow to get a clearer understanding of the problem of housing renovation in Aragón, the Basque Country and other European places.

WP2. Identification of common bases for the two sub-projects and specificities

The objective of this work package is to share the results of WP1 and to explore what are the common aspects of housing renovation in in Aragón and the Basque Country and what is specific in each of these two Autonomous Communities. Additionally, the common bases to start the definition of the indicators will be established.

aspectos comunes de la renovación de viviendas en Aragón y el País Vasco y lo que es específico en cada una de estas dos Comunidades Autónomas. Además, se establecerán las bases comunes para iniciar la definición de los indicadores.

WP 3: Metodologías locales multicriterio con una perspectiva de ciclo de vida para monitorear el progreso hacia la descarbonización de las reservas residenciales

En este tercer paquete de trabajo los dos subproyectos definirán y desarrollarán individualmente los indicadores de progreso en colaboración con sus administraciones locales en Aragón y el País Vasco, respectivamente. Para ello, se llevarán a cabo tres grupos de tareas: Identificación de las estrategias de renovación que se van a evaluar; Selección de los interesados que participarán en la elaboración de las estrategias locales; y Definición, desarrollo y validación de los indicadores que se utilizarán para evaluar cada estrategia de renovación

WP4. Metodología global multicriterio con una perspectiva de ciclo de vida para monitorizar el progreso hacia la descarbonización del parque residencial

En este cuarto paquete de trabajo los dos subproyectos juntos definirán el marco de indicadores, estudiarán su replicabilidad en otras Comunidades Autónomas, analizarán la posible integración de estas nuevas metodologías en el sistema nacional de evaluación y difundirán los resultados en una plataforma en línea.

Los indicadores se clasificarán según el esquema de RSP (del inglés Pressure-State-Response) [16]. Una selección de indicadores se probará en otras Administraciones locales (en Madrid o Alicante) para comprobar si la metodología es también aplicable a otras Comunidades Autónomas, o si debe ser adaptada. Los indicadores seleccionados serán los incluidos en el conjunto mínimo de indicadores y se les añadirán otros que sean elegidos por las Administraciones locales de Madrid y Alicante junto con los durante los 2 subproyectos del País Vasco y Aragón.

WP5. Publicaciones y difusión de resultados

En este paquete de trabajo final los dos subproyectos publicarán y presentarán sus resultados, y transferirán los conocimientos finales a las Administraciones locales, conjuntamente o de forma individual.

5. Conclusiones

La metodología generada en este proyecto coordinado y el conocimiento sobre las estrategias de rehabilitación de la vivienda de las ciudades de Aragón y del País Vasco utilizadas como casos de estudio permitirán realizar el seguimiento de la descarboniza-

WP 3: Local multi-criteria methodologies with a life cycle perspective to monitor progress towards the decarbonisation of the residential stocks

In this third work package the two subprojects will individually define and develop progress indicators in collaboration with their local Administrations in Aragón and the Basque Country, respectively. To this end, three groups of tasks will be carried out: Identification of the renovation strategies to be evaluated; Selection of stakeholders involved in the local strategies development; and Definition, development and validation of the indicators that will be used to evaluate each renovation strategy

WP4. Global multi-criteria methodology with a life cycle perspective to monitor progress towards the decarbonisation of the residential stocks

In this fourth work package the two subprojects together will define the indicators framework, will study its replicability in other Autonomous Communities, will analyse the potential integration of these new methodologies within the national system of assessment, and will disseminate the results in an online platform.

The indicators will be classified following the PSR scheme (from the English Pressure-State-Response) [16]. A selection of indicators will be tested in other local Administrations (in Madrid or Alicante) to check whether the methodology is also applicable to other Autonomous Communities, or it must be adapted. The indicators selected will be those included in the minimum set of indicators plus others that are chosen by the local Administrations of Madrid and Alicante together with the subprojects groups.

WP5. Publications and Dissemination of results

In this final work package the two subprojects, sometimes individually and others together, will publish and present their results, and will transfer the final knowledge to the local Administrations.

5. Conclusions

The methodology developed in this coordinated project and the knowledge about the housing rehabilitation strategies in the cities of Aragón and the Basque Country used as case studies will allow the monitoring of the decarbonization of the residential building stock in these communities and to establish an evaluation and monitoring model that can be used by other local administrations. This will make it easier for Spain to measure the total progress of the decarbonization of its residential stock in the future, through the aggregation of data from all the cities, allowing greater control over the achievement

ción del parque residencial de dichas comunidades y establecer un modelo de evaluación y seguimiento que podrá ser utilizado por otras administraciones locales. Esto facilitará que España pueda medir el progreso total de la descarbonización de su parque residencial en el futuro, a través de la agregación de los datos del conjunto de las ciudades, permitiendo tener un mayor control sobre la consecución de los ambiciosos objetivos de reducción energética y de emisiones fijados para 2020, 2030, 2040 y 2050. Asimismo, el desarrollo de una propuesta de indicadores tanto de índole física como socioeconómica, contribuirá a construir el camino en España hacia la Regeneración Urbana Integrada, promoviendo la reducción de la degradación de zonas urbanas, el desempleo, la pobreza energética, la dependencia asociada al envejecimiento y la exclusión social.

Agradecimientos

La mayor parte del trabajo que se presenta en este artículo se incluyen en la investigación realizada dentro del proyecto "Metodología multi-criterio para la evaluación de las estrategias locales de rehabilitación de viviendas desde la perspectiva del pensamiento de ciclo de vida (LocalREGEN)", que ha recibido financiación del Ministerio de España dentro del programa «Proyectos I+D+i» 2019 - Modalidades «Retos Investigación» y «Generación de Conocimiento» (RETOS 2019) en el marco del convenio de subvención PID2019-104871RB-C22.

of the ambitious energy and emissions reduction targets set for 2020, 2030, 2040 and 2050. Likewise, the development of a proposal of indicators of both a physical and socio-economic nature will contribute to building the road in Spain towards Integrated Urban Regeneration, promoting the reduction of the degradation of urban areas, unemployment, energy poverty, dependence associated with aging and social exclusion.

Acknowledgements

Most of the work presented in this article is included in the research carried out within the project "Multi-criteria methodology for the evaluation of local renovation strategies of housing from the perspective of Life Cycle thinking (LocalREGEN)", which has received funding from the Spanish Government, "R&D Projects" 2019 Modalities "Research Challenges" and "Knowledge Generation" (RETOS 2019) under grant agreement PID2019-104871RB-C22.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] European Commission (published 31 July 2014, last update 26 August 2019) Energy performance of buildings Retrieved from: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>
- [2] ERESEE, 2014. Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España en desarrollo del artículo 4 de la Directiva 2012/27/UE. Ministerio de Fomento. Junio 2014.
- [3] ERESEE, 2017. Actualización de la Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España. Ministerio de Fomento. Junio 2017.
- [4] Zebra2020 - Data tool. Energy efficiency trends in buildings. Retrieved from: <http://www.zebra-monitoring.enerdata.eu/>
- [5] Casanovas X., Cuchí A., Mas Herrero J., Rubio del Val J., 2018. Informe GTR 2018. Por un cambio en las políticas públicas en el fomento de la rehabilitación residencial: los Municipios pieza clave en un marco de cooperación institucional.
- [6] Observatorio vasco de la vivienda, 2017. Informe sobre políticas de vivienda en la Unión Europea. Retrieved from: http://www.etxebide.euskadi.eus/contenidos/informacion/ovv_europa_2017/es_ovv_admi/adjuntos/UE_2017.pdf
- [7] Cuchí A. y de la Puerta I., 2016. Informe GTR Comunidades Autónomas 2016. Diagnóstico de la Rehabilitación en las Comunidades Autónomas. Luces y sombras de un sector que no despegó.
- [8] Staniaszek D. (2013) A guide to developing strategies for building energy renovation. Buildings Performance Institute Europe (BPIE). Retrieved from: http://bpie.eu/documents/BPIE/Developing_Building_Renovation_Strategies.pdf.
- [9] Vilutien T., Ignatavius C. (2018) Towards Sustainable Renovation: Key Performance Indicators for Quality Monitoring. Sustainability 10(6):1840.
- [10] Huedo Dorda P. M., López-Mesa B., Mulet Escrig E. (2019, in Press) Analysis of Sustainable Building Rating Systems in relation to CEN. Informes de la Construcción, accepted for its publication in the issue 556 in December 2019.
- [11] Zeinal, A. & Huber, F., (2012). A comparative study of DGNB, LEED and BREEAM certificate systems in urban sustainability. Conference: 7th International Conference on Urban Regeneration and Sustainability 2012. doi:10.13140/2.1.3177.0568.
- [12] European Committee for Standardization. UNE-EN 15978:2011 Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method. International Organization for Standardization; 2011.
- [13] EN, "EN 16627:2015 - Sustainability of construction works - Assessment of economic performance of buildings - Calculation methods," Int. Stand., 2015.
- [14] EN, "EN 16309 - Standards Publication Sustainability of construction works - Assessment of social performance of buildings - Calculation methodology," Int. Stand., 2014
- [15] Vilches A., Garcia-Martinez A., Sanchez-Montañes B., 2017. Life Cycle Assessment (LCA) of Building Refurbishment: A Literature Review Energy Build (2017), 10.1016/j.enbuild.2016.11.042.
- [16] CSD, 2001. Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies. United Nations Commission of Sustainable Development, New York.

Analysis of overheating risk in Passivhaus dwellings during warm season and the night natural ventilation strategies to mitigate it

Análisis del riesgo de sobrecalentamiento en edificios Passivhaus durante períodos cálidos y de estrategias de ventilación natural nocturna para mitigarlo

Alba Arias¹, Anna Figueroa¹, Xabat Oregi², Íñigo Rodríguez²

ABSTRACT

During the last decade, energy consumption in the European Union related to buildings accounts for 40% of the total consumption. In consequence, some strategies and goals have been set up to reduce it, mainly with 2020, 2030 and 2050 targets. In order to achieve them, one of the main instruments have been the Energy Performance of Building Directive that promotes Nearly Zero Energy Building (nZEB) constructions. According to this directive, many strategies have been adopted in order to reduce energy demand. A certificate that has been popular it's the Passivhaus Certificate, creating extremely low-energy demand consumption and airtight buildings. Different norms define the limit of indoor comfort for these constructions (ISO 7730, ASHRAE 55-1992, EN 15251, CIBSE Guide A, CIBSE TM52, CIBSE TM59 and Passivhaus standards). They will be taken into account in this study.

As a result of the actual climate change predictions towards a warmer world, multiple studies have focused on the exploration of the actual overheating risk in this type of buildings, especially in multifamily dwellings. They recommend strategies to mitigate it as, for example, solar protection, low insolation materials thickness (roof and wall), hybrid or natural ventilation, passive and low-energy solutions during cooling and intermediate period, active solutions along the heating season, verification of occupancy, shape, activity and orientation, etc.

As shown in previous studies, night ventilation has a positive contribution to the cooling effect of indoor spaces during the warm period, reducing daytime ventilation. Nevertheless, its efficiency is strongly related to three parameters: temperature difference indoor-outdoor, air flow rate and thermal capacity of the building.

The study will be focus on applying night natural ventilation measures in order to provide the best solutions to the case study, a high-rise residential building in Bolueta, Bilbao, which has already a Passivhaus certificate. It will be carried out with different simulations and calculations with the help of software as Design-Builder and Computational Fluid Dynamics simulations. Comparing the different solutions and taken the best combination of them and adding other measures, a shading measure, in order to mitigate the overheating risk during warm season.

Key Words: Passivhaus-nZEB, night natural ventilation, overheating risk

1. Introducción

En la Unión Europea, el 40% del total del consumo de energía está relacionado con la edificación [1]. En España, en uso residencial, es el 18% del consumo nacional [2], y, en el País Vasco, el 17% [3].

Desde la Unión Europea, se han establecido estrategias y objetivos con el fin de reducir el consumo de energía. Unos de los más relevantes objetivos son los 2020, 2030 y 2050 [4], los cuales proponen disminuir un 20% la emisión de gases de efecto invernadero, producir el 20% de la energía mediante fuentes renovables y mejorar hasta un 20% la eficiencia energética.

Para conseguir dichos objetivos, uno de los principales instrumentos ha sido la Directiva sobre el Rendimiento Energético de Edificios [5], la cual promueve la construcción de edificios de energía casi nula (nZEB).

En España, se han establecido reglamentos con el fin de reducir la demanda energética de los edificios y promover las energías renovables como principal fuente de producción de electricidad y agua caliente sanitaria (ACS). A raíz de estas normativas, en relación con la implementación de las energías renovables en el sector de la construcción, ha sido recientemente aprobada una nueva directiva para regular la producción y autoproducción de energía generada mediante fuentes renovables. [6].

En relación con la reducción de la demanda energética, una de las tendencias que se ha llevado en Europa ha sido la de construir según determinados certificados energéticos. Este es el caso del certificado Passivhaus (PH), creado en Alemania y Suecia como un proyecto de investigación que tenía como objetivo minimizar la demanda energética total [7, 8]. El certificado es popular en Europa y cuenta con un total de 4.819 edificios certificados en el mundo, donde el 48,99% están en Alemania y un 21,87% en Austria [9].

EL concepto de la Casa Pasiva consiste en el diseño de edificios de extremo bajo consumo de energía, herméticos y con baja demanda energética. Algunos estudios demuestran cómo este tipo de edificios consumen entre un 80% y 90% menos de energía en calefacción y refrigeración que un edificio convencional, con tan solo un coste adicional de construcción del 5 al 10%. [7, 8].

Para establecer este equilibrio entre confort y bajo uso energético, el balance térmico se consigue principalmente mediante fuentes de calor internas y el proceso de recuperación de calor en el sistema de ventilación durante la época fría y mediante protección solar durante el periodo cálido. También se debe instalar un aislamiento apropiado para prevenir los puentes térmicos, así como unas ventanas adecuadas.

1. Introduction

In the European Union, 40% of the total energy consumption is related to buildings [1]. In Spain, in residential use, it is the 18% of the total national consumption [2], and, in the Basque Country, it is the 17% [3].

From the European Union, some strategies and goals have been set up in order to reduce energy consumption. One of the most relevant is the 2020, 2030 and 2050 targets [4], that suggest a 20% cut off of greenhouse gas emissions, to produce 20% of the energy from renewable sources and a 20% improvement in energy efficiency.

To achieve the European Commission targets, the main instrument has been the Energy Performance of Building Directive [5], that promotes Nearly Zero Energy Buildings (nZEB) constructions.

In Spain, some policies have been set up in order to reach a reduction of the energy demand in buildings and the application of renewable energy sources for mainly electrical and domestic hot water production. Following these policies, regarding the implementation of renewable energy in the building sector, a new directive has been recently approved to regulate the production and self-consumption of the energy produced by renewable sources [6].

According to the reduction of energy demand, one trend that has been followed up in Europe is to build according to some energetical certifications. That's the case of the Passivhaus (PH) certificate. This certificate was created in Germany and Sweden as a research project aimed to minimize the total energy demand [7, 8]. It's a popular certificate in Europe. With a total of 4.819 certificated buildings around the world, 48,99% are located in Germany and 21,87% in Austria [9].

The concept of PH consists of creating extremely low-energy consumption buildings, airtight and low energy demand. Some studies show that those type of buildings consume between 80% and 90% less energy for heating and cooling than conventional buildings, with just an additional construction cost of 5 to 10% [7, 8].

To establish this balance of comfort and low energy use, the thermal equilibrium is achieved thanks to internal heat sources and heat recovery systems in the ventilation systems during the cold season, and mainly shading equipment for the warmer months. Also, the proper insulation on walls has to be installed preventing thermal bridges, as well as appropriate windows.

According to the Passive House Institute (PHI), their certification criteria for a residential Passive House is shown in the following Fig. 1:

CRITERIA	DESCRIPTION	VALUES
HEATING	Specific heating demand	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
	Or alternatively: heating load	$\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
COOLING	Total cooling demand	$15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) + 0.3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{aK}) \cdot (\text{DDH})$
	Or alternatively: Cooling load And cooling demand	$\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$ $4\text{kWh}/(\text{m}^2\text{aK}) \cdot v_e + 2 \cdot 0.3\text{W}/(\text{m}^2\text{aK}) \cdot \text{DDH} - 75\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ but $\leq 45\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a}) + 0.3\text{W}/(\text{m}^2\text{aK}) \cdot \text{DDH}$ (1)
	PRIMARY ENERGY	Specific primary energy demand (2)
AIRTIGHTNESS	The pressure test result, n50	$\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$

- (1) DDH: Dry degree hours (time integral of the difference between the dew-point temperature and the reference temperature of 13°C throughout all periods during which this difference is positive.
- (2) Demand for heating, cooling, hot water, auxiliary electricity, domestic and common area electricity.

Figure 01.
PHI criteria for residential certification.

Según el Instituto Passive House (PHI), los criterios a cumplir en la certificación Passivhaus (PH) para edificios residenciales son los resumidos en la Fig. 1:

2. Análisis del confort térmico según diferentes normativas

Dos de los modelos más aceptados son los Modelos de Balance Térmico o modelos empíricos (UNE-EN ISO 7730:2006 y UNE-EN 15.251:2008), basados en los estudios en cámaras climáticas, y los modelos adaptativos propuestos por la Sociedad Americana de Calefacción y Refrigeración (ASHRAE), basados en estudios in situ.

No hay una definición absoluta de confort térmico. La más aceptada a nivel mundial es “la condición

2. Thermal comfort analysis by different norms

The two most adopted models are the Thermal Balance Model or empirical models (UNE-EN ISO 7730:2006 and UNE-EN 15.251:2008), based on studies with climatic chambers, and the Adaptive Models by the American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), based on field studies.

There is not an absolute value to define thermal comfort. The most worldwide accepted definition is “the mental condition which expresses satisfaction with thermal environment”. The evolution of different comfort models during the last 50 years can be seen in the following Fig. 2:

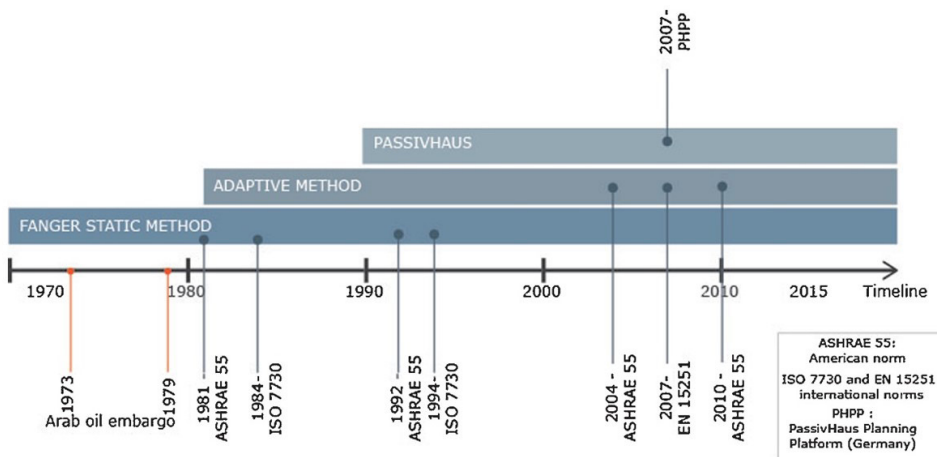


Figure 02.
Evolution of comfort models in the last 50 years [13].

mental en la que se expresa satisfacción térmica con el entorno”. La evolución histórica de los modelos de confort en los últimos 50 años se observa en la Fig. 2:

El Modelo de Balance Térmico, al igual que la UNE-EN ISO 7730 [10], se aplica a ambientes interiores donde hay un estado estacionario de confort térmico o en el que las desviaciones del confort son moderadas. El confort térmico depende de la actividad metabó-

The Thermal Balance Model, as UNE-EN ISO 7730 [10], applies to indoor environments where steady-state thermal comfort or moderate deviations from comfort occur. The thermal comfort area will depend on the metabolic activity, the thermal resistance of the clothes wore and the assumed estimate percentage of unsatisfied people. In Spain, the “Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios” (RITE) [11], established on Basic Document of the Technical

lica, la resistencia térmica de la vestimenta (clo) y el porcentaje supuesto de personas insatisfechas. En España, el "Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios" (RITE) [11], basado en el Documento Básico del Código Técnico de la Edificación para el Ahorro Energético (CTE DB HE2 2009), está basado en la UNE-EN ISO 7730 y describe rangos de confort similares.

Estos estándares están basados en estudios realizados por Fanger, donde sus mediciones solo son aplicables en edificios climatizados y no cuando la ventilación natural se activa. En consecuencia, los máximos y mínimos rangos para el confort fluctúan según los clo y el nivel de actividad y no por la velocidad del aire. Los modelos adaptativos sí la tienen en cuenta.

En Europa, la EN 15251 [12], introducida por el Comité Europeo de Estandarización (CEN), propone el modelo de Fanger para edificios con calefacción y refrigeración mecánica y el modelo adaptativo de Humphreys y Nicol para edificios sin sistema de ventilación mecánica. [13].

En el Reino Unido, los estándares CIBSE, Guide A [14] siguen el modelo empírico, mientras que la CIBSE TM36, revisada en la TM52 [15] promueve los modelos adaptativos. Las directrices del CIBSE también definen los límites para el sobrecalentamiento. El TM52, de uso principalmente en edificios comerciales, solo puede aplicarse cuando los ocupantes tienen control para regular las condiciones climáticas interiores. El TM59 [16] es empleado en viviendas. En el caso del estándar PH, los rangos de confort están basados en una ecuación de estado estacionario que predice los valores medios mensuales sin tomar en cuenta los efectos de la inercia térmica [17]. En climas fríos se estima el número de días con sobrecalentamiento durante el verano. Estas normas y criterio de límites se encuentran resumidos en la Fig. 3:

Document of Edification on Energy Saving (CTE DB HE2 2009), is based on UNE-EN ISO 7730 and it describes similar comfort ranges.

These standards are based on studies by Fanger, where their measurements are only applicable when the buildings are climatized but not when natural ventilation is applied. In consequence, their maximum and minimum ranges of temperature for comfort fluctuate, depending on the thermal resistance of clothing and the level of activity, not that much on the air velocity. The adaptive models take this into account.

In Europe, the EN15251 [12], introduced by the European Committee for Standardization (CEN), suggests Fanger's model for mechanically heated and/or cooled buildings and Humphreys and Nicol's adaptive model for buildings without a mechanical ventilation system. [13].

In the United Kingdom, CIBSE standards, Guide A [14], follow an empirical model, while CIBSE TM36, revised in TM52 [15] follows an adaptive model. The CIBSE guidelines also define the limits for overheating. The TM52, that is used primarily in commercial buildings, can only be applied when the occupants have control to regulate indoor climate conditions. The TM59 [16] is employed in domestic dwellings.

For the PH Standard, the range of comfort it's based on a steady-state equation which predicts average monthly values without taking into account thermal inertia effects [17]. In cold weather it estimates the number of days with overheating during summer. These norms and their limits criteria can be seen in the following Fig. 3:

Figure 03.

Comfort areas for different norms.

Standard	Limits criteria	References
ISO 7730	RHmin=40% and for maximum RHmax=60% Category A: Tmin 21°C, Tmax 25.5°C Category B: Tmin 20°C, Tmax 26°C Category C: Tmin 19°C, Tmax 27°C	[12, 18]
ASHRAE 55-1992	Tmin 20°C, Tmax 26°C RHmin=30% and RHmax=60%	[19] [18]
EN 15251	Combines ISO 7730 and ASHRAE 55-1992	[20]
CIBSE Guide A	Tmax 25°C for living rooms and 23°C for bedrooms Overheating when T>28°C 1% for living rooms and T>26°C 1% for bedrooms	[21]
CIBSE TM52	<3% of Tmax between May to September	[22]
CIBSE TM59	·Predominantly mechanically ventilated: T<26°C 3% annual occupied hours ·Predominantly naturally ventilated: For living rooms, kitchens and bedrooms: T increment less than 1°K from May to September less than 3% of occupied hours For bedrooms only, during sleeping hours (10 pm – 7 am) T<26°C <1%	[23, 24]
Passivhaus	T<25°C 10%, recommends <5%	[8, 17, 23]

3. Problemas de sobrecalentamiento en edificios con alto aislamiento y estanqueidad

Como resultado de las predicciones del actual cambio climático hacia un calentamiento global, hay numerosos estudios que han explorado los actuales riesgos de sobrecalentamiento en edificios altamente aislados y (PH o zNEB) con el fin de investigar estrategias para mitigarlo [23, 25, 26].

La Fig. 4 muestra un resumen de algunos de los últimos estudios sobre confort en Passivhaus o edificios de bajo consumo y las estrategias recomendadas para mitigar los problemas de sobrecalentamiento

3. Overheating issues in buildings with high insulation and airtightness

As a result of the actual climate change predictions for a warmer world, there are multiple studies that have explored the actual overheating risk in highly insulated and airtight buildings (PH or nZEB) in order to investigate strategies to minimize it [23, 25, 26].

The Fig. 4 displays a summary of some of the last studies about comfort in PH or low energy consumption dwellings and the strategies recommended to mitigate the overheating issues that have been already detected and analysed. It is remarkable that most of them do not have comfort 100% of the time

LOCATION	REFERENCE	TPOLOGIE (1)	DYNAMIC SIMULATION	MONITORIZATION	BUILT	COMFORT MODE	OVERHEATING	STRATEGIES RECOMMENDEND
VITORIA (SPAIN)	[27]	U	No	Yes	Yes	ISO 7730 EN15251	9,8% time in summer (ISO 7730) 0,2% time in summer (EN15251)	Verification of occupancy, shape, activity and orientation to achieve comfort.
NIZA (ITALY)	[27]	S	Yes	No	No	Hours >25°C	In comfort	Night ventilation to passive cooling
LISBON (PORTUGAL)	[28]	S	Yes	No	No	Hours >25°C	Occasionally	Need to active cooling system
LÉRIDA (SPAIN)	[27]	U	No	Yes	Yes	>26° C	In comfort	Solar protection and courtyard
MASCALUCIA (ITALY)	[29]	U	No	Yes	Yes	Fanger's comfort (winter) Hours >25°C, adaptative	Almost no discomfort.	Passive and low-energy solutions during cooling and intermediate period Active solutions during the heating season
BIRMINGHAM (UK)	[27]	M	No	Yes	Yes	Hours >25°C, adaptative	72% apartments with over 25°C in excess	None
SOUTH TYRO (ITALY)	[27]	M	No	Yes	Yes	Hours >25°C	48% (4225h) >25°C	Reduce internal gains Improve mechanical ventilation
SOUTH TYRO (ITALY)	[27]	M	Yes TRNSYS	Yes	No	Hours >25°C	13% >25°C	Improve mechanical ventilation schedule
CESENA (ITALY)	[30]	M	Yes Energy Plus (3 cases)	Yes	Yes	EN 15251 > 25°C	<u>Existing:</u> 22% >25°C 24% >27°C <u>Case a:</u> 29% >25°C 15% >27°C <u>Case b:</u> 28% >25°C 14% >27°C <u>Case c:</u> 16% >25°C 5% >27°C	<u>Existing:</u> Night ventilation, Solar protection <u>Simulations:</u> Lowering the insulating materials thickness (roof and wall) Using double-glazed low-emissive windows Hybrid or natural ventilation strategies
BILBAO (SPAIN)	[31]	M	No	Yes	Yes	>25%	10% of 1775hours >25°C	Study in progress

(1). Single family: U, Semi-detached house, S: Multifamily building: M.

Figure 04.

Resume of studies about comfort in highly insulated and airtight buildings.

que han sido detectados y analizados. Se observa que la mayoría no alcanzan el confort el 100% del tiempo y necesitan correcciones. La mayoría de los estudios están hechos en vivienda unifamiliar y muy pocos se han hecho para edificios residenciales pasivos.

También se ha detectado que el confort es mayor en vivienda unifamiliar que en edificios residenciales, donde el disconfort es especialmente alto durante los periodos cálidos. Un de las principales razones es que los estándares del PH no están diseñados para ser implementados en este tipo de edificios [27].

4. Estrategias de ventilación para edificios altamente aislados y estancos (Passivhaus y NZEB)

De acuerdo a diferentes estudios [37, 38], la ventilación mecánica es una de las estrategias que aporta una correcta calidad del aire y suministra aire fresco del exterior al espacio interior. Este proceso puede ser realizado mediante diferentes métodos:

Ventilación mecánica mediante ventilador o extractor. La mayoría de los edificios cuentan con una ventilación mecánica para garantizar una apropiada tasa de ventilación. Normalmente utilizan electricidad, lo que aumenta el consumo energético y, en consecuencia, el riesgo de afectar al calentamiento global [38]. En España, su uso es obligatorio [11].

Ventilación natural resultado de la diferencia de temperatura y presión entre el exterior e interior, generando una corriente de aire, utilizando la resistencia o las fuerzas de impulso del viento. Hay 4 tipos de sistemas de ventilación natural: chimenea pasiva (útil en áreas sin viento o casi sin y edificios altos afectados por la diferencia de presión), ventilación adiabática (corriente de aire producida por la evaporación de agua), ventilación a una fachada (una apertura que genera un diferencial de temperaturas) y ventilación cruzada (diferencial de presión generado por el viento en las diferentes fachadas) [37, 38]. Desde un punto de vista de consumo energético y climático, su impacto es menor que los métodos mecánicos.

Ventilación híbrida (mecánica + natural) se utiliza con el fin de compensar las debilidades de la ventilación natural cuando las condiciones no son favorables. [37, 38, 39].

El objetivo de los sistemas de ventilación es la de regular la calidad del aire interior: temperatura, distribución, tasa de intercambios de aire y concentración de contaminantes [38]. Como comentado anteriormente, se debe tener en cuenta las regulaciones de cada localización en términos de calidad del aire, máximos y mínimos tasas de ventilación, etc.

Hay investigación en desarrollo focalizada en me-

and they need corrections in order to reach thermal comfort. Most of the studies are about single-family houses (single family or semi-detached house) and not many of them address multifamily passive buildings.

The authors have also seen that the comfort level in single family houses is bigger than in multifamily buildings, where the discomfort is especially high during warm seasons. One of the main reasons is that PH standards are not designed to be implemented in this type of dwellings [27].

4. Ventilation strategy for buildings with high insulation and airtightness (Passivhaus and NZEB buildings)

According to different studies [37, 38], natural ventilation is one of the main strategies to provide suitable indoor air quality and supply fresh outdoor air to indoor spaces. This process can be supplied by different methods:

Mechanical ventilation by fan or blowers. Most buildings are mechanically ventilated in order to provide a proper ventilation rate. They generally use electricity, which increases energy consumption and, in consequence, the risk to affect global warming [38]. In Spain, the use of these methods is mandatory in buildings [11].

Natural ventilation results from temperature and pressure difference between indoor and outdoor environment, generating airflow, using buoyancy or wind-driven forces. There are four possible ventilation systems: passive chimney stack (useful in areas with no wind or very weak wind conditions and high buildings affected by a difference of pressure), adiabatic ventilation (air current helped by the evaporation of water on the bottom of the space), single-sided ventilation (one opening that generates a temperature differential) and cross ventilation (pressure differential generated by the wind in the difference facades of the building) [37, 38]. From an energy consumption and climatic point of view, its impact is lower than mechanical methods.

Hybrid combination (mechanical + natural ventilation) is normally used in order to compensate the weakness of natural ventilation when the conditions are not favorable [37, 38, 39].

The aim of ventilation systems is to regulate the quality of indoor air: temperature, distribution, air exchange rate and concentration of pollutants [38]. As commented before, the regulations of each location in terms of air quality, minimum and maximum ventilation rates, etc, have to be taken into account.

There are many ongoing research focused on ventilation systems in order to improve ventilation effectiveness and performance, used to foresee the

orar la eficacia y rendimiento de los sistemas de ventilación, utilizada para prever el comportamiento del aire, la calidad del aire interior (IAQ) y disminuir los problemas de salud [38, 41]. Con este fin, los investigadores desarrollan múltiples métodos de ventilación energéticamente eficientes y realizan simulaciones dinámicas para analizar cómo estas estrategias de ventilación afectan el confort interior (especialmente térmico) y el ahorro energético [17]. Los puntos más importantes a considerar en una ventilación natural son:

ASPECTOS TÉCNICOS

- La eficacia y rendimiento de los métodos de ventilación dependen del uso y tipo de estancia [42].
- Los factores a tener en cuenta son: la profundidad de la estancia respecto a las ventanas, altura libre, masa térmica, localización del edificio (contaminación, ruidos,...), ganancias térmicas y ambiente [40], condiciones climáticas y microclimas [30].
- La ventilación natural puede tener limitaciones y reducir su eficacia cuando las ganancias térmicas internas son superiores a 40W/m² [40].
- El potencial de la refrigeración en verano y el confort térmico dependen fuertemente de las estrategias de ventilación natural. El control de las aperturas es crucial en estos casos. [17].
- Se requiere especial atención en la cantidad de flujo de aire (% apertura de ventanas) y el control del horario de apertura para alcanzar el confort [43].
- En el futuro, con el cambio climático, la ventilación no será capaz de hacer frente a las predicciones de sobrecalentamiento y será necesario complementar con otros métodos. [44].

RENDIMIENTO

- La ventilación natural puede alcanzar tasas de aire superiores a las de la ventilación mecánica, la cual está especialmente diseñada para el aporte de aire fresco. [45].
- Su impacto, desde un punto de vista de consumo energético y impacto climático, es menor a los métodos mecánicos.[38].
- Es más sencillo conseguir el confort que con la ventilación mecánica. [45].

AHORRO

- La ventilación natural puede reducir el uso de refrigeración en 20% por mes. [46].

air behavior, the Indoor Air Quality (IAQ) and to decrease the possibility of health issues [38, 41]. For this purpose, many energy-efficient ventilation methods are developed by researchers and dynamic simulations have been carried out to analyze how these ventilation strategies affect the indoor comfort (especially thermal comfort) and energy-savings [17]. The most important points that must be considered to define effective natural ventilation are:

TECHNICAL ASPECTS

- The effectiveness and performance of the ventilation methods depend on the usage and place of implementation [42].
- The factors to take into consideration are: the depth of space respect to the opening, ceiling height, thermal mass, location of the building (pollution, noises...), heat gains and climate [40], climatic conditions and microclimates [30].
- Natural ventilation can have limitations and reduces its effectiveness when heat gain is over 40W/m² [40].
- The summer cooling potential and the thermal comfort strongly depend on the natural ventilation strategy. The control over the openings are crucial for all cases [17].
- Special attention is required regarding the best flow rate (% of window opening) and the opening schedule control in order to achieve the comfort [43].
- In the future, with the climate change, ventilation alone will be unable to cope with overheating predictions and other methods will be required to be implemented [44].

PERFORMANCE

- Natural ventilation can reach much higher ventilation rates than mechanical ventilation systems, which are specially designed for fresh air supply [45].
- Its impact, from energy consumption and climate effect point of view, is lower than with mechanical methods [38].
- Comfort can be more easily achieved than by using mechanical ventilation [45].

SAVINGS

- Natural ventilation could reduce cooling energy usage by 20% per month. [46].
- Passive cooling strategies and blinds, in combination with natural ventilation, can achieve a

- La integración de estrategias de refrigeración pasivas y persianas, combinado con la ventilación natural, alcanza una reducción de más del 50% en casi todas las regiones.[43].

En caso de riesgo de sobrecalentamiento en edificios altamente aislados y estancos (PH y nZEB), es importante analizar la ventilación natural nocturna como una de las principales estrategias:

Ventilación natural nocturna

- La ventilación nocturna utiliza el edificio como un sistema de almacenamiento [47].
- La ventilación nocturna tiene un efecto positivo en la refrigeración de los espacios interiores durante el periodo cálido. Reducir la ventilación diurna cuando se usa ventilación nocturna, produce un mejor rendimiento térmico. [44].
- Es más efectiva en climas con grandes diferencias de temperatura entre la noche y el día, pero no es recomendada para zonas húmedas con ratios superiores a 15g por kg de aire. [45]. Es muy eficiente en regiones áridas. [48]
- Su eficacia está fuertemente relacionada con tres parámetros: la diferencia de temperatura interior - exterior, la tasa de flujo del aire y capacidad térmica de los edificios [49, 50].
- La optimización del edificio (masa térmica, ratio de aperturas, ganancias solares e internas, orientación, etc.) pueden reducir en torno a 20-25% el consumo de refrigeración en oficinas [51].
- El sistema en general es difícil de diseñar y controlar [51].

En los últimos años se han realizado múltiples estudios en el campo de la ventilación natural nocturna: desde experimentos de ventilación, simulaciones (desde simples métodos analíticos y empíricos a dinámica computacional de los fluidos (CFD)) a monitorización de casos reales. [51, 52] como mencionado en Fig. 5:

5. Caso de estudio torre residencial en Bolueta

El caso de estudio seleccionado es una torre residencial certificada PH en el barrio de Bolueta, en Bilbao. Se ha detectado que los apartamentos sufren sobrecalentamiento durante los periodos cálidos. El estudio se va a focalizar en las estrategias de ventilación nocturna con el fin de determinar las mejores prácticas para minimizar los efectos del sobrecalentamiento.

Diferentes métodos de cálculo y simulación serán utilizados:

reduction of over 50% in almost all regions [43].

In the case of overheating risk in highly insulated and airtight buildings (PH and nZEB), it is important to analyze the natural night ventilation as one of the main strategies.

Natural night ventilation

- Nocturnal ventilation uses the building structure as a storage device [47].
- Night ventilation strategy has a positive contribution to the cooling effect of indoor spaces during the warm period. Reducing daytime ventilation while using night ventilation produces better thermal performance [44].
- Night ventilation effectiveness is better in climates with large diurnal temperature differences, but it cannot be recommended for humidity ratios above 15g per kg air.[45]. It's very efficient in arid regions[48]
- The efficiency of night ventilation is strongly related to three parameters: temperature difference indoor-outdoor, air flow rate and thermal capacity of the building [49, 50].
- As commented before, the optimization of the building (building mass, glazing ratio, solar and internal gains, orientation,..) can reduce about 20-25% the air conditioning consumption in office buildings [51].
- The overall system is very difficult to design and control [51].

In the last years, many studies have been carried out in the field of night natural ventilation: from ventilation experiments, simulations (from simple analytical and empirical methods to multi-zone and computational fluid dynamics (CFD)) to monitoring real buildings [51, 52] as mentioned in Fig. 5:

5. Case of study, residential tower in Bilbao

The selected case of study is the PH certificated high-rise residential building located in the Bolueta district, in Bilbao. It has been detected that the apartments have overheating issues during warm seasons. The study will focus in natural night ventilation strategies in order to determine which are the best practices to minimize the overheating risks.

Different calculation and simulation methods will be used:

- **Computational Fluid Dynamics (CFD)** simulations that provide detailed distribution of air temperature, air velocity, contaminant concen-

Ref	Type	Description	Results
[53]	Experiment	Research about heat transfer during night-time ventilation	The interaction of convective and radiative heat flows contributing to the total heat flow removed from a room during night-time ventilation
[47]	Experiment	Night ventilation was tested in combination application of phase change materials (PCM) impregnated gypsum boards and ordinary gypsum board.	PCM works effectively in a combination with "night ventilation" and "free cooling". Up to 93% cost and 92% energy savings per day. When night ventilation was used to charge the PCM instead, there is a 73% reduction in weekly electricity consumption. <u>Drawbacks</u> <ul style="list-style-type: none"> • The limited area of contact PCM -air • The very low convective heat transfer coefficients which prevent the use of significant amounts of PCM • The very low utilization factor of the cool stored due to the large phase shift between the time when cool is stored and time when it is required by the building
[54]	Experiment Simulation (MATLAB)	Fuzzy controller for naturally ventilated buildings	Fuzzy controllers can adjust the opening positions with changes in inside and outside conditions.
[55]	Simulation (Simulation computational fluid dynamics CFD)	Investigation of the feasibility of a device to improve summer comfort in wood-frame houses using a Ventilated Internal Double Wall (VIDW)	The cooling effect is very pronounced when night ventilation is inside the VIDW. It's necessary to have a sufficient velocity (1–1.5 m/s) in the air gap to facilitate the convective exchanges. The reduction in the hottest room is 2 °C– 5 °C.
[56]	Simplified thermal and ventilation model	Investigation of the effect of a hybrid ventilation strategy (air conditioning during the day and natural ventilation during the night-time)	40% savings in buildings with night ventilation strategy
[57]	Simulation (TRNSYS and TAS) Monitoring	Implementation of a solar chimney and high thermal mass combined with night ventilation. Analyze in a dry hot climate (Madrid).	Solar chimneys allow totally passive <u>night-time</u> cross-ventilation without having to open the window. Chimney effect of the collected heat sucks the exhaust air out of the apartments. The fresh cold night air enters through the east facade and runs through the flat, cooling down the thermal masses of the open walls and ceilings.
[52]	Simulation (TRNSYS) Monitoring	Analyze the energy data from two hundred fourteen air-conditioned residential buildings using night ventilation techniques. In Greece.	10 to 40% of cooling savings with night ventilation (average around 26%). Decreasing cooling load up to 40 kWh/m ² /y (average contribution close to 12 kWh/m ² /y.)

Figure 05.

Summary of recent studies on natural night ventilation strategies and effects.

- **CFD:** simulaciones que ofrecen una distribución detallada de la temperatura, la velocidad, y concentración de contaminantes del aire, tanto dentro del edificio como en los alrededores. Como utilizado en el estudio [59], la CFD será utilizada para analizar la eficacia de la ventilación natural con una sola fachada.
- **DESIGN BUILDER (DB)** para modelizar el caso de estudio, pero también para realizar las simulaciones de las diferentes estrategias propuestas de ventilación natural. Como en el caso de estudio de Cesena [30], se usará para determinar las mejores estrategias para mitigar el riesgo de sobrecalentamiento durante el periodo cálido. Con ayuda módulo CFD, es posible calcular la temperatura, presión y velocidad del aire mediante el estudio de elementos finitos.

tration within the building and its surrounding areas. As employed in the study [59], it will be used to analyze the effectiveness of single-sided natural ventilation.

- **DESIGN BUILDER (DB)** for modeling of the case of study, but also for running simulations of different strategies for natural ventilation systems. As in the study of Cesena case [30], it will be used to determine the best strategies to minimize the overheating risk during the warm season. With the help of the CFD module, it is possible to calculate the temperature, pressure and air velocity by the study of finite elements.

This study will focus on the most representative dwelling typologies of the building, taking into account the features defined in Fig. 6. The typologies TII, TV and TXIII will be studied in order to detect their overheating issues and to determine the best

Se van a analizar las tipologías más representativas

Typologies	Orientation	Line type	Window surface /facade (%)	Window surface /dwelling surface floor (%)	Surface/Occupancy CTE / real occupancy (m2/per)
II	South Single-sided	Facade south Free opening Access by mean bedroom	29,48	8,2	19,94 / 28,80
V	South-west Double-sided (corner)	Facade west Micro perforated panel Access by kitchen	26,76	12,43	20,84 /35,77
XIII	South- Nord Crossed	Facade south Free opening. Access by kitchen	32,08	9,82	20,81 / 27,75

Figure 06.

Features of the study typologies.

Figure 07.

Characteristics of base scenario.

Scenario	Infiltrations	Mechanical ventilation	Natural ventilation	Solar protection	Heating system	Cooling system	Occupancy	Occupancy scheduled
Base case scenario	None	Yes Monday to Friday: 100% (11pm to 7am), 50% (3pm to 11pm), 25% (7am to 3pm) Saturday and Sunday: 100% 24h	Yes 8pm to 8am 1ac/h	Yes 100% (10am to 7pm)	None	None	0,03 (person/m2)	Monday to Friday: 100% (11pm to 7am), 50% (3pm to 11pm), 25% (7am to 3pm) Saturday and Sunday: 100% 24h

del edificio teniendo en cuenta las variables presentadas en la Fig. 6. Las tipologías TII, TV y TXIII serán las estudiadas con el fin de poder observar los problemas de sobrecalentamiento y determinar las mejoras estrategias de ventilación natural para minimizar el riesgo de sobrecalentamiento durante el período cálido.

La Fig. 7 establece el escenario base a partir del que se realizaran las hipótesis de ventilación natural con el fin de definir las estrategias más favorables. Las simulaciones se han realizado con el archivo climático dispuesto por Meteonorm (período de radiación de 1991-2010 y período de temperatura de 2000-2009).

Los resultados de la simulación del escenario base prueban que las tres tipologías tienen, durante el período de verano (21 junio al 21 septiembre), el 100% de las horas por encima de 25°C, llegando a temperaturas operativas de hasta 31,14°C (TV). La tipología TV es la más desfavorable debido a sus dos orientaciones (sur y oeste). La TXIII es la más favorable, con temperaturas operativas de hasta 0,72°C menos que la TV.

El análisis de las hipótesis de mejora se encuentra en proceso. Los primeros resultados obtenidos ilustrados en la Fig. 8 confirman que:

- El mejor horario de ventilación natural, cuando no se ponen condiciones de automatización en las aperturas, es de 22h a 10h, consiguiendo reducir hasta en 1,22°C la temperatura operativa interior respecto a la del escenario base. Sin embargo, el 100% de las horas del período de verano sigue superando los 25°C.
- El aumento de las renovaciones de aire por hora de 1 a 4 permite disminuir la temperatura operativa interior hasta en 5°C. En este caso se

natural ventilation practices to mitigate the overheating risk during the warm season.

The Fig. 7 presents the base case scenario that will be used as basis for the natural ventilation hypothesis, in order to define the most favorable strategies. The simulations are running with a Meteonorm climate file (radiation period 1991-2010 and temperature period 2000-2009).

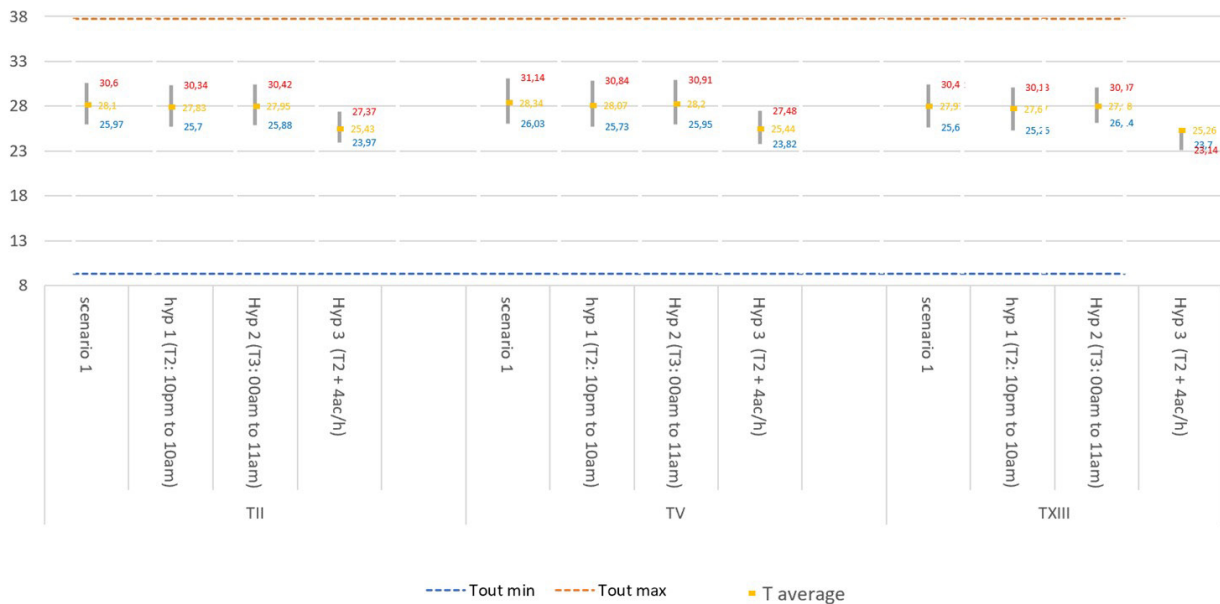
The results of the simulation of the base case scenario prove that the three typologies are, during the summer season (21th July to 21th September), 100% of the hours over 25°C, reaching operative temperatures up to 31,14°C (TV). The TV typology is the most unfavorable due to its two orientations (south and west). The TXIII typology is the most favorable, with operative temperatures 0,72°C cooler than TV.

The analyze of the hypothesis is in progress. The first results obtained, confirm that:

- The best natural ventilation schedule in manual opening is from 10pm to 10am, achieving a reduction up to 1,20°C of the indoor operative temperature compared to the mean scenario. Nevertheless 100% of the hours during the summer season are over 25°C.
- Increasing the ac/h from 1 to 4, the indoor operative temperature decreases up to 5°C. In this case, the percentage of hours over 25°C is reduced to 58% and 64% depending of the typology.

6. Future work

The study will analyze more natural ventilation strategies, their combination and their possible air con-



consigue pasar el número de horas que supera 25°C a un porcentaje de entre 58 y 64% según la tipología.

6. Trabajo futuro

Se debe continuar con el estudio de estrategias de ventilación natural nocturna, su combinación y posible automatización con el fin de determinar las mejores soluciones. Se debe tener en cuenta la velocidad del aire y su flujo. También se estudiará la viabilidad de su implementación en un caso real como el de la torre residencial certificada PH en Bolueta, tanto desde un punto de vista técnico como económico.

7. Conclusiones

La implementación de los estándares de alto aislamiento y estanqueidad en edificios está aumentando con el fin de minimizar la demanda energética y el impacto medioambiental de los edificios. Sin embargo, debido al cambio climático y su uso en áreas cálidas, se han detectado problemas de sobrecalentamiento. Los estándares del PH son insuficientes para mitigar dichos problemas en edificios residenciales. Por lo tanto, es necesario buscar soluciones alternativas que sean eficientes para minimizarlo y asegurar el confort térmico.

Diferentes medidas de ventilación natural pueden implementarse para mejorar el confort interior dependiendo de su localización, condiciones climáticas, orientación, actividad, forma, uso...El estudio se focaliza en la ventilación natural poniendo especial atención en la nocturna, con el fin de detectar las mejores estrategias para reducir las temperaturas y así conseguir el confort térmico. Como demostrado con las primeras simulaciones, usando la ventilación natural nocturna, se puede conseguir hasta un descenso de las temperaturas de 5°C.

control in order to determine the best solutions. The air velocity and its flow must be taken in account. As well as the feasibility of its implementation in a real case as the multifamily PH building in Bolueta District, from a technical and economic point of view.

7. Conclusions

The implementation of high insulation and airtightness standards in buildings is increasingly used in construction in order to minimize the energy demand and environmental impact of dwellings. However, due to climate change and the use of these solutions in warm areas, overheating problems have been detected. The Passivhaus standards are insufficient to mitigate the overheating risk, especially in multifamily buildings. Therefore, it is necessary to look for alternative solutions that are efficient to minimize it and ensure the indoor comfort.

Different natural ventilation measures can be implemented to increase the indoor comfort depending on the location, climate conditions, orientation, indoor activity, the shape of the rooms, use, etc. The study will focalize on natural ventilation, putting special attention on night ventilation, in order to reduce indoor temperatures and thus, achieve thermal comfort. As demonstrated already with the first analysis, the indoor temperature can be decrease up to 5°C using nigh natural ventilation.

Figure 08.

To indoor minimum, maximum and average. Outdoor maximum and minimum. (°C). Summer period.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] THE EUROPEAN PARLIAMENT and THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings (Recast). [viewed 15 December 2019]
- [2] IDAE. Consumo De Energía Final. ,2017.Available online www.sieeweb.idae.es [viewed 15 December 2019]
- [3] Ente Vasco de la Energía, (EVE). Informe Anual 2018, 2019. Available online www.eve.eus, [viewed 15 December 2019]
- [4] European Commission 2020 Climate & Energy Package European Commission. , 2010 Available from: <http://ec.europa.eu> [viewed 15 December 2019]
- [5] The European Parliament and the Council of the European Union. DIRECTIVE 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings. , 2010 Available online:<https://eur-lex.europa.eu> [viewed 15 December 2019]
- [6] Ministerio para la Transición Ecológica. RD 244/2019, Por El Que Se Regulan Las Condiciones Administrativas, Técnicas Y Económicas Del Autoconsumo De Energía Eléctrica, 2019. Available online www.boe.es, [viewed 10 December 2019]
- [7] SCHNIEDERS, J., FEIST, W. and RONGEN, L. Passive Houses for Different Climate Zones. *Energy and Buildings*, 2015, vol. 105, pp. 71-87.
- [8] SCHNIEDERS, J. and HERMELINK, A. CEPHEUS Results: Measurements and Occupants' Satisfaction Provide Evidence for Passive Houses being an Option for Sustainable Building. *Energy Policy*, 2006, vol.34. pp.151-171, ISBN 0301-4215.
- [9] Passive House Database. Available from:<https://passivehouse-database.org>, [viewed 15 December 2019]
- [10] AENOR. Ergonomics of the Thermal Environment - Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria (UNE-EN ISO 7730:2005). , 2006 Available online: <https://global.ihs.com>, [viewed 15 December 2019].
- [11] Reglamento De Instalaciones Térmicas En Los Edificios (RITE) E Instrucciones Técnicas Complementarias, 2013. [viewed 15 December 2019]
- [12] AENOR. Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics (UNE-EN 15251:2008), 2008 Available online: <https://global.ihs.com> [viewed 10 December 2019].
- [13] ATTIA, S., et al. Overview and Future Challenges of nearly Zero Energy Buildings (nZEB) Design in Southern Europe. *Energy and Buildings*, 2017, vol. 155, pp. 439-458.
- [14] BUTCHER, K., CRAIG, B. and Chartered Institution of Building Services Engineers. CIBSE Guide A - Environmental Design. Plus Media Solutions, European Union News/Jul 22, 2015.
- [15] CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS. CIBSE TM52: The Limits of Thermal Comfort: Avoiding Overheating in European Buildings, 2013.
- [16] CHARTERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS. CIBSE TM59: Design Methodology for the Assessment of Overheating Risk in Homes., 2017, [viewed 10 December 2019].
- [17] FEIST, W. Passive House Planning Package 2007. Specifications for Quality Approved Passive Houses. Technical Information PHI-2007/1 (E)Passivhaus Institut, Darmstadt, Germany, 2007, [viewed 10 December 2019].
- [18] BADESCU, V., ROTAR, N. and UDREA, I. Considerations Concerning the Feasibility of the German Passivhaus Concept in Southern Hemisphere. *Energy Efficiency*, 2015, vol. 8, pp. 919-949.
- [19] MLAKAR, J. and TRANCAR, J. Overheating in Residential Passive House: Solution Strategies Revealed and Confirmed through Data Analysis and Simulations. *Energy and Buildings*, 2011, vol 43, pp. 1443-1452.
- [20] FIGUEIREDO, A., FIGUEIRA, J., VICENTE, R. and MAIO, R. Thermal Comfort and Energy Performance: Sensitivity Analysis to Apply the Passive House Concept to the Portuguese Climate. *Building and Environment*, 2016, vol. 103, pp. 276-288.
- [21] LAVAFPOUR, V. and SHARPLES, S. Summer Thermal Comfort and Self-Shading Geometries in Passivhaus Dwellings: A Pilot Study using Future UK Climates. *Buildings*, 2015, vol. 5, no. 3. pp. 964.
- [22] LEVERMORE, G. and PARKINSON, J. The Manchester Urban Heat Island and Adjustments for the Chartered Institution of Building Services Engineer Calculations. *Building Services Engineering Research and Technology*, 2016, vol. 37, no. 2. pp. 128-135.
- [23] MITCHELL, R. and NATARAJAN, S. Overheating Risk in Passivhaus Dwellings. *Building Services Engineering Research and Technology*, 2019, vol. 40, no. 4, ISSN 0143-6244.
- [24] AMOAKO-ATTAH, J. and B-JAHROMI, A. The Impact of Different Weather Files on London Detached Residential Building Performance-Deterministic, Uncertainty, and Sensitivity Analysis on CIBSE TM48 and CIBSE TM49 Future Weather Variables using CIBSE TM52 as Overheating Criteria. *Sustainability*, 2016, vol. 8, no. 11. pp. 1194.
- [25] MCLEOD, R.S., HOPFE, C.J. and KWAN, A. An Investigation into Future Performance and Overheating Risks in Passivhaus Dwellings. *Building and Environment*, 2013, vol. 70, pp.189-209.
- [26] DIRKS, J.A., et al. Impacts of Climate Change on Energy Consumption and Peak Demand in Buildings: A Detailed Regional Approach. *Energy*, 2015, vol. 79, pp.20-32.
- [27] RODRIGUEZ VIDAL, I. Evaluación Del Estándar De Construcción Passivhaus Y Su Aplicación En El Ámbito

- Climático De La Comunidad Autónoma Vasca Y La Comunidad Foral Navarra. El Caso De La Vivienda Colectiva De Protección Oficial. Apr 12, 2016. Universidad del País Vasco.
- [28] CARRILHO, d.G., AUGUSTO, A. and LERER, M.M. Solar Powered Net Zero Energy Houses for Southern Europe: Feasibility Study. *Solar Energy*, 2012, vol. 86, no. 1. pp. 634-646.
- [29] CAUSONE, F., et al. Yearly Operational Performance of a nZEB in the Mediterranean Climate. *Energy and Buildings*, 2019, vol. 198. pp. 243-260.
- [30] COSTANZO, V., FABBRI, K. and PIRACCINI, S. Stressing the Passive Behavior of a Passivhaus: An Evidence-Based Scenario Analysis for a Mediterranean Case Study. *Building and Environment*, 2018, vol. 142, pp. 265-277.
- [31] RODRIGUEZ, I. and OREGI, X. Monitorización Y Seguimiento Del Comportamiento De Un Bloque De Viviendas Con Certificado Passivhaus En Bolueta, 2019, sin publicar.
- [32] WANG, Y., et al. A State of Art of Review on Interactions between Energy Performance and Indoor Environment Quality in Passive House Buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 72, pp.1303-1319.
- [33] FIGUEIREDO, A., KÄMPF, J. and VICENTE, R. Passive House Optimization for Portugal: Overheating Evaluation and Energy Performance. *Energy and Buildings*, 2016, vol. 118, pp. 181-196.
- [34] FOSTER, J., et al. Scottish Passive House: Insights into Environmental Conditions in Monitored Passive Houses. *Sustainability*, Apr 26, 2016, vol. 8, no. 5. pp. 412,
- [35] DAN, D., et al. Passive House design—An Efficient Solution for Residential Buildings in Romania. *Energy for Sustainable Development*, 2016, vol. 32, pp.99-109.
- [36] WANG, Y., et al. Evaluation on Classroom Thermal Comfort and Energy Performance of Passive School Building by Optimizing HVAC Control Systems. *Building and Environment*, 2015, vol. 89, pp.86-106.
- [37] VELASCO ROLDÁN, L. El Movimiento Del Aire Condicionante De Diseño Arquitectónico, Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento, 2011, pp. 26-51.
- [38] CHENARI, B., DIAS CARRILHO, J. and GAMEIRO DA SILVA, M. Towards Sustainable, Energy-Efficient and Healthy Ventilation Strategies in Buildings: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, vol. 59, pp. 1426-1447.
- [39] LI, Y. and HEISELBERG, P. Analysis Methods for Natural and Hybrid Ventilation - a Critical Literature Review and Recent Developments. *International Journal of Ventilation*, 2003, vol. 1, no. 4. pp. 3-20.
- [40] HOSSEIN SADEGHI-MOVAHED. Passivhaus Summer Overheating: The Development of an Effective Natural Ventilation System, Loughborough University, 2018.
- [41] UNDERHILL, L.J., et al. Simulation of Indoor and Outdoor Air Quality and Health Impacts Following Installation of Energy-Efficient Retrofits in a Multifamily Housing Unit. *Building and Environment*, 2019.
- [42] CAO, G., et al. A Review of the Performance of Different Ventilation and Airflow Distribution Systems in Buildings. *Building and Environment*, 2014, vol. 73, pp. 171-186.
- [43] HARKOUSS, F., FARDOUN, F. and BIWOLE, P.H. Passive Design Optimization of Low Energy Buildings in Different Climates. *Energy*, 2018, vol. 165, pp. 591-613.
- [44] HERACLEOUS, C. and MICHAEL, A. Assessment of Overheating Risk and the Impact of Natural Ventilation in Educational Buildings of Southern Europe Under Current and Future Climatic Conditions. *Energy*, 2018, vol. 165, pp. 1228-1239.
- [45] SCHULZE, T. and EICKER, U. Controlled Natural Ventilation for Energy Efficient Buildings. *Energy & Buildings*, 2013, vol. 56. pp. 221-232.
- [46] GRIGOROPOULOS, E., ANASTASELOS, D., NI ETIC, S. and PAPADOPOULOS, A.M. Effective Ventilation Strategies for Net Zero-Energy Buildings in Mediterranean Climates. *International Journal of Ventilation*, 2017, vol. 16, no. 4 pp. 291-307. ISSN 1473-3315.
- [47] BARZIN, R., CHEN, J.J., YOUNG, B.R. and FARID, M.M. Application of PCM Energy Storage in Combination with Night Ventilation for Space Cooling. *Applied Energy*, 2015, vol. 158, pp. 412-421.
- [48] GIVONI, B. Performance and Applicability of Passive and Low-Energy Cooling Systems. *Energy and Buildings*, 1991, vol. 17, pp. 177-199.
- [49] RODRIGUES, L., SOUGKAKIS, V. and GILLOTT, M. Investigating the Potential of Adding Thermal Mass to Mitigate Overheating in a Super-Insulated Low-Energy Timber House. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 2016, vol. 11, no. 3. pp. 305-316.
- [50] GEROS, V., SANTAMOURIS, M., TSANGRASOULIS, A. and GUARRACINO, G. Experimental Evaluation of Night Ventilation Phenomena. *Energy & Buildings*, 1999, vol. 29, no. 2. pp. 141-154.
- [51] SANTAMOURIS, M. and KOLOKOTSA, D. Passive Cooling Dissipation Techniques for Buildings and Other Structures: The State of the Art. *Energy and Buildings*, 2013, vol. 57, pp. 74-94.
- [52] SANTAMOURIS, M., SFAKIANAKI, A. and PAVLOU, K. On the Efficiency of Night Ventilation Techniques Applied to Residential Buildings. *Energy and Buildings*, 2010, vol. 42, pp. 1309-1313.
- [53] ARTMANN, N., JENSEN, R.L., MANZ, H. and HEISELBERG, P. Experimental Investigation of Heat Transfer during Night-Time Ventilation. *Energy and Buildings*, 2010, vol. 42, pp. 366-374.
- [54] MARJANOVIC, L. and EFTEKHARI, M. Design and Simulation of a Fuzzy Controller for Naturally Ventilated Buildings. *Building Services Engineering Research and Technology*, Feb, 2004, vol. 25, no. 1. pp. 33-53. ISSN 0143-6244.
- [55] FRAISSE, G., BOICHOT, R., KOUYOUMJI, J.-. and SOUYRI, B. Night Cooling with a Ventilated Internal Double

- Wall. *Energy and Buildings*, 2010, vol. 42, pp. 393-400.
- [56] KOLOKOTRONI, M. Night Ventilation Cooling of Office Buildings: Parametric Analyses of Conceptual Energy Impacts. *ASHRAE Trans*, 2001, 107 PART, pp.479-489. Available online: www.scopus.com, [viewed 15 December 2019]
- [57] MACIAS, M., MATEO, A., SCHULER, M. and MITRE, E.M. Application of Night Cooling Concept to Social Housing Design in Dry Hot Climate. *Energy and Buildings*, 2006, vol. 38, pp. 1104-1110.
- [58] BREESCH, H., BOSSAER, A. and JANSSENS, A. Passive Cooling in a Low-Energy Office Building. *Solar Energy*, 2005, vol. 79, pp. 682-696.
- [59] ALLOCCA, C., CHEN, Q. and GLICKSMAN, L.R. Design Analysis of Single-Sided Natural Ventilation. *Energy and Buildings*, 2003, vol. 35, pp. 785-795

Analysis of overheating risk in Passivhaus dwellings during warm season. Focalizing in shadow systems strategies to mitigate it

Análisis del riesgo de sobrecalentamiento en edificios Passivhaus durante estaciones cálidas. Focalizando en sistemas de sombreamiento para mitigarlo

Anna Figueroa¹, Alba Arias¹, Xabat Oregi², Íñigo Rodríguez²

ABSTRACT

During the last decade, energy consumption in the European Union related to buildings accounts for 40% of the total consumption. In consequence, some strategies and goals have been set up to reduce it, mainly with 2020, 2030 and 2050 targets. To achieve them, one of the main instruments have been the Energy Performance of Building Directive that promotes Nearly Zero Energy Building (nZEB) constructions. According to this directive, many strategies have been adopted to reduce energy demand. A popular certificate it's the Passivhaus Certificate, creating extremely low-energy demand consumption and airtight buildings. Different norms define the limit of indoor comfort for these constructions (ISO 7730, ASHRAE 55-1992, EN 15251, CIBSE Guide A, CIBSE TM52, CIBSE TM59 and Passivhaus standards). They will be taken into account in this study.

As a result of the actual climate change predictions towards a warmer world, multiple studies have focused on the exploration of the actual overheating risk in this type of buildings, especially in multifamily dwellings. They recommend strategies to mitigate it as, for example, solar protection, low insolation materials thickness (roof and wall), hybrid or natural ventilation, passive and low-energy solutions during cooling and intermediate period, active solutions along the heating season, verification of occupancy, shape, activity and orientation, etc.

As shown in previous studies, shading systems can provide, not only correct visual comfort but also thermal comfort, permitting solar gains during the cold season while protecting enough to avoid overheating in the warm season.

The study will focus on applying shading measures to provide the best applicable solution in this case study, a high-rise residential building in Bolueta, Bilbao, which has already Passivhaus certificate. It will be carried out with different simulations and calculations. Comparing different solutions and make the best combination with other measures, like natural ventilation, to mitigate the overheating risk during the warm season.

Key Words: Passivhaus-nZEB, shading-system, overheating risk.

1. Introducción

Durante la última década, el consumo energético en la Unión Europea relacionada con los edificios alcanza un 40% del total consumido [1]. En España alcanza un 18% del consumo total nacional [2], y un 17% en el País Vasco [3], considerando únicamente edificios residenciales.

Desde la Unión Europea, algunas estrategias y metas han sido definidas para reducir el consumo energético. Una de las más relevantes en esta temática son los objetivos 2020 [4], que sugieren reducir un 20% las emisiones de efecto invernadero, producir un 20% con energías renovables en la Unión Europea y una mejora del 20% en eficiencia energética.

Para alcanzar estos objetivos de la Comisión Europea, el instrumento principal ha sido Energy Performance of Building Directive [5], promocionando construcciones Nearly Zero Energy Buildings (nZEB). También en España, se han establecido algunas políticas para alcanzar la reducción de demanda energética en los edificios, como en la aplicación de la directiva de autoconsumo de energía producida por energías renovables [6].

De acuerdo con la reducción de demanda energética, una tendencia que ha sido seguida, no solo en España sino también en Europa, ha sido construir acorde a algunas certificaciones energéticas. Este es el caso del certificado Passivhaus. Este certificado fue creado en Alemania y Suecia como un proyecto de investigación animado a minimizar la demanda energética total [7, 8].

En concepto de Passivhaus consiste en crear edificios de muy bajo consumo energético, estancos y con demanda energética muy reducida. Algunos estudios muestran que los edificios con este certificado consumen entre un 80 y un 90% menos energía para calefacción y refrigeración que edificios más convencionales, con solamente un incremento entre el 5 y el 10% [7, 8].

Para establecer este balance de confort y baja demanda energética, el equilibrio térmico se alcanza gracias a ganancias internas y sistemas de recuperación de calos en los sistemas de ventilación durante los periodos fríos, y principalmente mediante sistemas de sombreado en los periodos cálidos. También, ha de ser instalada el aislamiento térmico apropiado, previniendo puentes térmicos, así como las ventanas apropiadas

Concorde con el Instituto Passive House (PHI), su criterio para edificios residenciales Passivhaus es como se muestra en la siguiente Tabla 1:

1. Introduction

During the last decade, energy consumption in the European Union related to buildings accounts for 40% of the total consumption [1]. In Spain, it accounts for 18% of the total national consumption [2], and 17% in the Basque Country [3], considering only residential buildings.

From the European Union, some strategies and goals have been set up to reduce energy consumption. One of the most relevant to this topic is the 2020 targets [4], that suggests cutting 20% of greenhouse gas emissions, producing 20% of the energy from renewable sources in the European Union and a 20% improvement in energy efficiency.

To achieve the European Commission targets, the main instrument has been the Energy Performance of Building Directive [5], promoting Nearly Zero Energy Buildings (nZEB) constructions. As well as in Spain, some policies have been set to achieve a reduction of the energy demand in buildings as in the application of self-consumption of the energy produced by renewable sources [6].

According to the reduction of energy demand, one trend that has been followed up, not only in Spain but in Europe, is to build according to some energetical certifications. That's the case of the Passivhaus certificate. This certificate was created in Germany and Sweden as a research project aimed to minimize the total energy demand [7, 8].

The concept of Passivhaus consists of creating extremely low-energy consumption buildings, airtight and with low energy demand. Some studies show that those buildings with this certificate consume between 80 and 90% less energy for heating and cooling than conventional buildings, with just an additional constructing cost of 5 to 10% [7, 8].

To establish this balance of comfort and low energy use, the thermal equilibrium is achieved thanks to internal heat sources and heat recovery systems in the ventilation systems during the cold season, and mainly shading equipment for the warmer months. Also, the proper insulation on walls has to be installed preventing thermal bridges, as well as appropriate windows.

According to the Passive House Institute (PHI), their certification criteria for a residential Passive House is as seen on the following Table 1:

2. Thermal comfort analysis by different norms

The two most adopted models are the Thermal Balance Model or empirical models (UNE-EN ISO 7730:2006 and UNE-EN 15.251:2008) based on studies with climatic chambers, and the Adaptive Mo-

CRITERIA	DESCRIPTION	VALUES
HEATING	Specific heating demand	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
	Or alternatively: heating load	$\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
COOLING	Total cooling demand	$15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) + 0.3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{aK}) \cdot (\text{DDH})$
	Or alternatively: Cooling load	$\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
	And cooling demand	$4\text{kWh}/(\text{m}^2\text{aK}) \cdot v_e + 2 \cdot 0.3\text{W}/(\text{m}^2\text{aK}) \cdot \text{DDH} - 75\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ but $\leq 45\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a}) + 0.3\text{W}/(\text{m}^2\text{aK}) \cdot \text{DDH}$ (1)
PRIMARY ENERGY	Specific primary energy demand (2)	$\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
AIRTIGHTNESS	The pressure test result, n50	$\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$

- (1) DDH: Dry degree hours (time integral of the difference between the dew-point temperature and the reference temperature of 13°C throughout all periods during which this difference is positive.
- (2) Demand for heating, cooling, hot water, auxiliary electricity, domestic and common area electricity.

Table 01.
PHI criteria for residential certification.

2. Análisis de confort térmico según diferentes normativas

Los dos métodos más adoptados son el Modelo de Balance Energético o método empírico (UNE-EN ISO 7730:2006 y UNE-EN 15.251:2008) basados en los estudios con cámaras climatizadas, y los Modelos Adaptativos por la American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) basada en estudios de campo.

dels by the American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) based on field studies.

There isn't an absolute value to define thermal comfort, the most accepted definition worldwide is "the mental condition which expresses satisfaction with thermal environment". The evolution of different comfort models during the last 50 years can be seen in the following Figure 1:

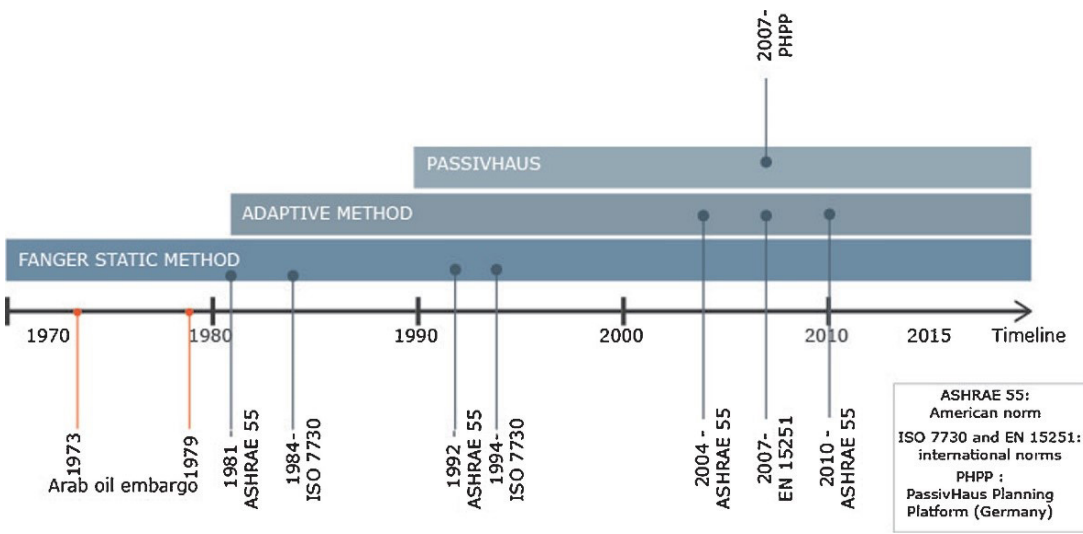


Figure 01.
Evolution of comfort models in the last 50 years [33].

No hay un valor absoluto que defina el confort térmico, la definición más aceptada mundialmente es " la condición mental que expresa satisfacción con el entorno térmico". La evolución de los diferentes modelos de confort durante los últimos 50 años es como se muestra en la siguiente Figura 1:

For Thermal Balance Model, as UNE-EN ISO 7730 [9], and those based on it, like Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE) [10] in Spain, applies to indoor environments where steady-state thermal comfort occurs. It will depend on the metabolic activity; the thermal resistance of the clothes wore and the assumed estimate percentage of unsatisfied people. The adaptative models take also natural ventilation into account.

Para el Modelo de Balance Térmico, como la UNE-EN ISO 7730 [9], y aquellas basadas en ella como el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE) [10] in España, se aplica a ambientes interiores donde el confort ocurre en estado permanente. Dependerá de la actividad metabólica, la resistencia térmica de la ropa puesta y el porcentaje asumido de

In Europe, some of this adaptative models are EN 15251 [11], in the United Kingdom CIBSE TM36, revised in TM52 [12] and the TM59 [13] while CIBSE standards, Guide A [14] follow an empirical model.

personas insatisfechas. El modelo adaptativo, tiene en cuenta también la ventilación natural.

En Europa, algunos de estos modelos adaptativos son EN 15251 [11], en el Reino Unido CIBSE TM36, revisado en TM52 [12] y la TM59 [13] mientras CIBSE standards, Guide A [14] sigue un modelo empírico.

For the Passive House Standard, the range of comfort it's based on a steady-state equation which predicts average monthly values without taking into account thermal inertia effects [15], for the cold climate it estimates the number of days with overheating during summer. These norms and their limits criteria can be seen in the following Table 2:

Table 02.

Comfort areas for different norms.

Standard	Limits criteria	References
ISO 7730	RHmin=40% and for maximum RHmax=60% Category A: Tmin 21°C, Tmax 25.5°C Category B: Tmin 20°C, Tmax 26°C Category C: Tmin 19°C, Tmax 27°C	[12, 18]
ASHRAE 55-1992	Tmin 20°C, Tmax 26°C RHmin=30% and RHmax=60%	[19] [18]
EN 15251	Combines ISO 7730 and ASHRAE 55-1992	[20]
CIBSE Guide A	Tmax 25°C for living rooms and 23°C for bedrooms Overheating when T>28°C 1% for living rooms and T>26°C 1% for bedrooms	[21]
CIBSE TM52	<3% of Tmax between May to September	[22]
CIBSE TM59	·Predominantly mechanically ventilated: T<26°C 3% annual occupied hours ·Predominantly naturally ventilated: For living rooms, kitchens and bedrooms: T increment less than 1°K from May to September less than 3% of occupied hours For bedrooms only, during sleeping hours (10 pm – 7 am) T<26°C <1%	[23, 24]
Passivhaus	T<25°C 10%, recommends <5%	[8, 17, 23]

Para el estándar Passivhaus, el rango de confort se basa en un estado permanente, cuya ecuación predice valores de media mensual sin tener en cuenta criterios sobre el efecto de la inercia térmica [15], para climas fríos estima un número de días con sobrecalentamiento en verano. Estas normas y sus criterios de confort se pueden observar en la siguiente Tabla 2:

3. Problemas de sobrecalentamiento en edificios altamente aislados y estancos

Como resultado del actual cambio climático con predicciones para un mundo más cálido, múltiples estudios han explorado el riesgo actual de sobrecalentamiento en edificios altamente aislados y estancos (como Passivhaus o nZEB) para investigar estrategias para minimizarlo [16, 17].

Focalizando los estudios en el sur de Europa, la siguiente Tabla 3 categoriza un resumen de algunas de estos últimos estudios sobre el confort en Passivhaus o edificios de bajo consumo energético y su grado de discomfort. La mayoría de estos estudios han sido realizados sobre casas unifamiliares y no muchos de ellos sobre edificios pasivos de vivienda colectiva.

Los autores también han observado en el grado de confort en casas unifamiliares es mayor que en aquellas colectivas, donde el discomfort es especialmente elevado en periodos cálidos. Una de las razones principales es que el estándar Passivhaus no ha sido diseñado para implementarse en esta tipología edificatoria [18].

3. Overheating issues in buildings with high insulation and airtightness

As a result of the actual climate change predictions for a warmer world, multiple studies have explored the actual overheating risk in highly insulated and airtight buildings (passive house or nearly-zero-energy buildings) to investigate strategies to minimize it [16, 17].

Focalizing in studies southern Europe, the following Table 3 displays a summary of some of the last studies about comfort in Passivhaus or low energy consumption dwellings and the amount of discomfort. Most of the studies are about single-family houses and not many of them address multi familiar passive buildings.

The authors have also seen that the comfort level in single-family houses is bigger than in multi familiar buildings, where the discomfort is especially high during warm seasons. One of the main reasons is that Passivhaus standards are not designed to be implemented in this type of dwellings [18].

4. Main strategies to mitigate the overheating issue

The literature [18, 23] sets different possibilities and strategies to mitigate the overheating risk during the warm season for each of the parameters and factors that cause it [16, 23]:

- Occupant behaviour: limit the internal gains [18, 23].

LOCATION	REFERENCE	TYPOLOGIE (1)	DYNAMIC SIMULATION	MONITORIZATION	BUILT	COMFORT MODE	OVERHEATING	STRATEGIES RECOMMENDEND
VITORIA (SPAIN)	[27]	U	No	Yes	Yes	ISO 7730 EN15251	9,8% time in summer (ISO 7730) 0,2% time in summer (EN15251)	Verification of occupancy, shape, activity and orientation to achieve comfort.
NIZA (ITALY)	[27]	S	Yes	No	No	Hours >25°C	In comfort	Night ventilation to passive cooling
LISBON (PORTUGAL)	[28]	S	Yes	No	No	Hours >25°C	Occasionally	Need to active cooling system
LÉRIDA (SPAIN)	[27]	U	No	Yes	Yes	>26° C	In comfort	Solar protection and courtyard
MASCALUCIA (ITALY)	[29]	U	No	Yes	Yes	Fanger's comfort (winter) Hours >25°C, adaptative	Almost no discomfort.	Passive and low-energy solutions during cooling and intermediate period Active solutions during the heating season
BIRMINGHAM (UK)	[27]	M	No	Yes	Yes	Hours >25°C, adaptative	72% apartments with over 25°C in excess	None
SOUTH TYRO (ITALY)	[27]	M	No	Yes	Yes	Hours >25°C	48% (4225h) >25°C	Reduce internal gains Improve mechanical ventilation
SOUTH TYRO (ITALY)	[27]	M	Yes TRNSYS	Yes	No	Hours >25°C	13% >25°C	Improve mechanical ventilation schedule
CESENA (ITALY)	[30]	M	Yes Energy Plus (3 cases)	Yes	Yes	EN 15251 > 25°C	<u>Existing:</u> 22% >25°C 24% >27°C <u>Case a:</u> 29% >25°C 15% >27°C <u>Case b:</u> 28% >25°C 14% >27°C <u>Case c:</u> 16% >25°C 5% >27°C	Existing: Night ventilation, Solar protection Simulations: Lowering the insulating materials thickness (roof and wall) Using double-glazed low-emissive windows Hybrid or natural ventilation strategies
BILBAO (SPAIN)	[31]	M	No	Yes	Yes	>25%	10% of 1775hours >25°C	Study in progress

(1). Single family: U, Semi-detached house, S: Multifamily building: M.

Table 03. Resume of studies about comfort in highly insulated and airtight buildings.

4. Estrategias principales para mitigar la problemática de sobrecalentamiento

Acorde a la literatura [18, 23] establece diferentes posibilidades y estrategias para mitigar el riesgo de sobrecalentamiento durante periodos cálidos para cada uno de los parámetros y factores que la causan [16, 23]:

- Ocupación: limitar las ganancias internas [18, 23].
- Límite temperaturas interiores: usar un termostato para controlar el sistema de ventilación con
- Indoor set-point temperatures: use a thermostat control in the HVAC system with a specific temperature range [18].
- Situations of buildings: Exterior shading devices, automatic shading devices and/or green roofs. [24, 25]
- Orientation of the building: if high window to wall ratio, preferable to orientate south. Taking into consideration its advantages during winter via solar heat gains but risk for overheating during summer [24].
- Setting of building facilities: night ventilation ins-

un rango de temperaturas específico [18].

- Emplazamiento del edificio: sistemas de sombreamiento exterior, sistemas automáticos y/o cubiertas vegetales [24, 25].
- Orientación: si el ratio ventana-pared es elevado, preferiblemente orientarlo a sur. Considerando las ventajas durante el periodo de invierno vía ganancias térmicas solares pero el riesgo de sobrecalentamiento durante el verano [24].
- Configuración del edificio: ventilación nocturna en vez de sistemas activos de refrigeración en verano y ventilación mecánica con recuperador de calor [18]
- Espesor del aislamiento térmico: depende del clima. Cuando están elevadamente aislados a veces es mejor reducir su espesor en la cubierta y fachadas [21].
- Tipo de vidrio: en algunos casos es mejor utilizar ventanas bajo-emisivas y doble acristalamiento [21].
- Sistemas del edificio: mejorar el rendimiento y aislamiento de la producción de ACS y sistemas de almacenamiento, evitando sistemas de calefacción centralizada en bloques de apartamentos. [18].

5. Trabajos previos de investigación sobre sistemas de sombreamiento en edificios

Un sistema óptimo de sombreamiento ha de ser capaz de proveer no únicamente un correcto confort visual, también un correcto confort térmico, permitir ganancias solares durante el período frío mientras protege lo suficiente para evitar el sobrecalentamiento en el período cálido, también ha de ser económicamente viable.

Considerando el comportamiento de usuario seguramente no seguirá la predicción del diseñador, un sistema de sombreamiento eficiente ha de tener en cuenta varias variables relacionadas con su uso y funcionalidad, como por ejemplo, confort térmico, confort visual, bajo costo, alta fiabilidad, requerimientos estéticos, concordancia con condiciones técnicas (dimensiones de montaje, de plegado, ...) y la protección al fuego, ruido, clima y robos [26].

A continuación, se ha realizado un análisis de la lectura, exponiendo los términos considerados y las conclusiones alcanzadas sobre sistemas de sombreamiento. Estas consideraciones y procesos serán considerados en el caso de estudio para analizar y determinar cuáles serían los mejores sistemas.

Una conclusión que se ha llegado de manera común

tead of active cooling in summer and mechanical ventilation with heat recovery [18].

- Thermal insulation thickness: depends on the local climate. When highly insulated sometimes it's better to reduce its thickness on roof and walls [21].
- Glazing type: some cases are better to use double-glazed low-emissive windows [21].
- Building systems: Improve the performance and insulation of DHW production and storage system, void heating centralized systems in apartments blocks [18].

5. Previous research works about shading systems in buildings

An optimal sun-shading system must be able to provide not only a correct visual comfort but also thermal comfort, permitting solar gains during the cold season while protecting enough to avoid overheating in the warm season. This system has to be economically reliable.

Taking into consideration the user's behaviour will most probably not follow designer prediction, an efficient sun-shading system should take into account several variables related to their functionality and use, like for example, thermal comfort, visual comfort, low costs, high reliability, aesthetic requirements, compliance with technical boundary conditions (mounting dimensions, dimensions when the shutters are down, ...) and protection against fire, noise, weather and burglary [26].

Hereunder, an analysis of the lecture has been done, exposing the terms taken into account, and the conclusions about shading systems that have been achieved. These considerations and process will be considered in the case study to analyse and determine which would be the best shading system.

A conclusion that has been commonly achieved it's that energy savings increase when using external shading as compared to internal

Kim et al. [28] studied for a high-rise residential building in South Korea the performance of different shading devices. They simulated four different shading systems, analysing their impact on the heating and cooling demand: the conventional overhang is greatly used and it is independent of its projecting depth; the conventional shutter system, in which the slat can be regulated to control sunlight; internal and external light shelves with slats that improve daylighting performance and exterior shading device.

Alzouby et al. [27] assessed in a typical small office in Amman city (Jordan) through a computer simulation, the effect of shading devices on the amount of

es que el ahorro energético incremento cuando se utilizad elementos de sombreamiento exterior comparado con sistemas interiores [27, 28].

Kim et al. [28] estudia en edificios residenciales en altura en Corea del Sur el comportamiento de diferentes sistemas de sombreamiento. Han simulado cuatro sistemas diferentes, analizando su impacto en la demanda de calefacción y refrigeración: el voladizo convencional se usa mucho y es independiente de su profundidad de proyección; el sistema de lamas convencional, en el cual la lama se puede regular para controlar la luz solar; estantes de luz internos y externos con listones que mejoran el rendimiento de la luz natural y el dispositivo de sombra exterior.

Alzouby et al. [27] asesoraron mediante simulación una oficina pequeña en Amman (Jordania), el efecto de sistemas de sombreamiento en la cantidad incidente de luz y consumo energético. La conclusión fue que hay una orientación óptima para los sistemas de sombreamiento, que aguarda la iluminación natural en un rango aceptable con la mínima ganancia térmica solar.

Aunque los sistemas de sombreamiento verticales proveen una iluminación natural muy buena y una buena visión desde el interior al exterior, proveen una ganancia térmica solar, lo que puede influir en la decisión de que sistema de sombreamiento elegir.

Wang [23] presenta una estrategia de control para los sistemas de sombreamiento orientados a sur. Si garantiza un 70% de sombreamiento durante los periodos cálidos, muestra una bajada en la demanda de calefacción y refrigeración. Los sistemas automáticos [29, 30] reducen significativamente la reducción de calefacción respecto a sistemas manuales.

Bellia et al. [31] estudian el efecto de sistemas de sombreamiento exterior en edificios de oficinas aislados en tres diferentes climas italianos y su influencia en calefacción, refrigeración e iluminación. Se reduce la demanda de refrigeración, pero aumenta la de calefacción e iluminación. También, considera la influencia de la orientación cuando se escogen diferentes sistemas de sombreamiento. Se ha probado que los sistemas de sombreamiento son más eficientes en climas con veranos cálidos.

Palmero-Marrero [32], estudia el uso de voladizos para fachadas a sur y lamas al este y oeste, llegando a la conclusión que es conveniente orientar a norte y sur las partes largas del edificio. En la orientada a sur, influye en la profundidad del voladizo la altura de la ventana, por ejemplo, si la altura mide 1,5m de alto un voladizo de 1m es adecuado, pero si la ventana es más alta la profundidad del voladizo ha de incrementar.

incident light and energy consumption. It concluded that there is an optimal orientation for shading devices that keeps the internal light at an acceptable range with the minimum solar heat gain.

Although vertical shading devices provide very good daylight and a good vision from the inside to the outside, nevertheless they provide a minimum heat gain, which may influence the decision on which solar-shading system to elect.

Wang [23] presents a control strategy for the sun-shading system for south-facing façade, if is 70% shading during the non-heating season, shows low wall heating and cooling demand. Automatic shading [29, 30] system reduces significantly heating demand compared to a manual system.

Bellia et al. [31] study different effects of external solar shading devices on standalone offices buildings in three different Italian climates and its influence in heating, cooling and lighting systems. It reduces the cooling demand but increasing the heating and lighting demand. Also, it takes into account the influence of the orientation when choosing different shading systems. It has been proved that solar shading devices are more efficient in warmer summer climates.

Palmero-Marrero [32], study when using overhangs for south-facing façades and louvres on the east and west, the following conclusion is achieved, is convenient to orientate toward the north and south the long sides of the building. On the south-facing façade, influences on the depth of the overhang the window height, for example, the for a 1.5m window height an overhang of 1m is suitable, but if the window is higher the depth of the overhang should increase.

6. Presentation of the case study

a. Study of the base scenario

The base scenario is based on the actual data of the residential tower in Bolueta, Bilbao, which construction finished in 2018 and was certified as Passivhaus. The project has 171 apartments on 28 floors. Following the Passivhaus standards, it's an extremely high insulated and airtight building. The structure is made of reinforced concrete and the internal partitions with high insulated plasterboard. The façade is ventilated with high insulations and finished with black aluminium panels, which change its angle towards the façade.

The triple-glazed windows with PVC frame have achieved low transmittances such as 1 W/(m²K) and 0,55 W/(m²K) for the glazing. The heating and domestic hot water production are centralized, and the mechanical ventilation system it's individual for each apartment. There is no cooling system.

6. Presentación del caso de estudio

a. Estudio del escenario base

El escenario base está basado en los datos actuales de la torre residencial en Bolueta, Bilbao, cuya construcción terminó en 2018 y ha sido certificada como Passivhaus. El proyecto consta de 171 vivienda en 28 plantas. Siguiendo los estándares Passivhaus es un edificio altamente aislado y estanco. Con estructura de hormigón armado y particiones internas aisladas de placas de yeso. La fachada es ventilada con elevado aislamiento y acabado en paneles de aluminio negro, que cambian de ángulo respecto a la fachada.

Las ventanas de triple vidrio con marcos de PVC alcanzan bajas transmitancias tales como 1 W/(m²K) y 0,55 W/(m²K) para el vidrio. La producción de calefacción y ACS está centralizada, el sistema de ventilación mecánica es individual para cada apartamento. No existe sistema de refrigeración.

Después de un completo análisis de las 14 tipologías considerando:

- Número de orientaciones.
- Tipo de tendedero: si está cerrado con una chapa de aluminio o abierto.
- Superficie de cada tipología: comparando su ocupación real extrapolada de las encuestas con la del CTE, obteniendo superficie por persona.
- Relación entre la superficie de ventana y fachada, también respecto superficie del suelo.

Se concluye que las tipologías más interesantes son la TII, TV t TXIII para estudiar el sobrecalentamiento actual y posibles mejoras con sistemas de protección solar.

Se ha detectado que las casas están sobrecalentadas, alcanzando temperaturas tales como 34°C, como se indica en el estudio realizado por el equipo de investigación Caviar de la UPV/EHU. Múltiples factores han inducido a este aumento de la temperatura:

- Ventilación mecánica: el aire no proviene del exterior, sino del tendedero que está a una temperatura más elevada que el exterior, a causa de estar semi-cerrado con chapas metálicas de color negro y orientadas a sur.
- Falta de sistemas de sombreado exterior, únicamente un estor interior que crea una cámara de aire caliente entre el vidrio y el estor. Tampoco permite abrir completamente la ventana.
- 26% de las casas son mono-orientadas, 42% orientación doble en esquina y 32% ventilación

After a full analysis of the 14 typologies considering:

- Number of orientations.
- Type of semi-closed terrace: if it's closed with an aluminium panel or its open.
- Surfaces of each typology: its occupation and compared to the real one taken from the survey, resulting in the surface per person.
- Relation between the window surface and façade, as well as the regarding the floor surface.

It has been concluded that the most interesting typologies are the TII, TV and TXIII, to study its current overheating situation and possible improvement with solar protection systems.

It has been detected that these houses are overheated, achieving high temperatures such as 34°C, as indicated in the study by the research team Caviar in the UPV/EHU. Several factors induce this incrementation of the temperature.

- Mechanical ventilation: the air doesn't come from the outside but for the semi-closed terrace. Which's temperature is higher than the outside due to its closeness with black, most south-orientated, aluminium panels.
- Lack of external shading system, only an internal blind which creates a hot chamber between the glass and the blind. Also doesn't allow the full opening of the window.
- 26% of houses are mono-orientated, 42% double corner orientated and 32% cross ventilation which effects on the natural ventilation that helps with the reduction of its internal operative temperature.

b. Characteristics of the model

From the base model, each parameter will be simulated with and without to analyse its influence on the inside temperature asset on the following Table 4:

c. Analysis of the results

It's been considered that if the variation of temperature is higher than 0,5°C, the variation is not depreciable. Analysing the winter period, Figure 2, the following considerations have been observed:

- The scenario without mechanical ventilation it's the one that increases the most the temperatures, especially the maximum ones. Also, the scenario where the occupation occurs 24/7, increases the inner temperature. And in those where the natural ventilation has a higher effect when it's not activated, the inner temperatures

	Considered	Not considered
Infiltration	0,4 ren/h at 50 Pa	No infiltration
Mechanical ventilation system	On 24/7; three positions:	Off
	25% (M-F, 7h-15h)	
	50 (M-F, 15h-23h)	
	100% (M-F, 23h-7h and S-S, 24h)	
Natural ventilation	20% (hinged window), max 1 ren/h	Off
	Winter: 12h-14h	
	Summer: 20h-8h	
Solar protection	Fully unfolded when inner T>25°C	Off
	Winter: 12h-17h	
	Summer: 10h-19h	
Heating	Guarantee inner T>20°C [W/m ² year]	Off
Cooling	Guarantee inner T<25°C [W/m ² year]	Off
Occupancy	CTE: 0,05 pers/m ²	-
	Surveys: 0,03 pers/m ²	
Time of the occupation	CTE:	Without occupation (0%, 24/7)
	25% (M-F, 7h-15h)	
	50 (M-F, 15h-23h)	
	100% (M-F, 23h-7h and S-S, 24h)	
	Full time (100%, 24/7)	

Table 04.
Parameters simulated.

cruzada, la cual afecta en la ventilación natural que ayuda a reducir las temperaturas interiores.

b. Características del modelo

Desde el modelo base, cada parámetro va a ser simulado con y sin él para analizar su influencia sobre la temperatura interior conforme a la Tabla 4:

c. Análisis de los resultados

Se ha considerado que si la variación de temperatura es superior a 0,5°, no es despreciable. Analizando el periodo de invierno, Figura 2, se observan las siguientes consideraciones:

- El escenario sin ventilación mecánica es en el que más incrementan las temperaturas, especialmente las máximas. También, el escenario donde la ocupación es constante, incrementa la temperatura interior. Y en aquellos donde la ventilación natural tiene un efecto mayor y cuando no se activado, también incrementan las temperaturas.
- Contrariamente, cuando la ventilación natural se activa, la ocupación considerada es la real y también cuando la ocupación es nula, las temperaturas interiores disminuyen.
- Aquellos escenarios donde la variación de tem-

increase also.

- On the other hand, when natural ventilation is activated, the occupancy considered is from the surveys and when there is no occupation at all, the inner temperatures decrease.
- Those scenarios where the temperature variation is depreciable, are those where the original number of infiltrations is taken into account and the one which the heating is activated (it never arrives at its setpoint temperature).

During the summer period, Figure 3:

- The scenario without mechanical ventilation and the scenario without solar protection the inner temperature increase, the maximum and the minimums, being more notable in the scenario without mechanical ventilation.
- The scenarios where the natural ventilation is activated, the refrigeration is activated, the density of occupation is the real one and there is no occupation at all, the inner temperatures decreases.
- The scenario with the measured number for infiltration and the one with a full occupation, the variation of temperature is depreciable.

WINTER	To min int °C	T max int °C	Average T
1_I_IO_VM1_VN0_PS1_CLO_RFO_OCTE_TOCTE_TII	23,43	30,33	27,31
2_I_IPH_VM1_VN0_PS1_CLO_RFO_OCTE_TOCTE_TII	23,2	30,15	27,10
3_I_IO_VM0_VN0_PS1_CLO_RFO_OCTE_TOCTE_TII	25,83	38,51	34,24
4_I_IO_VM1_VN1_PS1_CLO_RFO_OCTE_TOCTE_TII	23,39	28,96	26,24
5_I_IO_VM1_VN0_PS0_CLO_RFO_OCTE_TOCTE_TII	23,33	29,73	27,38
6_I_IO_VM1_VN0_PS1_CL1_RFO_OCTE_TOCTE_TII	23,44	30,33	27,31
8_I_IO_VM1_VN0_PS1_CLO_RFO_OR_TOCTE_TII	22,8	29,26	26,15
9_I_IO_VM1_VN0_PS1_CLO_RFO_OCTE_TOT_TII	24,25	31,21	28,32
10_I_IO_VM1_VN0_PS1_CLO_RFO_OCTE_TON_TII	21,52	27,08	23,91
1_I_IO_VM1_VN0_PS1_CLO_RFO_OCTE_TOCTE_TV	21,87	28,44	24,79
2_I_IPH_VM1_VN0_PS1_CLO_RFO_OCTE_TOCTE_TV	21,81	28,05	24,42
3_I_IO_VM0_VN0_PS1_CLO_RFO_OCTE_TOCTE_TV	23,93	34,87	30,40
4_I_IO_VM1_VN1_PS1_CLO_RFO_OCTE_TOCTE_TV	21,92	27,73	24,44
5_I_IO_VM1_VN0_PS0_CLO_RFO_OCTE_TOCTE_TV	21,87	28,99	24,87
6_I_IO_VM1_VN0_PS1_CL1_RFO_OCTE_TOCTE_TV	21,81	28,41	24,70
8_I_IO_VM1_VN0_PS1_CLO_RFO_OR_TOCTE_TV	21,04	27,31	23,52
9_I_IO_VM1_VN0_PS1_CLO_RFO_OCTE_TOT_TV	22,74	29,58	25,99
10_I_IO_VM1_VN0_PS1_CLO_RFO_OCTE_TON_TV	18,77	25,36	21,18
1_I_IO_VM1_VN0_PS1_CLO_RFO_OCTE_TOCTE_TXIII	22,98	28,65	25,78
2_I_IPH_VM1_VN0_PS1_CLO_RFO_OCTE_TOCTE_TXIII	22,84	28,36	25,52
3_I_IO_VM0_VN0_PS1_CLO_RFO_OCTE_TOCTE_TXIII	25,33	37,93	33,24
4_I_IO_VM1_VN1_PS1_CLO_RFO_OCTE_TOCTE_TXIII	22,96	27,61	25,13
5_I_IO_VM1_VN0_PS0_CLO_RFO_OCTE_TOCTE_TXIII	22,98	29,15	25,84
6_I_IO_VM1_VN0_PS1_CL1_RFO_OCTE_TOCTE_TXIII	22,98	28,65	25,79
8_I_IO_VM1_VN0_PS1_CLO_RFO_OR_TOCTE_TXIII	22,06	27,16	24,28
9_I_IO_VM1_VN0_PS1_CLO_RFO_OCTE_TOT_TXIII	23,85	29,88	27,09
10_I_IO_VM1_VN0_PS1_CLO_RFO_OCTE_TON_TXIII	19,51	24,35	21,34

Figure 02.

Maximum, minimum and average temperature in each scenario during winter.

peratura es despreciable, son aquellos donde se utiliza la infiltración real y cuando la calefacción se activa (nunca llega a activarse).

Durante el periodo de verano, Figura 3:

- El escenario sin ventilación mecánica y el escenario sin protección sola, la temperatura interior máxima y mínima aumenta, siendo más notorio en el escenario sin ventilación mecánica.
- Los escenarios donde se activa la ventilación natural, la refrigeración, la densidad de ocupación es la real y la ocupación es nula, las temperaturas interiores disminuyen.
- El escenario con las infiltración real y ocupación constante la variación de temperaturas es despreciable.

d. Definición del estado base

Considerando las variables anteriores que influyen

d. Definition of the base scenario

Considering the previous variables that influence on the inner temperature, the base scenario that will be taken into account to present the different shading system solutions and evaluate its improvement will have the following characteristics:

Infiltration OFF / Mechanical ventilation ON / Natural Ventilation ON / Existing solar protection / Heating OFF / Cooling OFF / Occupancy REAL / Time of occupation CTE.

This scenario has been chosen because its proximity to the reality, as well as the results of the inner temperatures, are close to those obtained at the monitored data.

7. Shading system

As mentioned before, some improvements are considered related to shading devices, analysing how much the inner temperature decreases. The first

SUMMER	To min int °C	T max int °C	Average T
1_V_I0_VM1_VN0_PS1_CL0_RFO_OCTE_TOCTE_TII	29,99	35,34	33,27
2_V_IPH_VM1_VN0_PS1_CL0_RFO_OCTE_TOCTE_TII	29,98	35,26	33,19
3_V_I0_VM0_VN0_PS1_CL0_RFO_OCTE_TOCTE_TII	32,28	42,89	38,90
4_V_I0_VM1_VN1_PS1_CL0_RFO_OCTE_TOCTE_TII	26,63	31,16	28,71
5_V_I0_VM1_VN0_PS0_CL0_RFO_OCTE_TOCTE_TII	30,44	36,11	34,06
7_V_I0_VM1_VN0_PS1_CL0_RF1_OCTE_TOCTE_TII	23,00	25,35	23,83
8_V_I0_VM1_VN0_PS1_CL0_RFO_OR_TOCTE_TII	29,43	35,09	32,85
9_V_I0_VM1_VN0_PS1_CL0_RFO_OCTE_TOT_TII	30,44	35,50	33,58
10_V_I0_VM1_VN0_PS1_CL0_RFO_OCTE_TON_TII	28,47	34,46	31,95
1_V_I0_VM1_VN0_PS1_CL0_RFO_OCTE_TOCTE_TV	29,92	35,83	33,49
2_V_IPH_VM1_VN0_PS1_CL0_RFO_OCTE_TOCTE_TV	29,88	35,71	33,34
3_V_I0_VM0_VN0_PS1_CL0_RFO_OCTE_TOCTE_TV	32,10	42,56	38,77
4_V_I0_VM1_VN1_PS1_CL0_RFO_OCTE_TOCTE_TV	26,66	31,68	28,93
5_V_I0_VM1_VN0_PS0_CL0_RFO_OCTE_TOCTE_TV	30,43	36,95	34,48
7_V_I0_VM1_VN0_PS1_CL0_RF1_OCTE_TOCTE_TV	23,00	25,40	23,77
8_V_I0_VM1_VN0_PS1_CL0_RFO_OR_TOCTE_TV	29,38	35,62	33,10
9_V_I0_VM1_VN0_PS1_CL0_RFO_OCTE_TOT_TV	30,34	35,96	33,77
10_V_I0_VM1_VN0_PS1_CL0_RFO_OCTE_TON_TV	28,49	35,07	32,27
1_V_I0_VM1_VN0_PS1_CL0_RFO_OCTE_TOCTE_TXIII	29,86	35,89	33,76
2_V_IPH_VM1_VN0_PS1_CL0_RFO_OCTE_TOCTE_TXIII	29,84	35,76	33,64
3_V_I0_VM0_VN0_PS1_CL0_RFO_OCTE_TOCTE_TXIII	32,21	46,49	41,24
4_V_I0_VM1_VN1_PS1_CL0_RFO_OCTE_TOCTE_TXIII	26,32	31,07	28,64
5_V_I0_VM1_VN0_PS0_CL0_RFO_OCTE_TOCTE_TXIII	30,40	36,98	34,74
7_V_I0_VM1_VN0_PS1_CL0_RF1_OCTE_TOCTE_TXIII	23,00	25,13	23,75
8_V_I0_VM1_VN0_PS1_CL0_RFO_OR_TOCTE_TXIII	29,26	35,67	33,34
9_V_I0_VM1_VN0_PS1_CL0_RFO_OCTE_TOT_TXIII	30,34	36,00	34,06
10_V_I0_VM1_VN0_PS1_CL0_RFO_OCTE_TON_TXIII	28,25	35,01	32,36

Figure 03. Maximum, minimum and average temperature in each scenario during summer.

en la temperatura interior, el escenario base que va a ser tenido en cuenta para presentar diferentes soluciones de sombreadimiento y evaluar su mejor tendrá las siguientes características:

Infiltraciones OFF / Ventilación mecánica ON/ Ventilación natural ON / Solar protección actual / Calefacción OFF/ Refrigeración OFF / ocupación REAL / Tiempo de ocupación CTE.

Este escenario ha sido escogido por su proximidad a la realidad, así como por los resultados de las temperaturas interiores son más cercanos a los datos monitorizados.

7. Sistema de sombreadimiento

Como se ha mencionado previamente, algunas mejoras están relacionadas con sistemas de sombreadimiento analizando cuando disminuyen las temperaturas interiores. La primera mejora va a estar relacionada con las propiedades físicas del vidrio, mientras que el resto van a ser implementaciones

improvement is going to be related to the physical characteristics of the glazing, while the rest will be implementing some external shading devices.

a. Improvement on the glazing

The windows have triple glazing with a transmittance of 0,5 W/m²·K, a light transmission of 0,6 and a total solar transmission of 0,57 (SHGC). It's proposed to implement a layer that sticks on the inner side of the glazing reducing its light transmission to 0,23, remaining the others.

The following Table 5 represents the temperatures of this scenario compared to the base scenario without any solar protection.

During the winter the higher reduction takes place in the TV, with a difference of 1,38°C of its maximum temperatures. While in the minimum temperatures are almost depreciable. During the summer, the reduction of temperatures takes place as well in the maximum and the minimum temperatures. Again,

Table 05.

Temperatures difference between no solar protection and layer protection in the glazing.

Winter	2.EB_2_I	_TII	22,77	28,51
	4.SL_I	_TII	22,74	27,49
	Difference		-0,03	-1,02
	2.EB_2_I	_TV	21,34	27,39
	4.SL_I	_TV	20,71	26,01
	Difference		-0,63	-1,38
Summer	2.EB_2_I	_TXIII	22,17	26,95
	4.SL_I	_TXIII	21,96	26,21
	Difference		-0,21	-0,74
	2.EB_2_V	_TII	26,51	31,25
	4.SL_V	_TII	25,82	30,55
	Difference		-0,69	-0,7
	2.EB_2_V	_TV	26,7	31,89
	4.SL_V	_TV	25,66	30,81
	Difference		-1,04	-1,08
	2.EB_2_V	_TXIII	26,13	31,15
	4.SL_V	_TXIII	25,43	30,36
	Difference		-0,7	-0,79

de sistemas de sombreado exteriores.

a. Mejora en el vidrio

Las ventanas con triple vidrio con una transmitancia de 0,5 W/m²·K, transmisión solar de 0,6 y una transmisión solar total de 0,57. Se propone añadir una lámina adhesiva en el lado interior del vidrio, que reduce la transmisión solar a 0,27, manteniendo el resto de sus propiedades.

En la siguiente Tabla 5: Diferencias de temperatura entre ninguna protección solar y lámina de protección en el vidrio. se representa las temperaturas de este nuevo escenario comparado con el escenario base sin ninguna protección solar.

Durante el invierno, la reducción máxima de temperaturas ocurre en la TV, con una diferencia entre sus temperaturas máximas de 1,38°C. Mientras que la variación entre las temperaturas mínimas es casi despreciable. Durante el verano, la reducción de temperatura ocurre en las temperaturas máximas y mínimas. De nuevo, la máxima reducción ocurre en la TV con una diferencia de 1,08°C.

b. Sombreamiento exterior

Acorde con la literatura, los sistemas de sombreado exterior presentan mejores resultados que los interiores. Los sistemas que van a ser simulados y cuyas temperaturas analizadas son:

- **Estor exterior:** se va a considerar el mismo exterior que hay actualmente en el interior del edificio, pero colocándolo en el exterior de la ventana.
- **Voladizo opaco:** siguiendo el mismo diseño que

the maximum reduction is on the TV with a difference of 1,08°C.

b. External shading devices

According to the literature, external shading devices present better results than inner ones. The devices that have been simulated and its temperatures will be analysed are:

- **External blind:** it will be considered that the same blind that is currently on the building on the inside, but instead, it will be located on the outside of the window.
- **Opaque overhang:** following the same design as the rest of the façade, an overhang with the same angle variation as the façade is going to be located in front of each window. Using the same materials, such as the aluminium panel making a continuous façade. The total length of the piece is 1m.
- **Translucid overhang:** the same overhang as before but this time with the microperforated aluminium panel that is used in the closed terrace. This allows the same continuity with the façade as before, as well as allowing a better view from the inside to the outside. Its dimensions are the same.

On the following Table 6 and Table 7 is represented the reduction of the inner temperature in winter and summer respectively.

The first main observation that can be made is that the overhang makes a better reduction of the inner temperatures than when with the blind on the inside

		To mín int °C	To máx int °C
WINTER	1.EB_1_I _TII	22,77	28,09
	1.EB_1_I _TV	21,18	26,95
	1.EB_1_I _TXIII	22,17	26,69
	3.SE_I _TII	0	-0,51
	5.SV_O_I _TII	-0,03	-1,08
	6.SV_T_I _TII	-0,03	-1,04
	3.SE_I _TV	0,16	-0,48
	5.SV_O_I _TV	-0,5	-1,38
	6.SV_T_I _TV	-0,65	-1,42
	3.SE_I _TXIII	0	-0,22
	5.SV_O_I _TXIII	-0,18	-0,57
	6.SV_T_I _TXIII	-0,18	-0,58

		To mín int °C	To máx int °C
SUMMER	1.EB_1_V _TII	25,97	30,60
	1.EB_1_V _TV	26,03	31,14
	1.EB_1_V _TXIII	25,59	30,42
	3.SE_V _TII	-0,64	-0,75
	5.SV_O_V _TII	-0,60	-0,54
	6.SV_T_V _TII	-0,51	-0,44
	3.SE_V _TV	-1,05	-1,34
	5.SV_O_V _TV	-0,83	-0,84
	6.SV_T_V _TV	-0,73	-0,75
	3.SE_V _TXIII	-0,58	-0,76
	5.SV_O_V _TXIII	-0,28	-0,23
	6.SV_T_V _TXIII	-0,26	-0,21

el resto de la fachada, se va a colocar un voladizo con la misma variación angular respecto a la fachada enfrente de cada ventana. Utilizando el mismo material, como las planchas de aluminio consiguiendo una continuidad en la fachada. Con una longitud total de la pieza de 1m.

- **Voladizo translúcido:** El mismo voladizo anterior, pero con la plancha de aluminio microperforado utilizado en los tendedores. Esto permite la misma continuidad en la fachada que el anterior pero también permitiendo una mejor vista desde el interior al exterior. Sus dimensiones son las mismas.

En la siguientes Tabla 6 y Tabla 7 se representa la reducción de la temperatura interior en invierno y verano respectivamente.

La primera observación es que el voladizo reduce más las temperaturas interiores que el estor (tanto por el interior como por el exterior).

En invierno, la reducción de las temperaturas con el estor por el exterior afectan principalmente a la TII (la mono-orientada a sur), alcanzando una reducción de 0,51°C. El impacto en la TV y TXIII es despreciable. En la TII la disminución de las temperaturas con el voladizo translúcido respecto al opaco es ligeramente inferior, mientras que en la TV y la TXIII ocurre lo contrario, la mayor reducción ocurre con el voladizo translúcido, siendo la mayor reducción en la TV con 1,42°C.

En verano, ocurre lo contrario, la reducción de las temperaturas es mayor con el estor exterior que con el voladizo. La máxima reducción de temperatura se produce de nuevo en la TV, con una reducción de sus máximas de 1,34°C. De nuevo, la diferencia entre opaco y translúcido es reducida. En la TII y TV la reducción es mayor con la opaca, mientras que en la TXIII es despreciable.

or the outside.

On the winter, the reduction of temperatures with the external blind affects mainly the TII (which is mono-orientated to the south), arriving at a reduction of 0,51°C. The impact on the TV and TXIII is depreciable. On the TII the reduction of temperatures with the translucid overhang compared to the opaque one is slightly lower, while on the TV and TXIII it's the opposite, where the greatest reduction happens with the translucid overhang, its lower reduction is on the TV with 1,42°C.

On the summer, the opposite happens, the reduction of temperatures is greater with the external blind than with the overhang. This maximum reduction of temperature is achieved again on the TV, with a reduction on its maximum temperatures of 1,34°C. Again, the difference between the opaque and translucid overhang is narrow. On the TII and TV is greater the reduction with the opaque one, while its impact on the TXIII is depreciable.

8. Conclusions

On Figure 4 and Figure 5 it's presented, for the winter and summer respectively, the following data per each scenario on each typology:

- Percentage of hours above 25°C respect the total amount of data analysed
- Maximum temperature achieved
- Minimum temperature achieved
- Average temperature

Considering the previous results obtained from different solar shading systems, analysing it with the Passivhaus limitations, there is no thermal comfort. Due to its limitation for 10% of hours above 25°C (re-

Table 06.

Reduction of temperatures from external shading devices in winter.

Table 07.

Reduction of temperatures from external shading devices in summer.

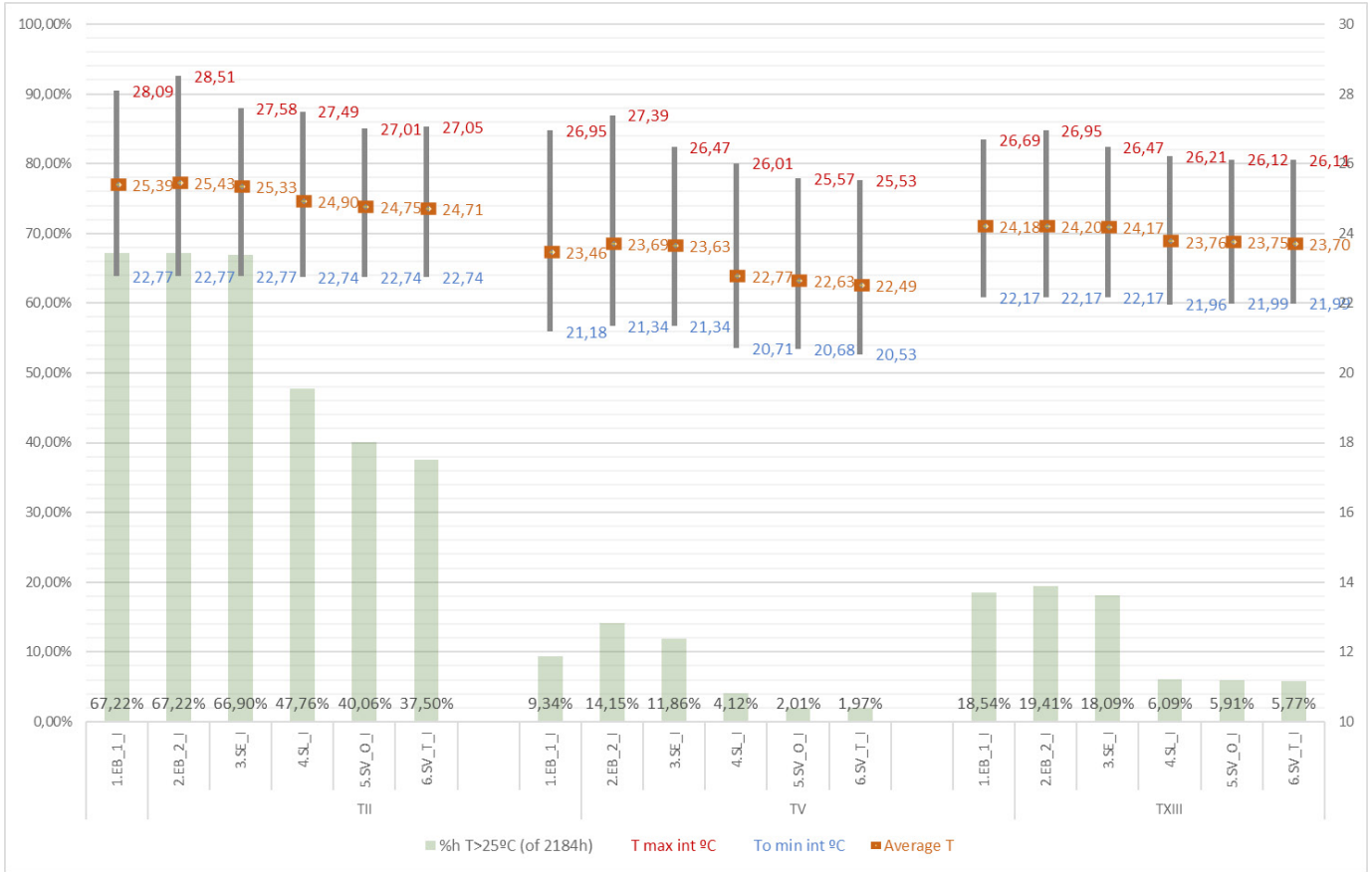
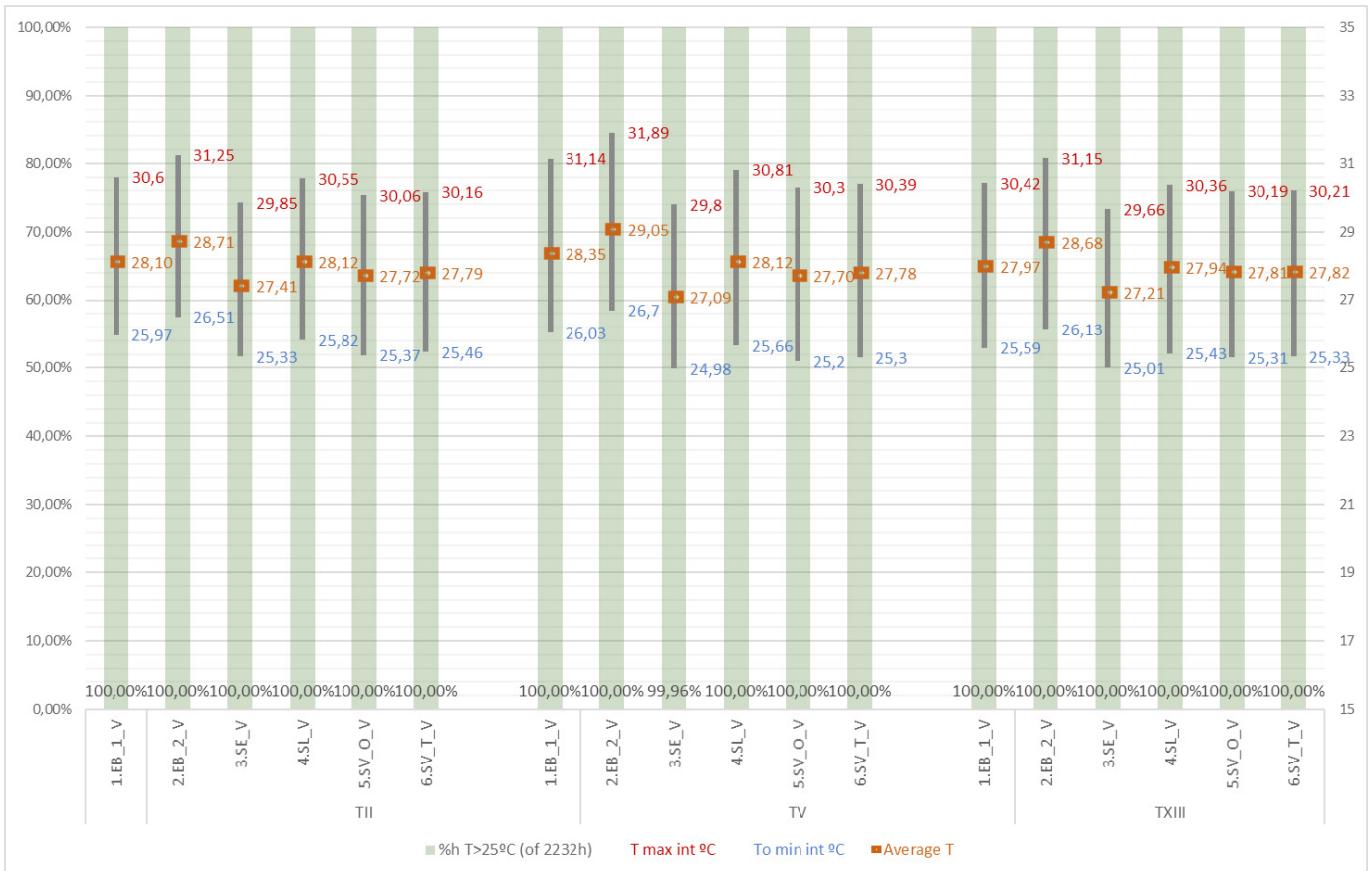


Figure 04. Range and comfort temperatures in each scenario in winter.

Figure 05. Range and comfort temperatures in each scenario in summer.



8. Conclusiones

En la Figura 4 y Figura 5 se presentan, para el invierno y verano respectivamente, los siguientes datos analizados en cada escenario en cada tipología.

- Porcentaje de horas superior a 25°C respecto al total de horas analizadas.
- Temperatura máxima absoluta
- Temperatura mínima absoluta
- Temperatura media

Considerando los resultados anteriores obtenidos de diferentes sistemas de protección solar, analizándolos con los límites de Passivhaus, no hay confort térmico. Puesto que la limitación es para el 10% de número de horas por encima de 25°C (recomendando un 5%), y únicamente ya en verano el 100% del tiempo se encuentra por encima, lo que hace un total de 25% del año.

Más en detalle, en invierno, la situación en cada tipología es muy diferente. En la TII, en la situación actual (escenario nº1) sobrepasa el confort con 62,7% de las horas analizadas por encima de 25°C, siendo el mejor resultado un 37,5% de sobrecalentamiento en el escenario nº6, mostrando que está lejos de conseguir el confort térmico.

Opuestamente, en la TXIII actualmente está sobrecalentada un total de 15,54% (escenario nº1) del tiempo analizado en invierno, alcanzando un 5,77% (escenario nº6), donde se puede considerar elevado para datos de invierno, pero si en verano la temperatura permanece estabilizada, se podría conseguir un confort térmico.

Durante el verano, todas las tipologías están sobrecalentadas el 100% del tiempo, temperaturas superiores a 25°C constantemente, incluso con la implementación de diferentes estrategias de sombreado. Se propone futuras investigaciones a realizar para determinar si únicamente con soluciones pasivas y combinando diferentes, sería posible conseguir temperaturas confortables. De no ser posible, un sistema de refrigeración habría de ser implementado.

commended 5%), and only in summer the 100% of the time is above it, so it makes a total of 25% of the year.

In detail, during the winter, the situation on each typology is very different. On the TII current situation (scenario nº1) overpasses the comfort with a 62,7% of the analysed time over 25°C, within the best value obtained is 37,5% overheated at scenario nº6, data that shows that is far from achieving thermal comfort.

On the opposite, on the TXIII currently is overheated an amount of 15,54% (scenario nº1) of the analysed wintertime, achieving 5,77% (scenario nº6), which can be considered high for being winter values, but if in the summer the temperature remains stabilized, a thermal control can be achieved.

During the summer, all the typologies are overheated, approximately, 100% of the time is above 25°C, even with the implementation of different solar strategies. So further research must be made to study if with only passive solutions and combining different ones, is possible to achieve comfortable temperatures. If not, a cooling system must be implemented.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] THE EUROPEAN PARLIAMENT and THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. DIRECTIVE 2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings (Recast).
- [2] IDAE. Consumo De Energía Final. , 2017.
- [3] Ente Vasco de la Energía, (EVE). Informe Anual 2018. , 2019.
- [4] 2020 Climate & Energy Package. Climate Action - European Commission, 2016 Available from: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en2019.
- [5] The European Parliament and the Council of the European Union. DIRECTIVE 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings. , 2010.
- [6] Ministerio para la Transición Ecológica. RD 244/2019, Por El Que Se Regulan Las Condiciones Administrativas, Técnicas Y Económicas Del Autoconsumo De Energía Eléctrica, 2019.
- [7] Jürgen Schnieders and HERMELINK, A. CEPHEUS Results: Measurements and Occupants' Satisfaction Provide Evidence for Passive Houses being an Option for Sustainable Building. Energy Policy, 200634151-171151-171 ISBN 0301-4215. <https://doi-org.ehu.idm.oclc.org/10.1016/j.enpol.2004.08.049>.
- [8] SCHNIEDERS, J., FEIST, W. and RONGEN, L. Passive Houses for Different Climate Zones. Energy and Buildings, 2015, vol. 105. pp. 71-87 DOI 10.1016/j.enbuild.2015.07.032.
- [9] AENOR. Ergonomics of the Thermal Environment - Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria (UNE-EN ISO 7730:2005). , 2006.
- [10] Reglamento De Instalaciones Térmicas En Los Edificios (RITE) E Instrucciones Técnicas Complementarias. , 2013.
- [11] AENOR. Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics (UNE-EN 15251:2008). , 2008.
- [12] Chartered Institution of Building Services Engineers. CIBSE TM52: The Limits of Thermal Comfort: Avoiding Overheating in European Buildings, 2013.
- [13] Chartered Institution of Building Services Engineers. CIBSE TM59: Design Methodology for the Assessment of Overheating Risk in Homes. , 2017.
- [14] K. Butcher, CRAIG, B. and Chartered Institution of Building Services Engineers. CIBSE Guide A - Environmental Design. Plus Media SolutionsEuropean Union News, 2015.
- [15] W. Feist. Passive House Planning Package 2007. Specifications for Quality Approved Passive Houses. Technical Information PHI-2007/1 (E), 2007.
- [16] MITCHELL, R. and NATARAJAN, S. Overheating Risk in Passivhaus Dwellings. Building Services Engineering Research and Technology, 2019, vol. 40, no. 4. pp. 446-469 SCOPUS. ISSN 0143-6244. DOI 10.1177/0143624419842006.
- [17] James A. Dirks, et al. Impacts of Climate Change on Energy Consumption and Peak Demand in Buildings: A Detailed Regional Approach. Energy, 20157920-3220-32 ISBN 0360-5442. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.08.081>.
- [18] Iñigo Rodríguez Vidal. Evaluación Del Estándar De Construcción Passivhaus Y Su Aplicación En El Ámbito Climático De La Comunidad Autónoma Vasca Y La Comunidad Foral Navarra. El Caso De La Vivienda Colectiva De Protección Oficial. , 2016 Available from: https://www.openaire.eu/search/publication?articleId=dedup_wf_001::2adbaa8b0ede6cdc10102630572d6ef2.
- [19] CARRILHO, d.G., AUGUSTO, A. and LERER, M.M. Solar Powered Net Zero Energy Houses for Southern Europe: Feasibility Study. Solar Energy, 2012, vol. 86, no. 1. pp. 634-646 DOI 10.1016/j.solener.2011.11.008.
- [20] CAUSONE, F., et al. Yearly Operational Performance of a nZEB in the Mediterranean Climate. Energy and Buildings, 2019, vol. 198. pp. 243-260 ISSN 0378-7788. DOI <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.05.062>.
- [21] Vincenzo Costanzo, FABBRI, K. and PIRACCINI, S. Stressing the Passive Behavior of a Passivhaus: An Evidence-Based Scenario Analysis for a Mediterranean Case Study. Building and Environment, 2018142265-277265-277 ISBN 0360-1323. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.035>.
- [22] RODRIGUEZ, I. and OREGI, X. Monitorización Y Seguimiento Del Comportamiento De Un Bloque De Viviendas Con Certificado Passivhaus En Bolueta. sin publicar, sin publicar.
- [23] Yang Wang, et al. A State of Art Review on Interactions between Energy Performance and Indoor Environment Quality in Passive House Buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017721303-13191303-1319 ISBN 1364-0321. <https://doi-org.ehu.idm.oclc.org/10.1016/j.rser.2016.10.039>.
- [24] FIGUEIREDO, A., KÄMPF, J. and VICENTE, R. Passive House Optimization for Portugal: Overheating Evaluation and Energy Performance. Energy and Buildings, 2016, vol. 118. pp. 181-196 SCOPUS. ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2016.02.034.
- [25] FOSTER, J., et al. Scottish Passive House: Insights into Environmental Conditions in Monitored Passive Houses. Sustainability, Apr 26, 2016, vol. 8, no. 5. pp. 412 CrossRef. ISSN 2071-1050. DOI 10.3390/su8050412.
- [26] Tilmann E. Kuhn, BÜHLER, C. and PLATZER, W.J. Evaluation of Overheating Protection with Sun-Shading Systems. Solar Energy, 20016959-7459-74 ISBN 0038-092X. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(01\)00017-2](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(01)00017-2).

- [27] Hussain H. Alzoubi and AL-ZOUBI, A.H. Assessment of Building Façade Performance in Terms of Daylighting and the Associated Energy Consumption in Architectural Spaces: Vertical and Horizontal Shading Devices for Southern Exposure Facades. *Energy Conversion and Management*, 2010511592-15991592-1599 ISBN 0196-8904. <https://doi-org.ehu.idm.oclc.org/10.1016/j.enconman.2009.08.039>.
- [28] Gon Kim, et al. Comparative Advantage of an Exterior Shading Device in Thermal Performance for Residential Buildings. *Energy and Buildings*, 201246105-111105-111 ISBN 0378-7788. <https://doi-org.ehu.idm.oclc.org/10.1016/j.enbuild.2011.10.040>.
- [29] Kenneth Ip, LAM, M. and MILLER, A. Shading Performance of a Vertical Deciduous Climbing Plant Canopy. *Building and Environment*, 20104581-8881-88 ISBN 0360-1323. <https://doi-org.ehu.idm.oclc.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.003>.
- [30] Fawwaz Hammad and ABU-HIJLEH, B. The Energy Savings Potential of using Dynamic External Louvers in an Office Building. *Energy and Buildings*, 2010421888-18951888-1895 ISBN 0378-7788. <https://doi-org.ehu.idm.oclc.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.024>.
- [31] Laura Bellia, DE FALCO, F. and MINICHELLO, F. Effects of Solar Shading Devices on Energy Requirements of Standalone Office Buildings for Italian Climates. *Applied Thermal Engineering*, 201354190-201190-201 ISBN 1359-4311. <https://doi-org.ehu.idm.oclc.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.01.039>.
- [32] Ana I. Palmero-Marrero and OLIVEIRA, A.C. Effect of Louver Shading Devices on Building Energy Requirements. *Applied Energy*, 2010872040-20492040-2049 ISBN 0306-2619. <https://doi-org.ehu.idm.oclc.org/10.1016/j.apenergy.2009.11.020>.
- [33] Attia Shady and ATTIA, S. Overview and Future Challenges of nearly Zero Energy Buildings (nZEB) Design in Southern Europe. *Energy and Buildings*, 2017, vol. 155. pp. 439-458 /z-wcorg/. ISSN 0378-778803787788.

Monitoring systems analysis for building's envelope energy performance evaluation

Análisis de sistemas de monitorización para la evaluación del comportamiento energético de la envolvente del edificio

Catalina Giraldo¹, Irati Uriarte¹, Laurent Mora², Enrique Granada³, Aitor Erkoreka¹

ABSTRACT

Domotic System (DS) and Building Automation System (BAS) technologies do not have the design, precision and accuracy required to estimate the Heat Loss Coefficient (HLC) of in-use building envelopes. Currently, HLC value is being estimated through experimental tests using laboratory technologies for the Monitoring and Controlling System (MCS), being implemented with specific designs and conditions on new buildings and old buildings before and after retrofitting [1].

HLC could be an indicator of the Building's Envelope Energy Performance (BEEP) for future Energy Performance Certification (EPC), being necessary to improve DS and BAS technologies in order the systems to have enough quality to permit to estimate HLC to know the BEEP in real time as accurately as possible. The importance of comparing EPCs issued before and after renewal is specified on Energy Performance of Building Directive 2010/31/EU [2] and in which remarks the importance of implementing a MCS to achieve quality assurance ([3],[4]).

Considering all of the above, a research study of location, precision and accuracy of sensors has been carried out through the uncertainty analysis of indoor and outdoor temperature using domotic technologies with technical characteristics of laboratory technologies in an experimental test of a tertiary building. The results allow knowing the importance of sensor accuracy, in which there is a discrepancy between the manufacturer accuracy and experimental accuracy of sensors, likewise show how the number and location of the MCS sensor has an impact on HLC uncertainty. All this allows designing a specific MCS with technology characteristics and layout distribution in order to have HLC value estimation with more precision and accuracy in order to guarantee that the HLC value is a reliable indicator to futures EPC.

Key Words: Energy Monitoring System (EMS), Building's Envelope Energy Performance (BEEP), Heat Loss Coefficient (HLC), Energy Efficiency of Buildings (EEB), Energy Performances Certification (EPC).

(1) ENEDI Research Group, Department of Thermal Engineering, UPV/EHU, catalina.giraldo@ehu.eus (2) I2M - Institute of Mechanics and Engineering, University of Bordeaux. (3) Industrial Engineering ETS, University of Vigo.

1. Introducción

La temperatura del aire interior (T_{in}) y la temperatura del aire exterior (T_{out}) de un edificio son parámetros físicos que influyen en el flujo de calor entre el interior y el exterior del edificio (el suelo, los edificios vecinos) y en la ventilación y la aireación. El valor del Coeficiente de Pérdida de Calor (HLC) es un indicador del Rendimiento Energético de la Envolvente del Edificio (BEEP). El HLC se define como la pérdida total de calor de un edificio que resulta de la transferencia de calor a través de la envolvente (paredes, techo y suelo) y de la ventilación, por la diferencia de temperatura del aire interior y exterior, siendo éste valor expresada como Watios por grado Kelvin (W/K), definido por Butler y Dengel [5].

La estimación de la HLC a su vez depende de las ganancias de calor, electricidad, ocupación y radiación solar, y de la temperatura del aire exterior e interior de un edificio, cuya expresión se muestran en la ecuación Eq.(1) [6]. A través de un Sistema de Monitorización y Control (MCS) instalado en un edificio, es posible obtener las mediciones necesarias para estimar el valor de la HLC reduciendo las incertidumbres asociadas a las medidas. Para ello es necesario instalar sensores con buena precisión para obtener las mediciones de las variables que permitan estimar el valor de HLC: temperatura del aire interior y exterior, todos los consumos de energía disipados en forma de calor dentro de la envolvente del edificio, las ganancias de calor metabólico y la radiación solar [1].

La identificación de todas las incertidumbres de las medidas, como las temperaturas del aire, los caudales de los fluidos junto con sus temperaturas de entrada y salida, los consumos de energía y las mediciones de la radiación solar recogidas por los sensores para obtener el valor de HLC, permiten conocer con un cierto nivel de confianza, el valor de la incertidumbre del HLC estimado. Para conocer esta incertidumbre, es necesario estimar las incertidumbres de medida de las variables de la función del HLC, $HLC=f(Q(t),K_e(t),K_o(t),S_a V_{sol}(t),T_{in}(t),T_{out}(t))$ a partir de la ecuación Eq.(1), cuya función que depende de los valores medidos de la temperatura interior y exterior, calefacción, ocupantes, electricidad y ganancias de radiación solar, que se representan en la Fig. 1. Una vez estimadas las incertidumbres de estos parámetros, es necesario propagar sus incertidumbres en la función HLC teniendo en cuenta que sus variables no son independientes entre sí, por lo tanto en la propagación de la Incertidumbre del HLC (U_{HLC}) se debe considerar el valor de la covarianza en la propagación del error [7]. Así pues, es posible calcular el valor de HLC y su incertidumbre teniendo en cuenta la incertidumbre de medida de los parámetros físicos, que a su vez son mediciones de los sensores de un sistema de vigilancia y control (MCS).

Estimar el HLC de los edificios es importante ya que permite comprender mejor su comportamiento

1. Introduction

Indoor Air Temperature (T_{in}) and Outdoor Air Temperature (T_{out}), of a building are a physical parameter that has an influence on the heat flow exchange between interior and exterior of buildings (ground, neighbouring buildings) and on its ventilation and aeration. The Heat Loss Coefficient (HLC) value is an indicator of Building's Envelope Energy Performance (BEEP). HLC is defined as the total heat loss from a building resulting from heat transfer through the envelope (walls, roof and floor) and from background ventilation per °C of temperature difference between inside and outside (expressed as W/K), defined by Butler and Dengel [5].

The HLC estimation depends of heat gains, electricity gains, occupancy gains, solar radiation gains, the outdoor temperature and indoor air temperature of a building, which are showed in equation Eq.(1) [6]. Through a Monitoring and Controlling System (MCS) installed in a building, it is possible to obtain the measurements necessary to estimate the HLC value reducing the measurement uncertainties. For this, it is necessary installing sensors with good accuracy to obtain the measurement required to estimate HLC value: indoor and outdoor air temperature, all energy consumptions dissipated as heat within the building envelope, metabolic heat gains and solar radiation [1].

The identification of all measurement uncertainties such as air temperatures, fluid flow rates together with their inlet and outlet temperatures, power consumptions and solar radiation measurements collected by sensors to obtain the HLC value, permits to know with a certain confidence level, what is the uncertainty value of the HLC estimated. To know this uncertainty, it is necessary to estimate the measurement uncertainties of HLC function's variables, $HLC=f(Q(t),K_e(t),K_o(t),S_a V_{sol}(t),T_{in}(t),T_{out}(t))$ from equation Eq.(1), which is a function that depend of indoor and outdoor temperature, heating, occupants, electricity and solar radiation gains, which are represented in Fig. 1. Once the uncertainties of these parameters have been estimated, it is necessary to propagate their measurement uncertainties in the HLC function taking into account their variables are not independent of each other, having the HLC Uncertainty (U_{HLC}) propagation based on the covariance in the error propagation [7]. Thus, it is possible to calculate the HLC value and its uncertainty taking into account the measurements uncertainty of the physical parameters, which in turn are measurement from sensor of a Monitoring and Controlling System (MCS).

Estimating the HLC value of buildings is important to better understand their energy behavior, their level of energy efficiency, and in turn allows the generation of reliable Energy Performance Certificates (EPCs), which can be employed as a tool to determi-

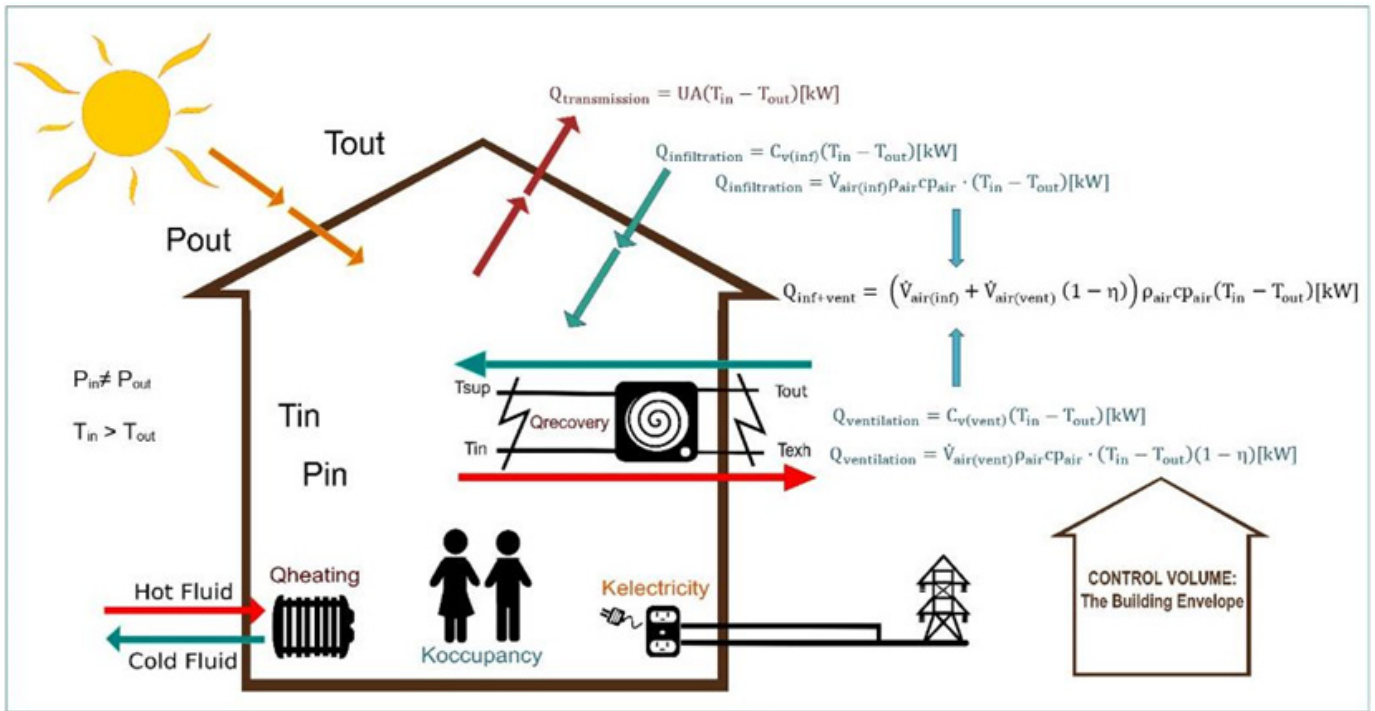
energético, su eficiencia energética, y a su vez permite la generación de Certificados de Rendimiento Energético (EPCs) fiables, que pueden emplearse como herramienta para determinar las discrepancias entre los rendimientos en las fases de diseño del edificio y su posterior funcionamiento [1]. Esto demarca la importancia de estimar los valores de HLC con la mayor precisión y exactitud posible, siendo necesario para esto conocer todas las incertidumbres asociadas a la estimación de HLC.

Este manuscrito se centra en la estimación de T_{in} y T_{out} como primer paso para poder conocer el valor de U_{HLC} a través de la propagación de la incertidumbre.

ne the discrepancies between performances at the design and operation phases of buildings [1]. Those are an important reason to estimate the HLC values with the greatest precision and accuracy as possible, and for this, it is necessary to know all uncertainties associated in HLC estimation.

This manuscript is focused on the estimation of T_{in} and T_{out} , as a first step to can know U_{HLC} through the uncertainty propagation.

Figure 01. Scheme of building's thermal envelope and the variables involves in HLC estimation.



$$HLC = \frac{\sum_{k=1}^N (Q_k + K_k + (S_a V_{sol})_k)}{\sum_{k=1}^N (T_{in,k} - T_{out,k})} \text{ [kW/K]} \quad \text{Eq. (1)}$$

$$K_k = K_{e,k} + K_{o,k} \text{ [kW]} \quad \text{Eq. (2)}$$

Donde,

HLC: Pérdida de calor del edificio [kW/K].

Q_k : Ganancia debido al sistema de calefacción en un instante de tiempo k [kW].

K_k : Ganancia total instantánea en un instante de tiempo k (excluyendo las ganancias debido a la radiación solar y el sistema de calefacción) [kW].

$K_{(e,k)}$: Ganancia eléctricas en un instante de tiempo k [kW].

Where,

HLC: Heat Loss Coefficient of a Building [kW/K].

Q_k : Heating Gains in an Instant of Time k [kW].

K_k : Instantaneous total Internal Gains in an Instant of Time k (excluding solar radiation and heating) [kW].

$K_{(e,k)}$: Electricity Gains in an Instant of Time k [kW].

$K_{(o,k)}$: Metabolic Gains due of occupants in an Instant of Time k [kW].

$K_{(o,k)}$: Guanacias metabólicas debido a la ocupación en un instante de tiempo k [kW].

S_a : Apertura solar un instante de tiempo k [m²].

V_{sol} : Ganancia solar global vertical en un instante de tiempo k [kW/m²].

$T_{(in,k)}$: Temperatura del aire interior en un instante de tiempo k [K or °C].

$T_{(out,k)}$: Temperatura del aire exterior en un instante de tiempo k [K or °C].

S_a : Solar Aperture in an Instant of Time k [m²].

V_{sol} : South Vertical Global Solar Radiation in an Instant of Time k [kW/m²].

$T_{(in,k)}$: Indoor Air Temperature in an Instant Time k [K or °C].

$T_{(out,k)}$: Outdoor Air Temperature in an Instant Time k [K or °C].

$$HLC_{range} = HLC \pm U_{HLC} \quad [kW] \quad \text{Eq. (3)}$$

Donde,

HLC_{range} : Intervalo de variación del HLC considerando la incertidumbre total del HCL [kW/K].

U_{HLC} : Incertidumbre propagada de la función del HLC [kW/K].

2. Material y método

Para llevar a cabo este estudio se realizó un test experimental de la temperatura del aire interior y exterior, para el cual se diseñó un Sistema de Monitorización Móvil (MMS) instalado temporalmente en un edificio terciario situado en Leioa (Bilbao). En el año 2018 este edificio se reacondicionó siendo un edificio demostrador a través del proyecto "Affordable and Adaptable Public Buildings through Energy Efficient Retrofitting" (A2PBEER) [8]. El MMS se diseñó con el objetivo de poder recoger datos en espacios con diferente distribución, volumen y diferentes alturas.

El edificio terciario estudiado es el bloque oeste de la rectoría de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU); el edificio está formado por cuatro niveles. En la planta baja (F0) se encuentra una guardería y en las otras tres plantas (planta uno (F1), planta dos (F2) y planta tres (F3)) son de uso administrativo donde se encuentran varias oficinas de trabajo. Actualmente el edificio estudiado tiene implementado un Sistema de Automatización de Edificios (BAS) con protocolo de comunicación KNX.

Con el fin de estudiar la incertidumbre total de la temperatura del aire, se han llevado a cabo dos pruebas experimentales: un test interior para monitorizar la temperatura del aire interior (T_{in}) y un test exterior para monitorizar la temperatura del aire exterior (T_{out}).

El criterio de elección de la tecnología de un Sistema de Monitorización y Control (MCS) es importante

Where,

HLC_{range} : Heat Loss Coefficient estimate and its Maximum and Minimum range variation considering the HLC total uncertainty [kW/K].

U_{HLC} : Heat Loss Coefficient Uncertainty Propagated from HLC function [kW/K].

2. Material and method

To carry out this study an indoor and outdoor air temperature experimental test was implemented, for which a Mobile Monitoring System (MMS) was designed and temporally installed in a tertiary building located in Leioa (Bilbao). This building had been retrofitted in 2018 as a demonstrator building of Affordable and Adaptable Public Buildings through Energy Efficient Retrofitting (A2PBEER) project [8]. The MMS was designed for the propose to collecting data in spaces, with different distributions, volumes and heights.

The tertiary building studied is the west block of admin building of University of Basque Country (UPV/EHU); the building consist of four levels. A nursery is located on the ground floor (F0) and the other three floors are formed by work offices (floor one (F1), floor two (F2) and floor three (F3)). Currently the studied building has implemented a Building Automation System (BAS) with KNX communication protocol.

In order to study the air temperature total uncertainty, two experimental tests have been carried out: the interior test to monitor the Indoor Air Temperature (T_{in}) and the exterior test to monitor the Outdoor Air Temperature (T_{out}).

The choice of technology of a Monitoring and Controlling System (MCS) is important in order to determine the accuracy level of sensor measurements. Currently the technology used on domotic systems and building automation systems do not has a good

para determinar el nivel de exactitud de medida de los sensores. Actualmente la tecnología utilizada en los sistemas domóticos y en los sistemas de automatización de edificios no tiene una buena precisión y exactitud, siendo necesario introducir una tecnología con más precisión y exactitud de medida para aumentar la fiabilidad del MCS [1]. En base a esto, se han elegido sensores con tecnología de alta precisión para ambos test. En esta sección se describen los test interior y exterior, la distribución de los sensores junto con sus características técnicas.

2.1. Test experimental interior

Dos pisos del edificio terciario estudiado han sido temporalmente monitorizados con el MMS, la segunda planta (F2) y la tercera planta (F3). Estas dos plantas fueron elegidas porque en ellas hay cuatro tipologías diferentes de oficinas, las cuales tienen distinta distribución espacial y geométrica. Cada oficina por lo tanto tiene una tipología pudiendo identificar cuatro Tipologías de Oficinas u Oficinas Tipo (OT). En F2 hay tres OT: OT1, OT2 y OT3, mientras que en F3 sólo hay una tipología de oficina llamada OT4. En el caso de la F2 hay tres áreas de oficinas independientes con características diferentes, donde diferentes Espacios de Trabajo (WS) con diferentes áreas y volúmenes componen cada oficina. En la Fig. 2 se muestra la distribución de cada OT con sus referencias WS.

El MMS está compuesto por ocho trípodes y diecinueve sensores instalados, de los cuales dieciocho son de la referencia EE800-M12J3 y uno es de la referencia EE071-HTPC con protección a la radiación solar (la Tabla 1 muestra la precisión de medición de los sensores según el fabricante), la Fig. 3 muestra los trípodes y sensores instalados. Para estudiar la incertidumbre de la temperatura del aire interior (U_T) en cada oficina, los sensores se han colocado a diferentes alturas en los trípodes:

- Alta (h): Situados a 30 cm del techo del OT.
- Media (m): Situados a la altura media entre el techo y el suelo de cada OT.
- Bajo (l): Situado a 30 cm del suelo de la sala de operaciones.

La Tabla 2 muestra la localización del sensor sobre cada trípode basada en la disposición mostrada en la Fig. 2.

precision and accuracy, being necessary to introduce technology with more accuracy to increase the reliability of the MCS [1]. Based on this, sensors with high precision technology have been chosen for both tests. This section describes the interior and exterior tests, the layout of the sensors together with their technical characteristics.

2.1. Interior experimental test

Two floors of the studied tertiary building have been temporally monitored with the MMS, the floor two (F2) and floor three (F3). These two floors were chosen because there are four different types of offices, which have different spatial and geometric distribution. In the case of F2 there are three independent office areas with different characteristics, where different Workspaces (WS) with different areas and volumes compose each office. In each floor there are offices with different distribution, which have been called Office Typology (OT). In F2 there are three OT: OT1, OT2 and OT3, while in F3 there is only one office typology called OT4. The distribution of each OT with its WS references are shown in Fig. 2.

The MMS consists of eight Tripods and nineteen sensors installed, of which eighteen sensors are EE800-M12J3 type and one sensor is EE071-HTPC with shielding type (Table 1 shows the measurement and manufacturer accuracy of sensors), Fig. 3 shows the tripods and sensors installed. In order to study the indoor Air Temperature Uncertainty (U_T) in each office the sensors has been located at different heights on the tripods:

- High (h): Located 30 cm from the OT ceiling.
- Medium (m): Located at the average high between the ceiling and floor of each OT.
- Low (l): Located 30 cm from the OT floor

Table 2 shows the sensor's localization over each tripod based on layout shown in Fig. 2.

Sensor Reference	Measure	Accuracy
EE+Plus: EE800-M12J3	Temperature	± 0.3°C
	Relative Humidity	± 3% RH(30..70%RH)
		+/- 5% RH(10..90%RH)
Carbon Dioxide	0...2000ppm < ± (50ppm +2% of measured value)	
EE+Plus EE071-HTPC	Temperature	±0.1 °C at 23 °C
	Relative Humidity	±2 % RH (0...90 % RH)
		±3 % RH (0...100 % RH)

Table 01.
Manufacturer accuracy of
Sensor installed on MMS.

Figure 02.
 Sensor Layout of Office
 Typologies (OT) Tests: a) OT1,
 b) OT2, c) OT3 and d) OT4.



Office Typology	Number of WS	WS Reference	Sensor Reference
OT1	6	2C1	T8.h.17 - T8.m.19 - T8.l.18
		2C1.1	T1.h.1 - T1.m.2 - T1.l.3
		2C1.2	No tripod
		2C1.3	T5.l.11
		2C1.4	T3.h.7
		2C1.5	T2.h.4 - T2.m.5 - T2.l.6
OT2	1	2C2	T7.h.15 - T7.m.30 - T7.l.16
		2C2.1	T6.h.12 - T6.m.13 - T6.l.14
OT3	8	2C3	T8.h.17 - T8.m.19 - T8.l.18
		2C3.2	T6.h.12 - T6.m.13 - T6.l.14
		2C3.3	T4.h.8 - T4.m.9 - T4.l.10
		2C3.4	T7.h.15 - T7.m.30 - T7.l.16
		2C3.5	T2.h.4 - T2.m.5 - T2.l.6
		2C3.6	No tripod
		2C3.7	T5.l.11
		2C3.8	T3.h.7
OT4	3	3C1	T1.h.1 - T1.m.2 - T1.l.3 - T2.h.4 - T2.m.5 - T2.l.6 - T4.h.8 - T4.m.9 - T4.l.10 - T6.h.12 - T6.l.14 - T7.h.15 - T7.m.30 - T7.l.16 - T8.h.17 - T8.m.19 - T8.l.18
		3C1.1	T5.l.11
		3C1.2	T3.h.7
		3C1.3	No tripod

Table 02.
Sensor reference and distribution of sensor based on Fig. 2.



Figure 03.
Tripods and sensors installed in the interior experimental test.

2.2. Test experimental exterior

Ocho sensores EE071-HTP con protección a la radiación solar han sido instalados a diferentes alturas alrededor de la envolvente del edificio con diferentes orientaciones cardinales: Norte (n), Sur (s), Este (e) y Oeste (w), de los cuales siete sensores tienen protección de radiación solar sin ventilación mecánica y un sensor tiene protección de radiación solar con ventilación mecánica. En la Fig. 4 se muestra la disposición de los sensores del test experimental exterior y en la Fig. 5 se muestra una imagen de los sensores instalados. En la Tabla 3 se muestran las referencias de los sensores, su localización, identificador del sensor y referencias del fabricante.

2.2. Exterior experimental test

Eight EE071-HTP sensors with shielding have been located around the building envelope at different heights and different cardinal orientations: North (n), South (s), East (e) and West (w), of which seven sensors have solar radiation shielding without mechanical ventilation and one sensor has solar radiation shielding with mechanical ventilation. Fig. 4 shows the sensor layout of the exterior test and a picture of sensors is shown in Fig. 5. Table 3 shows the sensor references, location, sensor identifier and manufacturer's references.

Sensor Reference	Façade (F) / Roof (R)	Floor	Cardinal orientation	Sensor ID	Sensor Manufacture Reference
E.F1.n.20	F	1	n	20	EE071-HTP*
E.F1.n.21	F	1	n	21	EE071-HTP*
E.F1.w.22	F	1	w	22	EE071-HTP*
E.F1.s.23	F	1	s	23	EE071HTP*
E.F2.s.24	F	2	s	24	EE071-HTP*
E.R3.s.25	R	3	s	25	EE071-HTP**
E.R3.s.26	R	3	s	26	EE071-HTP*
E.R3.n.27	R	3	n	27	EE071-HTP*
* EE071-HTP protected with solar radiation shielding without mechanical ventilation.					
** EE071-HTP protected with solar radiation shielding with mechanical ventilation.					

Table 03.

Sensor reference and distribution of sensor based on Fig. 4.

3. Metodología

Las medidas de temperatura tomadas por un sensor tienen asociadas diferentes tipos de incertidumbres, que a través de la dispersión en sus valores medidos es posible obtener una estimación del valor de la incertidumbre cuando se toman varias medidas de forma repetida (más de 30 repeticiones). En las observaciones experimentales realizadas, la evaluación de la incertidumbre se realizó mediante el análisis estadístico en base a una distribución estadística de tipo A [9], siendo el caso de estudio la incertidumbre expandida de la temperatura del aire interior y exterior (identificada en este manuscrito como Incertidumbre de la temperatura (U_T)).

La muestra estudiada son los Instantes de Tiempos Cada una de las muestras estudiadas tiene N Instantes de Tiempo (t_N), donde cada t_N tiene tantas mediciones de Temperatura del Aire Interior (T_{in}) o Temperatura del Aire Exterior (T_{out}) como sensores hay en el MMS. Cada sensor ocupa un Diferencial de Volumen (dv) dentro del volumen de cada zona monitorizada. Todas las mediciones de temperatura de cada t_N se centran respecto la temperatura media de todas las mediciones de temperatura en este instante de tiempo t_N y estima su varianza (Eq.(5)). Finalmente, utilizando (Eq.(8)) se estima la varianza media

3. Methodology

The temperature measurements collected involve uncertainties, which when measured repeatedly (more than 30 repetitions) give an indication of the uncertainty of measurement through the dispersion in their measured values. In the experimental observations carried out, the evaluation of uncertainty by statistical analysis is called Type A evaluations [9], where the case study is the expanded uncertainty of the indoor and outdoor air temperature (identified in this manuscript as Temperature Uncertainty (U_T)).

Each of the samples studied have N Instants of Time (t_N), where each t_N has as many Indoor Air Temperature (T_{in}) or Outdoor Air Temperature (T_{out}) measurements as sensors there are in the MMS. Each sensor occupy a Volume Differential (dv) within the volume of each monitored zone. Each t_N , all temperature measurements are centred on the average temperature of all the temperature measurements on this t_N time instant. Then the variance (Eq.(5)) is estimated for these centred temperatures on all N time instants (t_N) composing each test. Finally the Mean Variance (σ^2) using Eq.(8) of whole period of each test is estimated.

In statistical analysis of Type A assessment, the mea-

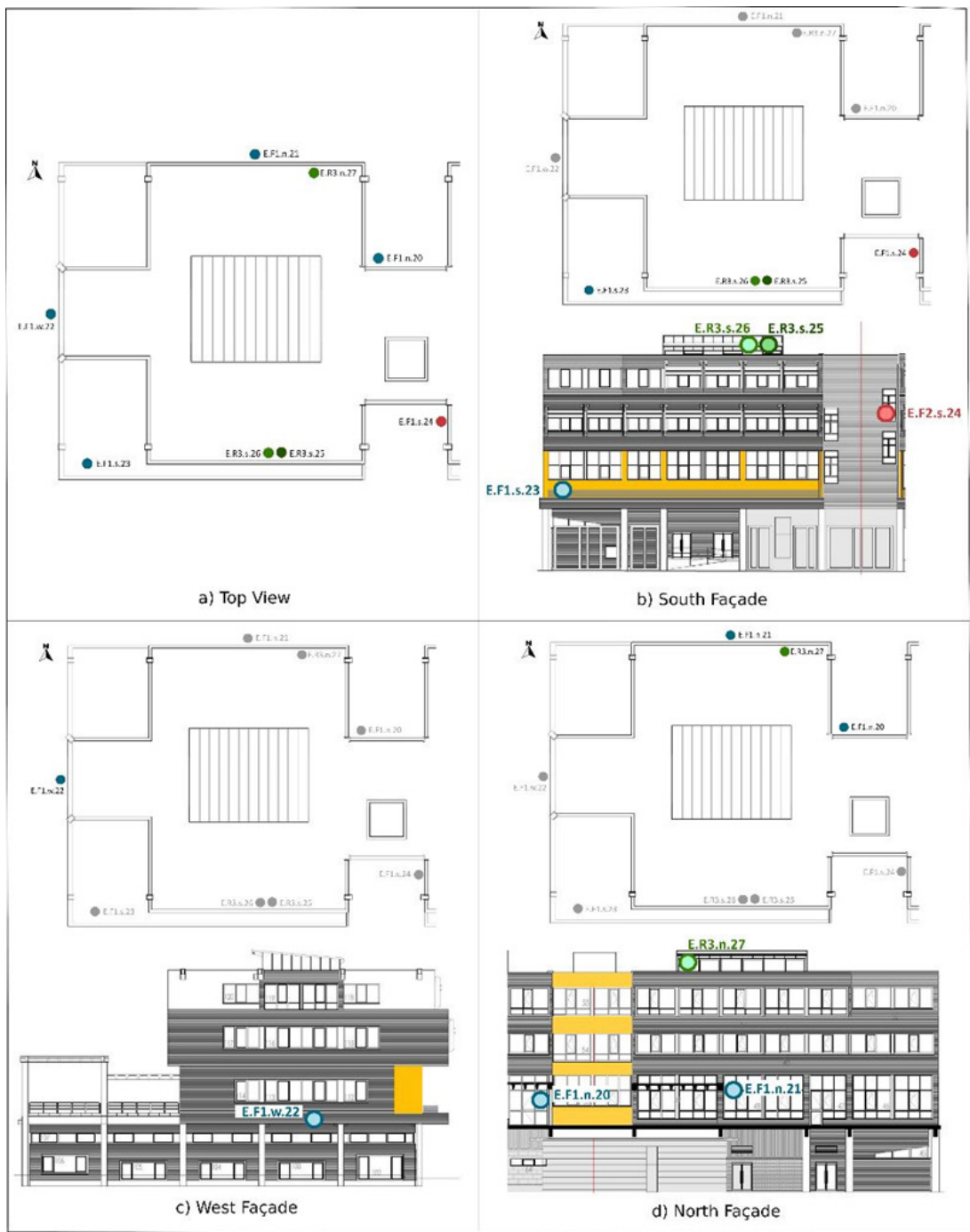


Figure 04. Sensor Layout of Exterior (E) Test: a) Top View, b) South Façade, c) West Façade and d) North Façade.



Figure 05. Sensors installed in the exterior experimental test.

de los N t_N que componen el período completo de cada prueba.

En el análisis estadístico de la evaluación del Tipo A, la incertidumbre en la medición para cada período de prueba se estima mediante la desviación estándar media ($\bar{\sigma}$) de todas las mediciones de la temperatura centrada en el respecto a la temperatura media de un período completo. La ecuación estadística implementada en el análisis de incertidumbre se muestra en la Eq.(4), Eq.(5), Eq.(6), Eq.(7), Eq.(8) y Eq.(9). Si el valor de ($\bar{\sigma}$) de una distribución de Tipo A con 30 o más mediciones repetidas, se multiplica por un Factor de Cobertura (K) entonces se espera obtener una incertidumbre con un nivel de confianza. Esta incertidumbre se denomina valor de Incertidumbre Expandida (U) (Eq.(10)), cuyo valor se encuentra en el intervalo del nivel de confianza del 95% si el valor k es igual a 2 y si el valor k es igual a 3 se encuentra en el intervalo del nivel de confianza del 99% [9].

En este estudio se han estimado dos incertidumbres diferentes:

- Incertidumbre del sensor de temperatura ($U_{T(S)}$): Incertidumbre debida a un error sistemático (valor dado por el fabricante del sensor).
- Incertidumbre de la (U_T): Incluye las incertidumbres debidas a los errores sistemáticos ($U_{T(S)}$) y debido a otras causas de incertidumbres (errores aleatorios).

$$\mu_{t_N} = \frac{1}{Z} \sum_{i=1}^Z (T)_{dv_{i,t_N}} \text{ [K or } ^\circ\text{C]} \quad \text{Eq. (4)}$$

$$\sigma^2_{t_N} = \frac{1}{Z-1} \sum_{i=1}^Z (T)_{dv_{i,t_N}} - \mu_{t_N})^2 \text{ [K}^2\text{]} \quad \text{Eq. (5)}$$

$$\sigma_{t_N} = \sqrt{\sigma^2_{t_N}} \text{ [K or } ^\circ\text{C]} \quad \text{Eq. (6)}$$

$$\bar{\mu} = \frac{1}{N} \sum_{t_N=1}^N \mu_{t_N} \text{ [K or } ^\circ\text{C]} \quad \text{Eq. (7)}$$

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{1}{N} \sum_{t_N=1}^N \sigma^2_{t_N} \text{ [K}^2\text{]} \quad \text{Eq. (8)}$$

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\bar{\sigma}^2} \text{ [K or } ^\circ\text{C]} \quad \text{Eq. (9)}$$

$$U = 2(\bar{\sigma}) \text{ [K or } ^\circ\text{C]} \quad \text{Eq. (10)}$$

Donde,

- $(T)_{dv(i,t_N)}$: Temperatura del aire (T_{in} or T_{out}) medida por los sensores, los cuales ocupan un Volumen Diferencial (dv) del interior o exterior del edificio para cada t_N [K or $^\circ\text{C}$].

surement uncertainty for each testing period is estimated through the Mena Standard Deviation ($\bar{\sigma}$) of all centred temperature measurements of each complete period. The statistical equation implemented in the uncertainty analysis are shown in Eq.(4), Eq.(5), Eq.(6), Eq.(7), Eq.(8) and Eq.(9). If the $\bar{\sigma}$ value of a Type A distributions with 30 or more repeated measurements, it is multiplied by a Coverage Factor (K) then is expected to obtain an uncertainty with a confidence level. This uncertainty is called Expanded Uncertainty value (U) (Eq.(10)), whose value is in the 95% confidence level interval if k-value is equal to 2 and if K-value is equal to 3 it is in the 99% confidence level interval [9].

There are two different uncertainties studied and exposed in this document:

- Temperature Sensor Uncertainty ($U_{T(S)}$): Uncertainty due to systematic error and it is a value given by the sensor manufacturer.
- Temperature Uncertainty (U_T): Includes uncertainties due the systematic errors ($U_{T(S)}$) and due to other causes of uncertainties (random errors).

Where,

- $(T)_{dv(i,t_N)}$: Air Temperature (T_{in} or T_{out}) measurements from the sensor occupying Volume Differential (dv) at outside or inside of building for each t_N [K or $^\circ\text{C}$].

- μ_{t_N} : Media de la temperature del aire (T_{in} or T_{out}) para cada t_N [K or °C].
- $\sigma^2_{t_N}$: Varianza de la temperature del aire (T_{in} or T_{out}) para cada t_N [K²].
- σ_{t_N} : Desviación estándar de la temperature del aire (T_{in} or T_{out}) para cada t_N [K or °C].
- $\bar{\mu}$: Media global de todas las muestras t_N [K or °C].
- $\bar{\sigma}^2$: Varianza media de todas las muestras t_N [K²].
- $\bar{\sigma}$: Desviación estándar media de todas las muestras t_N [K or °C].
- U_T : Incertidumbre expandida de la temperatura [K or °C].
- Z: Numero de medidas de temperatura T_{in} or T_{out} para cada t_N .
- N: Tamaño muestral (número de instantes de tiempo t_N).
- μ_{t_N} : Mean of Air Temperature (T_{in} or T_{out}) for each t_N [K or °C].
- $\sigma^2_{t_N}$: Variance of Air Temperature (T_{in} or T_{out}) for each t_N [K²].
- σ_{t_N} : Experimental Standard Deviation of Air Temperature (T_{in} or T_{out}) for each t_N [K or °C].
- $\bar{\mu}$: Global Mean of t_N Samples [K or °C].
- $\bar{\sigma}^2$: Mean Variance of t_N Samples [K²].
- $\bar{\sigma}$: Mean Standard Deviation of t_N Samples [K or °C].
- U_T : Temperature Expanded Uncertainty [K or °C].
- Z: Number of T_{in} or T_{out} measurement for each t_N .
- N: Sample Size defined by the Number of Instants of Time t_N .

4. Resultados y discusiones

En esta sección se presentan y discuten los resultados de la Incertidumbre de la Temperatura del Aire Interior (U_{Tin}) y la Incertidumbre de la Temperatura del Aire Exterior (U_{Tout}), que han sido estimados para cada test experimental.

4.1. Incertidumbre del sensor de temperatura interior ($U_{T(s)}$)

Las Incertidumbres del Sensor de Temperatura del Aire Interior ($U_{Tin(s)}$) y la Incertidumbres del Sensor de Temperatura del Aire Exterior ($U_{Tout(s)}$) (Tabla 4)

Study Case	Air Temperature Sensor Uncertainty ($U_{Tin(s)}, U_{Tout(s)}$) [°C]
Indoor Air Temperature	± 0.3
Outdoor Air Temperature	± 0.1

Table 04. Temperature Sensor Uncertainties.

son dados por el fabricante del sensor (Tabla 1) e iguales a $\pm 0.3^\circ\text{C}$ y $\pm 0.1^\circ\text{C}$ respectivamente para las referencias EE800-M12J3 y EE071-HTPC, teniendo una mayor precisión de fabrica para el sensor EE071-HTPC que para los sensores EE800-M12J3.

4.2. Incertidumbre de la Temperatura del Aire (U_T)

En base del análisis estadístico expuesto en la sección 3, los valores de U_T se han estimado calculando

4. Results and discussion

This section shows the Indoor Air Temperature uncertainty (U_{Tin}) and Outdoor Air Temperature Uncertainty (U_{Tout}) estimated from experimental test.

4.1. Air Temperature Sensor Uncertainty ($U_{T(s)}$)

The Indoor Air Temperature Sensor Uncertainties ($U_{Tin(s)}$) and Outdoor Air Temperature Sensor Uncertainty ($U_{Tout(s)}$) (Table 4) are given by the sensor manufacturer (Table 1), whose values are equal to $\pm 0.3^\circ\text{C}$ (EE800-M12J3) and $\pm 0.1^\circ\text{C}$ (EE071-HTPC) respectively, with a greater manufacturer accuracy for the EE071-HTPC sensor than EE800-M12J3 sensors.

4.2. Air Temperature Uncertainty (U_T)

Based on the statistical analysis of section 3, the U_T values have been estimated based on the Expanded Uncertainty (U) with the 95% confidence level interval. The data analysis of the exterior experimental test has been estimate the Outdoor Air Temperature Uncertainty (U_{Tout}) being equal to $\pm 2.22^\circ\text{C}$ (Table 6). Likewise analysing the data from interior experimental test, the Indoor Air Temperature Uncertainties (U_{Tin}) for OT1, OT2, OT3 and OT4 are equal to ± 0.71

la Incertidumbre Expandida (U) con un intervalo de nivel de confianza del 95%. En el análisis de los datos del test experimental exterior el valor estimado de la Incertidumbre de la Temperatura del Aire Exterior ($U_{T_{out}}$) es igual a $\pm 2,22^{\circ}\text{C}$ (Tabla 6). Asimismo, analizando los datos del test experimental interior, la Incertidumbre de la Temperatura del Aire Interior ($U_{T_{in}}$) para OT1, OT2, OT3 y OT4 son iguales a $\pm 0,71^{\circ}\text{C}$, $\pm 0,74^{\circ}\text{C}$, $\pm 1,07^{\circ}\text{C}$ y $\pm 0,83^{\circ}\text{C}$ respectivamente (Tabla 5). Los valores $U_{T_{in}}$ para OT1 y OT2 son muy similares; ambos tienen una distribución espacial diferente y un volumen total diferente, pero sus mayores fachadas están orientadas al norte. El valor $U_{T_{in}}$ de OT3 es significativamente mayor que el resto de los valores $U_{T_{in}}$, ya que la fachada más grande de esta OT está orientada hacia el sur mientras que su distribución geométrica y de volumen es relativamente similar a la de OT1. Además, el valor $U_{T_{in}}$ del OT4 es un valor intermedio de todos los $U_{T_{in}}$, donde su distribución espacial y su volumen total es totalmente diferente del resto de los OT. Las dos fachadas más grandes de este OT están orientadas al sur y al norte, mientras que su fachada más pequeña está orientada al oeste.

Los resultados muestran que los valores $U_{T_{out}}$ y $U_{T_{in}}$ tienen órdenes de magnitud mayores que sus respectivos valores $U_{T_{in(s)}}$ y $U_{T_{out(s)}}$. Además, los valores U_T son considerablemente mayores en T_{out} respecto a T_{in} .

$^{\circ}\text{C}$, $\pm 0.74^{\circ}\text{C}$, $\pm 1.07^{\circ}\text{C}$ and $\pm 0.83^{\circ}\text{C}$ respectively (Table 5). The $U_{T_{in}}$ values of OT1 and OT2 are very similar; both have different geometrical and volume distribution but their largest facades are facing north. The $U_{T_{in}}$ value of OT3 is significantly higher respect the rest of $U_{T_{in}}$ values, this OT largest facade is facing south while its geometrical and volume distribution is relatively similar to OT1. Furthermore, the $U_{T_{in}}$ value of OT4 is an intermediate value of all $U_{T_{in}}$, its geometrical and volume distribution is totally different from the rest of OTs. This OT's two main facades are facing south and north and its smaller facade is facing west.

The results show the $U_{T_{out}}$ and $U_{T_{in}}$ values are orders of magnitude greater than their respectively $U_{T_{in(s)}}$ and $U_{T_{out(s)}}$ values. In addition, the U_T values are considerably greater at T_{out} than T_{in} .

Table 05.
Uncertainties of Indoor Air Temperature.

Indoor Air Temperature's Uncertainties		
Office Typology	Temperature Sensor Uncertainty	Temperature Uncertainty
	$(U_{T_{in(s)}})$ [$^{\circ}\text{C}$]	$(U_{T_{in}})$ [$^{\circ}\text{C}$]
OT1	± 0.3	± 0.71
OT2		± 0.74
OT3		± 1.07
OT4		± 0.83

Table 06.
Outdoor Air Temperature's Uncertainties of building.

Outdoor Air Temperature	Temperature Sensor Uncertainty	Temperature Uncertainty
	$(U_{T_{out(s)}})$ [$^{\circ}\text{C}$]	$(U_{T_{out}})$ [$^{\circ}\text{C}$]
	± 0.1	± 2.22

5. Conclusiones

En un edificio terciario en uso, los valores de incertidumbre de la temperatura del aire interior y exterior, llamados en este documento Incertidumbre de la Temperatura (U_T), son mayores que la precisión del fabricante, llamada en este documento Incertidumbre del Sensor de Temperatura ($U_{T(s)}$). Normalmente la Incertidumbre del Sensor de Temperatura ($U_{T(s)}$) es el valor considerado como incertidumbre de las mediciones de la temperatura del aire interior y exterior para la estimación del Coeficiente de Pérdida de Calor (HLC), excluyendo otras causas de incertidumbre como el comportamiento del usuario, la incidencia de la ganancia de radiación solar, la incidencia del sistema de calefacción y de ventilación, entre otros.

Las oficinas con una mayor superficie de fachada orientada al sur tienen valores de Incertidumbres de Temperatura (U_T) del aire interior mayor que las oficinas con una mayor superficie de fachada orientada al norte. Las oficinas con grandes superficies de fachada orientadas al sur y al norte tienen valores de incertidumbre cercanos a las oficinas con una sola gran superficie de fachada orientada al norte.

Por lo tanto, al estimar el Coeficiente de Pérdida de Calor (HLC) considerando sólo el valor de la precisión del sensor de temperatura del aire que da el fabricante, se excluyen la mayor parte de las causas de las incertidumbres de las mediciones de T_{in} and T_{out} .

5. Conclusions

In an in-use tertiary building, the uncertainty values of the indoor and outdoor air temperature, called in this document Temperature Uncertainty (U_T), are greater than the manufacturer accuracy, called in this document Temperature Sensor Uncertainty ($U_{T(s)}$). Usually the Temperature Sensor Uncertainty ($U_{T(s)}$) is the value considered as uncertainty of the indoor and outdoor air temperature measurements for the Heat Loss Coefficient (HLC) estimation, excluding other causes of uncertainty as the user behaviour, solar radiation gain's incidence, heating and ventilation system incidence and others.

The offices with a larger south-facing facade area have uncertainties of indoor air Temperature (U_T) greater than the offices with larger north-facing facade area. The offices with large south and north facing facade areas have uncertainty values close to offices with only one large north-facing facade area.

Así pues, al estimar el Coeficiente de Pérdida de Calor (HLC) se subestimaría dicho valor al no considerar la incertidumbre total de las temperaturas del aire interior y exterior.

6. Funding

Este trabajo fue apoyado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional a través del proyecto MONITHERM "Investigación de técnicas de vigilancia de edificios ocupados para su caracterización térmica y metodología para identificar sus indicadores clave de rendimiento", proyecto de referencia: RTI2018-096296-B-C22 y - C21 (MCIU/AEI/FEDER, UE).

El autor correspondiente reconoce también el apoyo prestado por la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) y la Universidad de Burdeos mediante una beca concedida a la Sra. Catalina Giraldo-Soto para completar su doctorado mediante el Convenio Marco: Campus de Excelencia Euro-regional en el contexto de sus respectivos proyectos de excelencia, Euskampus e IdEx Burdeos. Referencia de la financiación: PIFBUR 16/26.Universidad del País Vasco (UPV/EHU).

Therefore, the HLC estimated considering only the manufacturer given Temperature Sensor Uncertainty ($U_{T(S)}$) exclude the most part of causes of uncertainties of T_{in} and T_{out} measurements. Thus, the uncertainty of the estimated HLCs would be underestimated in case the total uncertainty of indoor and outdoor temperatures are not considered.

6. Funding

This work was supported by the Spanish Ministry of Science, Innovation and Universities and the European Regional Development Fund through the MONITHERM project 'Investigation of monitoring techniques of occupied buildings for their thermal characterization and methodology to identify their key performance indicators', project reference: RTI2018-096296-B-C22 and - C21 (MCIU/AEI/FEDER, UE).

The corresponding author also acknowledges the support provided by the University of the Basque Country and University of Bordeaux through a scholarship granted to Ms. Catalina Giraldo to complete her PhD degree through the Framework Agreement: Euro-regional Campus of Excellence within the context of their respective excellence projects, Euskampus and IdEx Bordeaux. Funder reference: PIFBUR 16/26.University of the Basque Country (UPV/EHU).

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] C. Giraldo-Soto, A. Erkoreka, L. Mora, I. Uriarte, L.A. Del Portillo, Monitoring System Analysis for Evaluating a Building's Envelope Energy Performance through Estimation of Its Heat Loss Coefficient, *Sensors*. 18 (2018) 2360. <https://doi.org/10.3390/s18072360>.
- [2] Proposal for of the European Parliament and of the Council amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings. General approach, 2017. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016PC0765&from=EN>.
- [3] Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings, 2016. [http://www.europarl.europa.eu/oeil-mobile/fiche-procedure/2016/0381\(COD\)](http://www.europarl.europa.eu/oeil-mobile/fiche-procedure/2016/0381(COD)).
- [4] O. Brajterman, M. Jamieson, Y. Verstraeten, J. Arbon, EPBD Compliance Study - Final Report. Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) Compliance Study Specific Contract No. MOVE/ENER/SRD.1/2012-409-Lot3/ENER/C3/2014-542/S12.701648, European Union, 2018. <https://doi.org/10.2833/281509>.
- [5] D. Butler, A. Dengel, Review of Co-Heating test methodologies, NHBC Foundation, Knowhill, UK, 2013. <https://www.nhbcfoundation.org/publication/review-of-co-heating-test-methodologies/>.
- [6] I. Uriarte, A. Erkoreka, C. Giraldo-Soto, K. Martin, A. Uriarte, P. Eguia, Mathematical development of an average method for estimating the reduction of the Heat Loss Coefficient of an energetically retrofitted occupied office building, *Energy and Buildings*. 192 (2019) 101–122. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.03.006>.
- [7] J.R. Taylor, Introduction to Error Analysis, 2nd Ed. (cloth), University Science Books, California, Florida, USA, 1997. <http://adsabs.harvard.edu/abs/1997iea..book.....T> (accessed February 8, 2020).
- [8] Affordable and Adaptable Public Buildings through Energy Efficient Retrofitting (A2PBEER), (n.d.). <http://www.a2pbeer.eu/> (accessed May 16, 2018).
- [9] BIPM - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), (n.d.). <https://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html> (accessed February 4, 2020).

Appendix A

Acronym	Meaning
A2PBEER	Affordable and Adaptable Public Buildings through Energy Efficient Retrofitting
BAS	Building Automation System
BEEP	Building's Envelope Energy Performance
°C	Celsius Grade
DS	Domotic System
dv	Volume Differential
e	East
E	Exterior
EEB	Energy Efficiency of Building
EMS	Energy Monitoring System
EPC	Energy Performances Certification
EU	Europe Union
h	High
HLC	Heat Loss Coefficient [kW/K]
HLC_{range}	Heat Loss Coefficient estimate and its Maximum and Minimum range variation [kW/K]
K	Coverage Factor
$K_{e,k}$	Electricity Gains in an Instant of Time k [kW]
kW	Kilo Watt
$K_{o,k}$	Metabolic Gains due of occupants in an Instant of Time k [kW]
K_k	Instantaneous total Internal Gains in an Instant of Time k [kW]
l	Low
m	Medium
m ²	Square Meter
MCS	Monitoring and Controlling System
$\bar{\mu}$	Global Mean of t_N Samples [K or °C]
μ_{t_N}	Mean of Air Temperature for each t_N [K or °C]
MMS	Mobile Monitoring System
MONITHERM	Investigation of monitoring techniques of occupied buildings for their thermal characterization and methodology to identify their key performance indicators
n	North
N	Sample Size defined by the Number of Instants of Time t_N
OT	Office Typology
OT1	Office Typology One
OT2	Office Typology Two
OT3	Office Typology Three
OT4	Office Typology Four
Q_k	Heating Gains [kW]
RH	Relative Humidity
s	South
S_a	Solar Aperture in an Instant
$\bar{\sigma}$	Mean Standard Deviation of t_N Samples [K or °C]
σ_{t_N}	Experimental Standard Deviation of Air Temperature for each t_N [K or °C]
$\bar{\sigma}^2$	Mean Variance of t_N Samples [K ²]
$\sigma^2_{t_N}$	Variance of Air Temperature for each t_N [K ²]
$(T)_{dv,t_N}$	Air Temperature measurements from the sensor occupying Volume Differential
t_N	Instants of Time
T_{in}	Indoor Air Temperature [K or °C]
T_{out}	Outdoor Air Temperature [K or °C]
U	Expanded Uncertainty
U_{HLC}	HLC Uncertainty [kW/K]
UPV/EHU	University of Basque Country
U_T	Temperature Uncertainty [K or °C]
$U_{T_{in}}$	Indoor Air Temperature Uncertainties [K or °C]
$U_{T_{out}}$	Outdoor Air Temperature Uncertainty [K or °C]
$U_{T(S)}$	Temperature Sensor Uncertainty [K or °C]
$U_{T_{in(s)}}$	Indoor Air Temperature Sensor Uncertainties [K or °C]
$U_{T_{out(s)}}$	Outdoor Air Temperature Sensor Uncertainty [K or °C]
V_{sol}	South Vertical Global Solar Radiation [kW/m ²]
w	West
W	Watt
WS	Workspace
Z	Number of Temperature measurement for each t_N

Analysis of the airtightness of the Basque Country social housing stock

Análisis de la estanqueidad al aire de la envolvente del parque de viviendas de alquiler público del País Vasco

Pablo Hernández¹, Juan María Hidalgo¹, Eider Iribar¹, Imanol Ruiz de Vergara¹, Iván Flores¹

ABSTRACT

A detailed analysis of the airtightness was carried out in 35 social dwellings of the Basque Country in 2019. The aim of this study was to evaluate the significance of air leakages in social housing and its relationship with the energy performance of these buildings. This research allowed to assess the magnitude of the air leakages and to identify the main areas of infiltration. Besides, the results of the study were compared to national and European references in order to position the quality of construction of the social housing in the Basque Country.

The tested 35 dwellings were selected among 11 buildings, as a representative sample of the social housing stock of the Basque Country in terms of the year of construction, HVAC system features and Energy Performance Certificate (EPC). The blower door tests were carried out following the UNE-EN 13829:2002 (updated recently by UNE-EN ISO 9972:2019). All the dwellings were tested under the method B of the standard to evaluate the envelope leaks. Additionally, 8 of them were also tested using the method A to measure the impact of ventilation and intended openings. For the analysis, several variables were taken into account, such as the typology of the dwelling, the number of bedrooms, the net floor area and the internal volume. In order to complete the study additional measurements were done, using an infrared camera to locate the main infiltration areas and a thermo-anemometer to assess the magnitude of the air infiltrations.

The results revealed that there are no clear lineal relations between dwelling parameters as the internal volume and the airtightness of the dwellings. Neither the typology of the dwellings, nor the net floor area, the EPC or HVAC features seem to have a direct influence on the air leakages. On the other hand, a clear difference is observed when comparing the average airtightness of the 11 analyzed buildings, which suggests the mayor role of the quality of construction. The air exchange rate at 50 Pa (n_{50}) ranges from a maximum of 7,0 h⁻¹ to a minimum of 1,8 h⁻¹ among the 35 tested dwellings. In the 8 housings tested in more detail, using methods A and B of the standard, the difference between both methodologies was significant and showed an average increase of a 31 % in the air changes per hour rate. The location of air leakage areas also showed a great variability among dwellings, although the main areas of air leakage were found around the windows and the boxes of roller shutters. Lastly, the comparison with up to date national studies showed that the airtightness of the Basque Country social housing stock is notably better, with average 4,0 h⁻¹ against values that range from 7,7 h⁻¹ in Spanish multifamily buildings to 7,0 h⁻¹ in Spanish social housing.

Key Words: air leakage, blower door test, energy losses

(1) ENEDI Research Group, Department of Thermal Engineering, UPV/EHU, pablo.hernandezd@ehu.eus

1. Introducción

Los edificios residenciales son responsables de aproximadamente el 40 % del consumo energético y del 36 % de emisiones de CO₂ de la UE [1]. Dos de los principales factores que influyen en el consumo energético del edificio son las instalaciones energéticas y las características constructivas. Dentro de las características constructivas se tienen en cuenta aspectos como el nivel de aislamiento, la calidad de los materiales, la presencia de puentes térmicos, etc. Otro aspecto que puede influir notablemente en la eficiencia energética del edificio es la estanqueidad de la envolvente, que determina la cantidad de infiltraciones de aire no controladas que se producen en el edificio. Desde el punto de vista energético interesa aumentar la estanqueidad de la envolvente para minimizar las pérdidas energéticas que se producen por las infiltraciones de aire. Sin embargo, una estanqueidad excesiva combinada con una mala ventilación de la vivienda puede generar problemas relacionados con la calidad de aire interior, al aumentar la concentración de contaminantes y el nivel de humedad [2]. Por ello, una correcta caracterización y control de la estanqueidad de la envolvente de los edificios juega hoy en día un papel esencial en la eficiencia energética en edificación.

Debido a las recientes regulaciones que limitan la transmitancia térmica de la envolvente de los edificios [3], las pérdidas de energía por infiltración cobran mayor protagonismo en el cómputo global del consumo energético del edificio, en detrimento de las pérdidas energéticas por transmisión, que son cada vez menores en los edificios de energía casi nula (EECN). Por ello, los proyectos que abordan este aspecto se han venido intensificando en los últimos años [4], [5]. Los primeros a un nivel detallado fueron desarrollados en Estados Unidos y Canadá y revelaron que las pérdidas de energía por infiltraciones de aire pueden suponer entorno al 25 % de la demanda de calefacción y al 3 % de la demanda de refrigeración en edificios situados en climas fríos [6], [7]. En países con climas más benevolentes, como España, este tipo de estudios se encuentra en una fase más temprana de desarrollo ya que tradicionalmente se ha utilizado la ventilación natural, hasta la entrada en vigor del DB-HS3 del CTE en 2006.

En España el estudio pionero sobre la estanqueidad de los edificios ha sido el proyecto INFILES [5], desarrollado entre los años 2016 y 2018. El estudio se desarrolló sobre una muestra de 401 viviendas repartidas a lo largo de la geografía española. Para el análisis se tuvieron en cuenta, entre otros, factores como el año de construcción, el tamaño del edificio, la tipología, el número de pisos, las características constructivas y las de las instalaciones, etc. Los resultados revelaron una tasa promedio de renovaciones de aire de 7,12 h⁻¹ y una permeabilidad al aire a 50 Pa de 5,63 m³/(h·m²) [8]. En cuanto a la repercusión energética de las infiltraciones de aire, estos estudios

1. Introduction

Residential buildings account for the 40 % of the energy consumption and 36 % of CO₂ emissions in the European Union [1]. The energy systems and the constructive characteristics are two of the main factors that influence the energy consumption of a building. Some of the constructive characteristics of a building are the level of insulation, the quality of the materials, the amount of thermal bridges, etc. Another aspect that may influence notably the energy efficiency of the building is the air tightness of the envelope, which determine the amount of uncontrolled air leakages in the building. From the point of view of energy, a high air tightness is desired in order to minimize the energy losses associated to air leakages. However, an excessive level air tightness of the building in combination with a bad ventilation may lead to air quality problems, increase the concentration of pollutants and the level of humidity [2]. Therefore, a suitable characterization and control of the air tightness of the buildings plays an important role in the energy efficiency of the building.

Due to recent regulations limiting the thermal transmittance of the envelope of the buildings [3], the energy losses related to air leakage become more important in detriment of the energy losses due to thermal transferences, which have diminished in nearly zero energy buildings (nZEB). Thus, projects regarding this matter have increased in the past few years [4], [5]. The first detailed studies were carried out in the United States and Canada and showed that the energy losses related to air leakage could account for the 25 % of the heating demand and 3 % of the cooling demand in buildings located in cold climates [6], [7]. In countries with a moderate climate such as Spain, where natural ventilation was more frequent until the entry into force of the DB-HS3 of the CTE in 2006, this kind of studies are still in an early development stage.

In Spain, the INFILES Project [5] developed between years 2016 and 2018, is pioneer regarding this matter. The study had a sample of 401 dwellings spread throughout the Spanish geography. Several aspects such as the year of construction, the size of the building, the typology, the number of floors, the constructive and energy system characteristics were taken into account for the research. The results showed an average air changes per hour of 7,12 h⁻¹ and an air permeability at 50 Pa of 5,63 m³/(h·m²) [8]. Regarding the energy impact of the air leakage, this research point out that they may account for the 10 % of energy losses of residential buildings in Spain [9].

The building stock of any country is highly heterogeneous and there are many classifications in order to categorize it. One of them is to differentiate the property of the building between public and private. Residential public buildings are buildings managed

señalan que las pérdidas pueden suponer más del 10 % del consumo de energía en los edificios residenciales de España [9].

El parque de viviendas de cualquier país es altamente heterogéneo y son muchas las clasificaciones que se utilizan para sectorizarlo. Una de ellas es diferenciar el grado de propiedad del edificio entre público y privado. Las primeras constituyen un modelo de gestión de edificios residenciales llevado a cabo por una entidad pública que ofrece el alquiler de viviendas a bajo coste a inquilinos que cumplen con una serie de requisitos, normalmente relacionados con un bajo nivel de ingresos. Por ello, este tipo de viviendas puede verse afectado por problemas de pobreza energética [11]. Además, este tipo de viviendas suelen estar relacionadas también con un bajo nivel de concienciación energética, lo que implica que los inquilinos pueden no actuar correctamente cuando se detectan problemas de índole energética. Por ello, mejorar la eficiencia energética en este tipo de edificios es vital para evitar situaciones críticas tanto en aspectos energéticos como en confort. La forma habitual de llevar a cabo esto es prestar atención a los sistemas técnicos o al nivel de aislamiento [12]. Sin embargo, otro aspecto importante a tener en cuenta a la hora de rehabilitar energéticamente un edificio es el nivel de infiltraciones, tal y como demuestran todos los estudios al respecto. Mejorar la estanqueidad del edificio puede afectar tanto a la eficiencia energética del edificio como a la calidad de vida de los usuarios.

El presente estudio caracteriza la estanqueidad al aire del parque de viviendas de alquiler social de la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV). Estos edificios están gestionados en su mayoría por la Sociedad pública de alquiler Alokabide y está compuesto por un total de un total de 7700 viviendas agrupadas en 234 promociones, repartidas por todo el territorio de la comunidad. El presente estudio se enmarca en el Plan Especial de Auditorías Energéticas planificado a través de la iniciativa de Rehabilitación Inteligente de Edificios Bajo Criterios de Energía Casi Nulo, financiado por el Programa de Ciencia Tecnología e Innovación (PCTI) [13]. Dentro de dicho plan se ha clasificado el inventario del parque de viviendas de alquiler social atendiendo a la severidad climática en la localización de los edificios, la calificación energética y el tipo de instalación energética (individual o centralizada). Con estos criterios se han obtenido 11 grupos de edificios y se ha elegido 1 edificio representativo de cada grupo, de manera que la selección represente de manera fiable a todo el parque de viviendas de alquiler social del País Vasco. Para este estudio se han llevado a cabo ensayos de puerta ventilador en todos estos 11 edificios representativos, con el objeto de evaluar el nivel de estanqueidad del parque de viviendas público de alquiler de la CAPV.

by a public institution which offers low cost rent of dwellings for tenants which meet a series of requirements, normally in relation with a low-income level. Therefore, this type of dwellings may be involved in energy poverty problems [11]. Besides, a lack of energy awareness is also present in this type of dwellings, which implies that tenants may not act accordingly when energy issues are detected. Thus, improving the energy efficiency of these buildings is crucial in order to avoid energy and comfort problems. The level of insulation and the technical systems are the main aspects usually considered when improving the energy efficiency of the building [12]. Nevertheless, another important aspect when refurbishing a building is the level of air leakages, as proved by several research. Improving the air tightness of the building may affect both the energy efficiency of the building and the quality of life of the tenants.

The present study characterizes the airtightness of the social housing building stock of the Autonomous Community of the Basque Country (Comunidad Autónoma del País Vasco, CAPV). These buildings are mostly managed by the public company Alokabide and the stock is made up of 7700 dwellings grouped in 234 buildings, spread all over the territory of the community. The present work is related to the "Energy Audit Special Plan" (Plan Especial de Auditorías Energéticas) designed inside by the project Smart Refurbishment of Buildings Under Nearly Zero Energy Criteria, funded by the Basque Government Science Technology and Innovation program (Plan de Ciencia tecnología e Innovación, PCTI) [13]. Within this plan the social housing building stock has been categorized according to the climate severity of the building location, the energy performance, and the typology of technical system (individual or centralized). With these criteria 11 groups of buildings have been obtained and 1 building has been chosen out of each group, so as to represent in the best possible way the social housing buildings stock of the Basque Country. For this work blower door tests have been carried out in all of the 11 representative buildings in order to assess the air tightness of the social housing building stock of the CAPV.

2. Methodology

2.1. Description of the sample

The measurements have been done in one or more dwellings in all of the 11 representative buildings of the social housing building stock of the CAPV. Table 1 shows the main characteristics of each building, mainly those related to the analysis of the air tightness of the building, such as the year of construction along with the constructive standard, the number of dwellings, the climatic zone where the building is located (according to the climatic zones defined in the DB-HE of the 2013 CTE) and the compactness ratio of the building. The heating demand of the Energy Performance Certificate (EPC) is also shown in order

2. Metodología

2.1. Descripción de los casos de estudio

Las mediciones se han realizado en una o más viviendas en cada uno de los 11 edificios representativos del parque de viviendas de alquiler social de la CAPV de forma que representen con fiabilidad a la muestra estudiada. En la Tabla 1 se recogen las principales características de cada edificio, principalmente aquellas que influyen en el estudio de la estanqueidad de la envolvente, tales como la fecha de construcción junto con la normativa constructiva correspondiente, el número de viviendas, la zona climática en la que se ubica (según las zonas climáticas del DB-HE del CTE 2013) y la compactidad del edificio. También se indica la demanda de calefacción del Certificado de Eficiencia Energética (CEE) para analizar el impacto de las pérdidas energéticas debidas a infiltraciones de aire.

Tal y como se puede observar en la Tabla 1, los edificios seleccionados han sido construidos entre los años 2004 y 2015, por lo que algunos han sido construidos bajo las prescripciones de la NBE-CT-79 mientras que los más recientes cumplen con las restricciones del DB-HE del CTE 2006. El tamaño de los edificios seleccionados es muy diverso, señal de que el parque de viviendas de alquiler social es muy heterogéneo. Algunas promociones son grandes bloques de más de un centenar de viviendas, mientras que otras constituyen pequeños bloques aislados con pocas decenas de viviendas. Esto se puede relacionar con la compactidad de los edificios, que varía desde 1,5 en el edificio más expuesto hasta 4,7 en el caso del edificio más protegido de las condiciones ambientales.

El número de viviendas de cada edificio influye en la cantidad de ensayos que deben realizarse en éste para que el resultado sea representativo de la estanqueidad general de la promoción. El método seguido para seleccionar el número y el tipo de las viviendas objeto de ensayo es el recomendado por

to analyse the impact of the energy losses due to air leakages.

As depicted from Table 1, the selected buildings have been constructed between 2004 and 2015. Therefore, some of them follow the prescriptions of the energy regulation NBE-CT-79 whereas the other should meet the requirements of the DB-HE of the CTE 2006. Another aspect that reminds the heterogeneity of the building stock is the diversity of the size of the selected buildings. Some of the developments are big buildings of hundreds of dwellings whereas other are small isolated blocks of tens of dwellings. This can be related to the compactness ratio of the building, which ranges from 1,5 in highly exposed buildings to 4,7 in those buildings that are relatively protected against environmental conditions.

The number of dwellings in each building plays an important role when deciding the amount of blower door tests that need to be carried out in order to obtain a representative result of the air tightness of the building. The methodology used to decide the number and typology of dwellings to be tested is the one recommended by the "Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación del Gobierno Vasco" (LCCE) in the Basic Guide of Thermal Control in Buildings [14]. According to this guide, the number of tests to be carried out in a specific building depends on the number of dwellings of the building, as depicted from Table 2. When more than 1 tests need to be carried out in the same building a priority when choosing the dwelling is established. The criteria followed to prioritize the dwellings is showed in Table 3. However, another important factor when selecting the dwellings to be tested is whether they are occupied or not, so as not to disturb the tenants. Therefore, in some cases the selection of dwellings changes due to their availability.

The selection of dwellings for the blower door test has been done according to these criteria and has involved 35 blower door tests. The characteristics of

Building	Year of construction	Construction regulation	Number of dwellings	Climatic zone	Compactness ratio (V/A) [m ³ /m ²]	EPC Heating demand [kWh/m ² ·a]
A	2009	NBE-CT-79	39	C1	3,8	43,4
B	2014	CTE DB-HE 2006	171	D1	4,7	46,0
C	2015	CTE DB-HE 2006	20	D1	3	37,6
D	2011	CTE DB-HE 2006	30	C1	2,9	48,6
E	2010	CTE DB-HE 2006	126	D1	2,5	82,7
F	2004	NBE-CT-79	60	C1	2,9	70,0
G	2006	NBE-CT-79	55	C1	1,5 - 2,2*	45,0
H	2006	NBE-CT-79	40	C1	3,4	75,7
I	2012	CTE DB-HE 2006	75	C1	3,3	46,4
J	2004	NBE-CT-79	11	C1	2,3	86,9
K	2004	NBE-CT-79	228	D1	3,4	140,3

Table 01.
General characteristics of the analysed buildings.

el Laboratorio de Control de Calidad en Edificación (LCCE) en la Guía Básica para el Control Térmico en Edificación [14]. Según esta guía, el número de ensayos a realizar en un edificio determinado depende del número de espacios habitables de este, tal y como se indica en la Tabla 2. En los edificios en los que sea necesario realizar más de 1 ensayo se debe establecer una prioridad a la hora de seleccionar la vivienda a ensayar, dependiendo de las características de los espacios habitables. Los criterios seguidos para seleccionar la prioridad de las viviendas a ensayar se indican en la Tabla 3. Sin embargo, otro factor importante para seleccionar las viviendas a ensayar es si están ocupadas por los inquilinos o no, para evitar molestias durante la ejecución del ensayo. Por ello, en algunos casos los criterios de selección han tenido que ser modificados según su disponibilidad.

Con estos criterios se ha llevado a cabo la selección de las viviendas a ensayar, lo que ha supuesto la realización de un total de 35 ensayos de puerta ventilador. Las características de las viviendas seleccionadas se indican en la Tabla 4. Se puede observar que en algunos de los edificios no se ha podido completar la ratio recomendada de ensayos por edificio (concretamente en 4 de ellos) principalmente por la disponibilidad de las viviendas. Pero en estos casos al menos se ha realizado 1 ensayo como mínimo en los 11 edificios representativos del parque de viviendas de alquiler social, lo que permite obtener un conocimiento del nivel de estanqueidad del parque. En la Tabla 4 se muestra también la ubicación de la vivienda dentro de la promoción (planta baja, planta intermedia o planta alta) así como la tipología de la vivienda, diferenciando entre viviendas con 1 orientación, 2 orientaciones-esquina, 2 orientaciones-enfrentadas o viviendas tipo testero (3 orientaciones). Se indican también la superficie útil y el volumen interno de las viviendas, siendo la superficie promedio de las viviendas ensayadas de 64,8 m² y el volumen promedio de 163,1 m³.

2.2. Descripción del test blower door

El estudio de la estanqueidad de la envolvente de los edificios se ha llevado a cabo mediante el ensayo de puerta ventilador, cuya metodología se especifica en la norma UNE-EN 13829:2002 [15] para determinar la permeabilidad al aire en edificios. Actualmente esta norma ha sido anulada por la norma UNE-EN ISO 9972:2019 [16], aunque no cambia sustancialmente el procedimiento empleado en el estudio. El ensayo consiste en generar una diferencia de presión de 50 Pa entre el interior y exterior de la vivienda mediante la instalación de una puerta ventilador en el acceso de la vivienda, tal y como se indica en la Figura 1. Mediante un test automatizado se toman 10 puntos de medición para determinar la curva de infiltración del edificio, que relaciona el caudal que circula por el ventilador y la diferencia de presión entre el interior y el exterior del edificio. En la Figura 1 se muestra a modo de ejemplo la curva de infiltración

the selected dwellings are shown in Table 4. As depicted from this table, in some of the buildings (namely in 4 of them) the recommended ratio of blower door test per building could not be met, mainly due to the availability of the dwellings. However, in these cases at least 1 blower door test has been carried out, which allows to analyse the air tightness of the building stock. Table 4 also shows the location of the dwelling within the building (low floor, middle floor, or top floor) as well as the typology of the dwelling, differentiating between dwellings with single orientation, 2 orientations-corner, 2 orientations and 3 orientations. The average useful surface of the dwellings is 64,8 m² and the average intern volume of the dwellings is 163,1 m³.

Number of dwellings	Number of tests
$n \leq 10$	1
$10 < n \leq 30$	2
$30 < n \leq 50$	3
$50 < n \leq 100$	4
$n > 100$	6

Table 02. Number of dwellings to be tested in each building.

Priority	Dwelling characteristics
1	Most frequent typology within the building
2	Dwelling with highest ventilation flow
3	Dwelling with lowest ventilation flow
4	Low floor dwelling
5	Top floor dwelling
6	Other typology

Table 03. criteria for prioritizing the selection of dwellings to be tested.

2.2. Description of the blower door test

The analysis of the air tightness of the buildings has been carried out with blower door tests, according to regulation UNE-EN 13829:2002 [15], which is used to determine the air permeability of buildings. This standard is currently annulled by regulation UNE-EN ISO 9972:2019 [16], although the procedure of the analysis does not change significantly. The test consists in generating a pressure difference of 50 Pa between the inside and outside of the dwelling using the blower door in the access door of the dwelling, as showed in Figure 1. By means of an automatized test 10 measurements points are gathered to determine the infiltration curve of the building, which relates the flow through the fan and the pressure difference between the inside and outside of the building. Figure 1 shows as an example the infiltration curve of one of the tests carried out and in Table 5 the parameters of the test are showed.

Two methods are specified in the regulation: method A and method B. In method B all of the openings of the dwellings (windows, doors, etc.) must be closed and all of the intake and extraction openings, of both

Building	Dwelling	Location of the dwelling within the building	Typology of the dwelling	Number of bedrooms	Useful surface [m ²]	Internal volume	Method A
						[m ³]	
A	A1	Middle Floor	2 orientations	2	66	162	
	A2	Middle Floor	1 orientation	2	47	115	
	A3	Middle Floor	2 orientations	3	85	207	Yes
B	B1	Low Floor	1 orientation	1	45	114	
	B2	Middle Floor	1 orientation	1	46	117	
	B3	Middle Floor	2 orientations	2	59	151	
	B4	Middle Floor	2 orientations-corner	2	58	151	
	B5	Top Floor	2 orientations	2	59	151	
	B6	Middle Floor	1 orientation	2	53	136	
C	C1	Top Floor	3 orientations	3	73	157	
	C2	Top Floor	3 orientations	3	73	180	Yes
D	D1	Middle Floor	2 orientations-corner	1	68	176	
	D2	Middle Floor	1 orientation	1	46	119	
E	E1	Middle Floor	3 orientations	3	82	207	
	E2	Middle Floor	1 orientation	2	58	149	
	E3	Low Floor	2 orientations	3	81	208	
	E4	Low Floor	3 orientations	2	59	150	Yes
	E5	Low Floor	3 orientations	3	82	206	
	E6	Middle Floor	1 orientation	2	57	146	Yes
F	F1	Low Floor	3 orientations	2	64	170	
G	G1	Low Floor	3 orientations	3	75	190	
	G2	Top Floor	3 orientations	2	59	143	
	G3	Middle Floor	2 orientations	3	75	190	
	G4	Top Floor	3 orientations	2	54	122	
H	H1	Low Floor	2 orientations	2	88	223	Yes
I	I1	Low Floor	1 orientation	2	64	165	Yes
	I2	Middle Floor	1 orientation	2	70	178	Yes
	I3	Low Floor	3 orientations	3	83	214	
	I4	Middle Floor	1 orientation	2	71	182	
J	J1	Top Floor	1 orientation	2	56	141	Yes
K	K1	Middle Floor	1 orientation	2	60	151	
	K2	Middle Floor	2 orientations-corner	2	58	147	
	K3	Middle Floor	2 orientations	3	70	173	
	K4	Middle Floor	1 orientation	2	54	138	
	K5	Middle Floor	2 orientations	3	70	178	

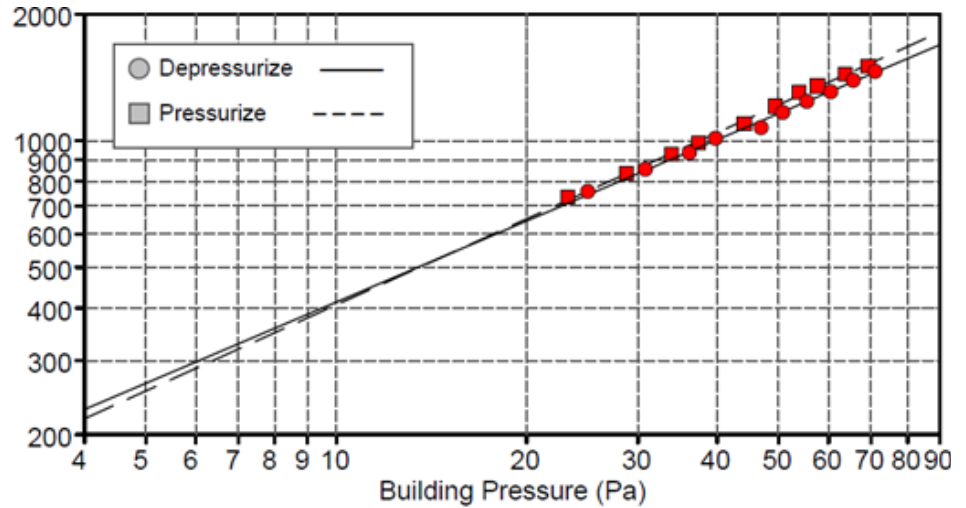
Table 04.
characteristics of the tested dwellings.

Table 05.
parameters of the blower door test.

Parameters	Description	Unit
V_{50}	Air flow at 50 Pa	m ³ /h
n_{50}	Air changes per hour at 50 Pa (ACH ₅₀)	h ⁻¹
w_{50}	Specific infiltration rate at 50 Pa	m ³ /(h·m ²)
q_{50}	Air permeability at 50 Pa	m ³ /(h·m ²)



Building Leakage (m³/h)



resultante de uno de los ensayos llevados a cabo y en la Tabla 5 se indican los parámetros que se obtienen del ensayo.

En la norma se especifican dos métodos de ensayo: método A y método B. En el método B se deben cerrar todas las aberturas de la vivienda (ventanas, puertas, etc.) y también se deben sellar las aberturas de admisión y extracción de ventilación de cualquier tipo, natural o mecánica. En el método A las aberturas de ventilación no se sellan, sino que se dejan en posición de cierre. En todas las viviendas ensayadas se ha realizado el ensayo de puerta ventilador siguiendo el método B, mientras que en 8 viviendas se ha realizado también el ensayo con el método A, tal y como se ha indicado en la Tabla 4.

Para complementar el estudio se ha utilizado una cámara de termografía infrarroja y un termo anemómetro como equipamiento auxiliar. Con la cámara termográfica, con el ensayo en modo despresurización, se pueden localizar los principales puntos de infiltraciones, gracias al salto térmico que existe entre la temperatura del aire interior y exterior. Con el termo anemómetro se puede analizar la magnitud de la infiltración midiendo la velocidad a la que entra el aire. Para este estudio se ha realizado una inspección de los principales puntos de infiltraciones en cada una de las viviendas en las que se ha realizado

mechanical and natural ventilation, must be sealed. In method A the ventilation openings do not need to be sealed but remain closed. Method B has been used to test all of the 35 dwellings selected, whereas method A has been also used to test 8 of them, as showed in Table 4.

Both an infrared camera and a thermo anemometer have been used in order to supplement the analysis. The infrared camera is used to detect, during the depressurization test, the location of the main infiltration points, due to the thermal difference between the inside and outside air. The thermo anemometer is used to analyse the magnitude of the infiltration measuring the air velocity. Within this work the main infiltration points of each of the tested dwellings have been analysed. Firstly, the infrared camera has been used to locate the main infiltration areas, as showed in the scheme of Figure 2. Secondly, the thermo anemometer has been used to determine the magnitude of the velocity of the infiltration, differentiating between low infiltration (0 – 1 m/s), middle infiltration (1 – 4 m/s) and noticeable infiltration (> 4 m/s).

Figure 01. example of blower door installation and example of the result of a blower door test.

Openings	Opaque envelope	Technical installations
<ul style="list-style-type: none"> •Window frame and wall juntion •Glazing closing •Glazing beads •Hinge •Roller shutter box •Shutter tape box 	<ul style="list-style-type: none"> •Wall •Floor and ceiling 	<ul style="list-style-type: none"> •Electricity sockets/piping •Telecoms sockets/piping •Heaters piping

Figure 02. schematics of detection of the main infiltration points.

el ensayo de puerta ventilador. Para ello, en primer lugar, se utiliza la cámara termográfica para detectar la localización de infiltraciones en los puntos más destacados, tal y como se indica en el esquema de la Figura 2. En segundo lugar, se utiliza el termo anemómetro para medir la magnitud de la velocidad de la infiltración, diferenciando entre velocidades de infiltraciones leves (0 – 1 m/s), infiltraciones moderadas (1 – 4 m/s) e infiltraciones notables (> 4 m/s).

2.3. Cálculo de pérdidas energéticas

Para determinar la magnitud de las pérdidas energéticas asociadas a las infiltraciones del edificio es necesario conocer el caudal medio de infiltración a lo largo del año. Esto es muy complicado ya que depende de muchas variables como la temperatura ambiente, las condiciones del viento o la localización de los puntos de infiltración. Existen varios métodos para estimar el caudal medio de infiltración, desde simulaciones muy complejas a modelos de cálculo sencillos. Un modelo de cálculo del caudal de infiltraciones muy extendido en este tipo de análisis es el desarrollado por Sherman [17] a partir de la ecuación de Persily-Kronvall:

$$V_{inf} = \frac{V_{50}}{N}$$

Donde V_{50} es el caudal de infiltraciones a 50 Pa obtenida mediante el ensayo de puerta ventilador y N es una constante que se determina como:

$$N = C \cdot cf_1 \cdot cf_2 \cdot cf_3$$

Donde:

- C es el factor climático que depende de la localización. Para País Vasco se ha tomado $C=20$ por comparación con los valores disponibles para los climas de EE. UU.
- cf_1 es el factor de correlación de altura del edificio. Se ha tomado igual a 1 ya que este factor solamente se aplica a viviendas de tipo unifamiliar.
- cf_2 es el factor de correlación del grado de protección. Se ha tomado igual a 1 por ser el valor para un grado de protección normal.
- cf_3 es el factor de correlación del tipo de abertura de infiltración. Se ha tomado igual a 1 por ser el correspondiente a aberturas medias.

Con esto, se puede estimar la repercusión energética asociada a las infiltraciones como:

$$E_{inf} = V_{inf} \cdot C_p \cdot G_T$$

2.3. Calculation of energy losses

In order to determine the magnitude of the energy losses associated to the infiltrations of the buildings the annual average infiltration flow needs to be known, which is overly complicated as it depends on several variables such as the environmental temperature, the wind conditions or the location of the main infiltration points. Several methods are used to determine the average infiltration flow, some of them are complex simulation and others are simple calculation methodologies. One of the most used in this type of analysis is the one developed by Sherman [17] using the equation of Persily-Kronvall:

$$V_{inf} = \frac{V_{50}}{N}$$

Where V_{50} is the infiltration flow at 50 Pa obtained using the blower door test and N is a constant which is derived as:

$$N = C \cdot cf_1 \cdot cf_2 \cdot cf_3$$

Where:

- C is the climate factor which depends on location. For the Basque Country, a climate factor of $C=20$ is chosen due to similar climate of the available data for the EE. UU.
- cf_1 is the factor which correlates the height of the building. It has been taken equal to 1 because this factor is only applied in single family houses.
- cf_2 is the factor which correlates the grade of exposure of the building. It has been taken equal to 1 as an average grade of exposure.
- cf_3 is the factor which correlated the typology of the infiltration. It has been taken equal to 1 as an average infiltration area.

Thus, the energy losses due to infiltrations may be derived as follows:

$$E_{inf} = V_{inf} \cdot C_p \cdot G_T$$

Where:

- C_p is the specific heat of the air [$W \cdot h / m^3 \cdot K$].
- G_T are the annual degree days, for both heating and cooling [kKh/a].

For the annual degree days, the online tool degree-days [18] has been used and the base temperature for heating has been set in 21 °C and the base cooling temperature in 25 °C.

Donde:

- C_p es la capacidad específica del aire [$W \cdot h/m^3 \cdot K$].
- G_T son los grados hora anuales, tanto para calefacción como para refrigeración [kKh/a].

Para los grados hora anuales se ha utilizado la herramienta degreedays [18] y se ha tomado como temperatura base de calefacción $21\text{ }^\circ\text{C}$ y como temperatura base de refrigeración $25\text{ }^\circ\text{C}$.

3. Resultados y discusión

3.1. Cuantificación de la permeabilidad al aire

La tasa promedio de renovaciones hora (n_{50}) de las 35 viviendas ensayadas es de $4,00\text{ h}^{-1}$, mientras que el caudal promedio de infiltraciones es de $642,0\text{ m}^3$. En la Tabla 6 se muestra el valor promedio obtenido de los principales parámetros del ensayo de puerta ventilador en cada una de las promociones analizadas. Por otro lado, el valor máximo de la tasa de renovaciones por hora obtenido es de $7,03\text{ h}^{-1}$ en el edificio E mientras que el valor mínimo es de $1,79\text{ h}^{-1}$ en el edificio A, tal y como se puede observar en la Figura 3. En dicha gráfica se observa también la dispersión que existe en los resultados obtenidos para un mismo edificio. Por ejemplo, para los edificios B y E, en los que se han podido realizar 6 ensayos en cada uno, se tiene que existe una diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de $2,8\text{ h}^{-1}$ y de $2,58\text{ h}^{-1}$ respectivamente. Esta diferencia es previsible y está recogida en la bibliografía [5], [6]. Es el resultado de tener un grado de exposición mayor o menor a las grietas e infiltraciones de aire basadas en la geometría y la posición de la vivienda en el edificio. Por ello, además, es por lo que se realizan un mayor número de ensayos en edificios grandes.

3. Results and discussion

3.1. Quantification of the airtightness

The average air changes per hour (ACH50) of the 35 tested dwellings is $4,00\text{ h}^{-1}$, whereas the average infiltration flow is $642,0\text{ m}^3$. Table 6 shows the average values for the main parameters of the blower door test for each of the dwellings. The highest value for the air changes per hour is $7,03\text{ h}^{-1}$ in building E whereas the lowest is

$1,79\text{ h}^{-1}$ in building A, as depicted from Figure 3. A significant scattering within the results can also be depicted from this figure. For instance, 6 tests have been carried out in both buildings B and E, and there is a difference between the highest and lowest value of $2,8\text{ h}^{-1}$ and $2,58\text{ h}^{-1}$ respectively. This difference is something expected and already expressed in the literature [5], [6]. It is the result of having more or less exposure to leaks and gaps related to geometry and different locations of the dwellings inside the building. That is the reason to conduct more tests in larger buildings.

An unexpected trend is observed when taking into account the constructive regulation of each building. Buildings have been arranged in Figure 3 according to its constructive regulation, differentiating between buildings constructed under regulation NBE-CT-79 and regulation CTE 2006. It can be observed that, except for

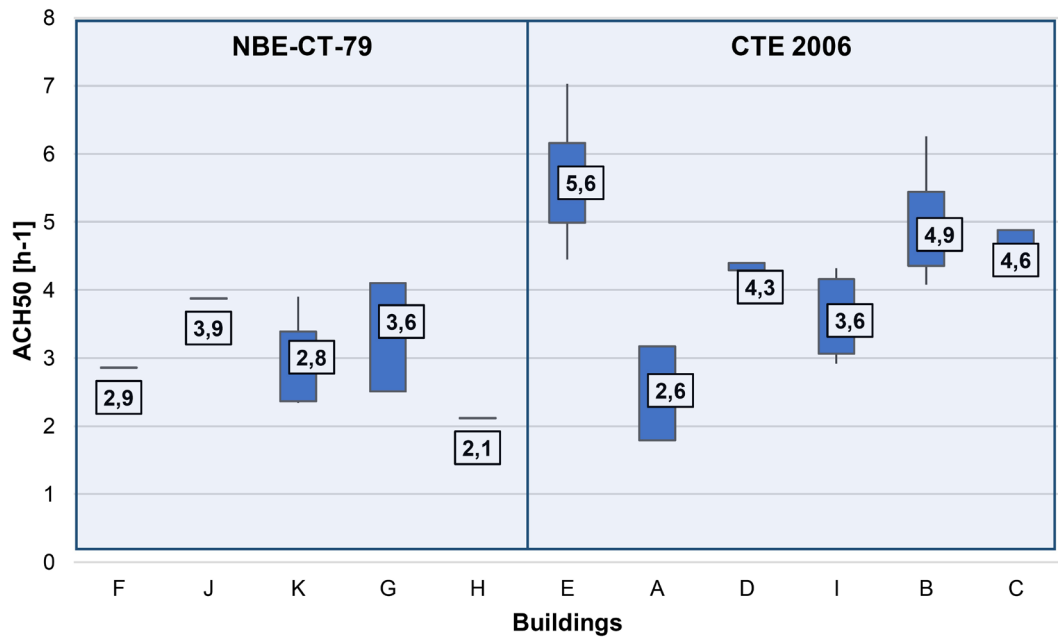
building A, those buildings constructed according CTE 2006 show an average value for the air changes per hour noticeable higher than those constructed under the previous regulation.

When analysing the dwellings according to its typology (Figure 4) it has been found that the 2 orien-

Building	$V_{50}[\text{m}^3/\text{h}]$	$n_{50}[\text{h}^{-1}]$	$w_{50}[\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)]$	$q_{50}[\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)]$	Year of construction	Number of tests
A	393,0	2,6	6,3	1,7	2009	3
B	659,9	4,9	12,5	3,5	2014	6
C	776,4	4,6	10,6	3,3	2015	2
D	642,5	4,3	11,2	3,3	2011	2
E	977,7	5,6	14,2	7,8	2010	6
F	486,2	2,9	7,6	2,2	2004	1
G	560,7	3,6	8,7	2,6	2006	4
H	472,8	2,1	5,4	2,6	2006	1
I	671,7	3,6	9,2	2,7	2012	4
J	547,1	3,9	9,8	2,7	2004	1
K	438,3	2,8	7,1	2,7	2004	5
Average	3,7	602,4	9,3	3,2		

Table 06. main results of the blower door test in the analysed buildings.

Figure 03. air changes per hour (ACH50) of the analysed buildings.

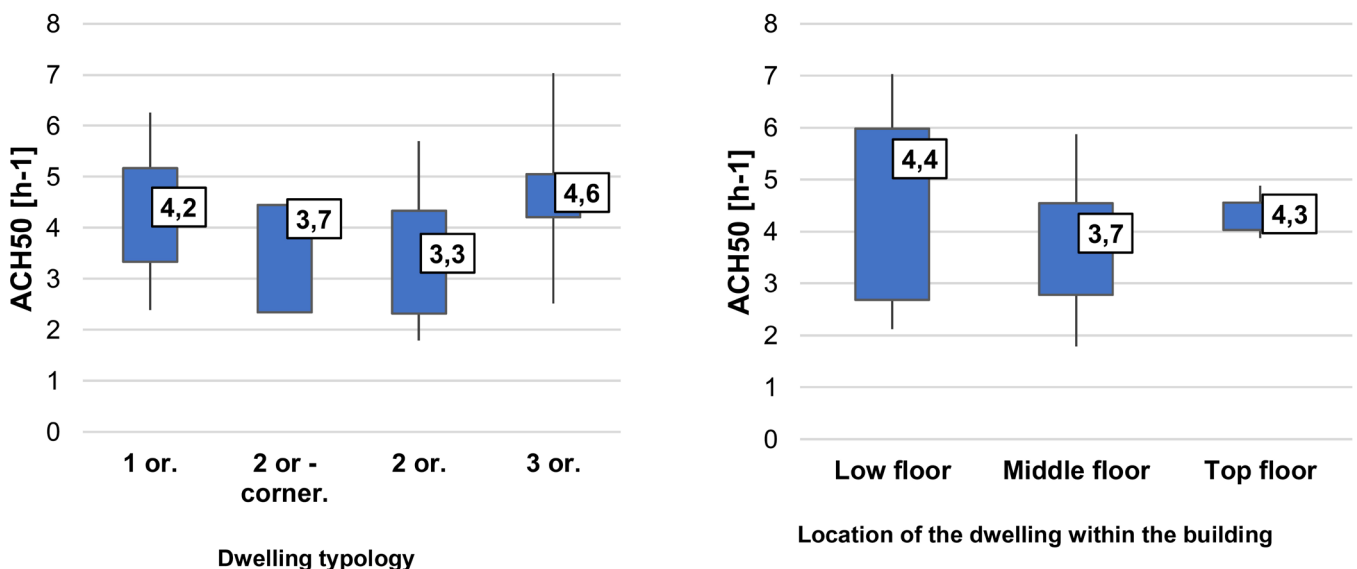


Atendiendo a la normativa constructiva que se ha aplicado a cada edificio, se observa una tendencia contraria a la esperada. En la Figura 3 se han agrupado los resultados diferenciando entre edificios construidos conforme a la norma NBE-CT-79 y conforme al CTE 2006. Se observa que, a excepción del edificio A, aquellos edificios construidos bajo el CTE 2006 presentan unos valores de renovaciones hora notablemente superiores a aquellos construidos bajo la normativa anterior.

Si se analiza la estanqueidad las viviendas en función de su orientación en el edificio (Figura 4) se ha encontrado que las viviendas tipo testero tienen una estanqueidad peor que el resto de las viviendas, aunque también se ha observado que las viviendas con una sola orientación han supuesto un valor de estanqueidad moderadamente peor que las viviendas con

tations-corner dwellings have a worse air tightness than the other typologies, although it has been also observed that the dwellings with just 1 orientation suppose a moderate worse air tightness than the dwellings with 2 orientations-corner or 2 orientation dwellings. The 2 orientation dwellings are the ones with best air tightness results. According to the position of the dwelling within the building, it can be depicted in Figure 4 that the dwellings in lower floors are the ones with worst air tightness values, although the scattering may be significant. The air tightness for dwellings in top floors is similar to those in the lower floors, which is unexpected because the top floors are more exposed to the environmental conditions. The air tightness in middle floors it is indeed moderately better than in the other floors.

Figure 04. air changes per hour according to the typology of the dwelling and the location of the dwelling within the building.



dos orientaciones, tanto tipo esquina como enfrentadas. Las viviendas analizadas de 2 orientaciones tipo pasante son las que de valor promedio proporcionan una mejor estanqueidad de la envolvente. En cuanto a la posición relativa de la vivienda dentro del edificio se observa en la Figura 4 que las viviendas situadas en plantas inferiores han supuesto el peor valor medio de estanqueidad, aunque la dispersión observada en esta tipología es bastante alta. El valor de estanqueidad en las viviendas de plantas superiores es similar al de plantas bajas, en contra de lo que cabría esperar, ya que las plantas elevadas están más expuestas a las condiciones exteriores. Se comprueba que el valor promedio de estanqueidad en las plantas intermedias sí es moderadamente mejor que el de plantas bajas y elevadas.

Si se analiza la tasa de renovaciones hora en función del tamaño de la vivienda, se observa que hay una gran variabilidad y no se percibe una relación determinante entre estos dos parámetros, tal y como se puede observar en los resultados de la Figura 5. Se observa que las viviendas de menor superficie útil son las que tienen una mayor tasa de renovaciones hora, y que este valor va descendiendo ligeramente, pero vuelve a aumentar con viviendas de más de 70 m² de superficie útil.

Otro de los parámetros analizados es la compactidad del edificio. En la Figura 6 se muestra la relación que existe entre la compactidad de las promociones analizadas y la tasa promedio de renovaciones hora. Se observa una cierta tendencia descendente en la mayoría de las promociones, con la excepción de los edificios B y G. Según esta línea de tendencia, el valor de n50 para una compactidad de 2 m³/m² sería de 4,8 h⁻¹ y para edificios compactos con compactidad 4 m³/m², el valor de n50 sería de 1,6 h⁻¹.

If the air changes per hour are analysed according to the size of the dwelling it is observed that there is an important scattering and that there is no significant correlation between these two parameters, as can be depicted from Figure 5. It is observed that the smaller dwellings have a high air changes per hour value, and this value starts to diminish while the useful surface increases, but it starts to worsen again with dwellings of more of 70 m² of useful surface.

Another of the parameters analysed is the compactness ratio of the building. Figure 6 shows the correlation between the compactness ratio of the buildings and the average air changes per hour. A decreasing trend is observed in most of the buildings, excepting for buildings B and G. According to this trend, buildings with a compactness ratio of 2 m³/m² would have an air changes per hour rate ACH50 of 4,8 h⁻¹, and for compact buildings with compactness ratio of 4 m³/m², this parameter would be 1,6 h⁻¹.

As explained before, in 8 out of 35 dwellings tested it has been also carried out the blower door test using method A, where the ventilation openings as well as the kitchen hood are not sealed. It has been found that the air permeability q₅₀ is significantly different for the same dwelling when using method A or method B. As depicted from Table 7, the value of air permeability is always higher when using the method A, as you might expect since the natural ventilation openings are not sealed and the mechanical ventilation openings are in closed position. The average difference between the two methods is 1,4 m³/(h·m²). The highest difference between the two methods is 3,4 m³/(h·m²) and it was found in a 2 orientations dwelling. The lower difference is 0,3 m³/(h·m²) and it was found in a 1 orientation dwelling.

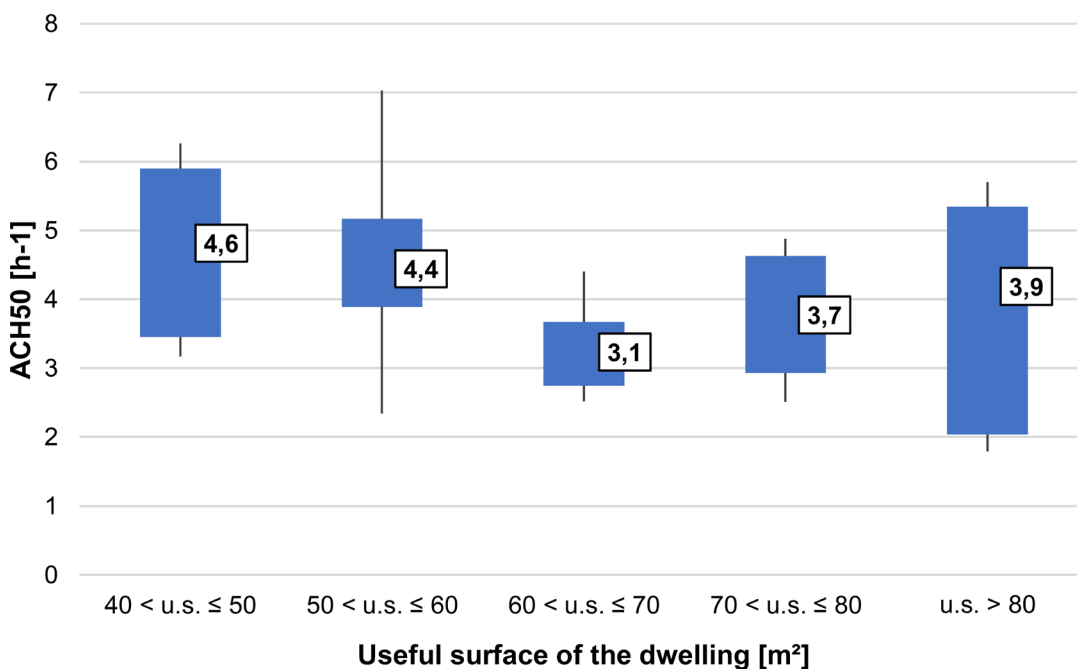
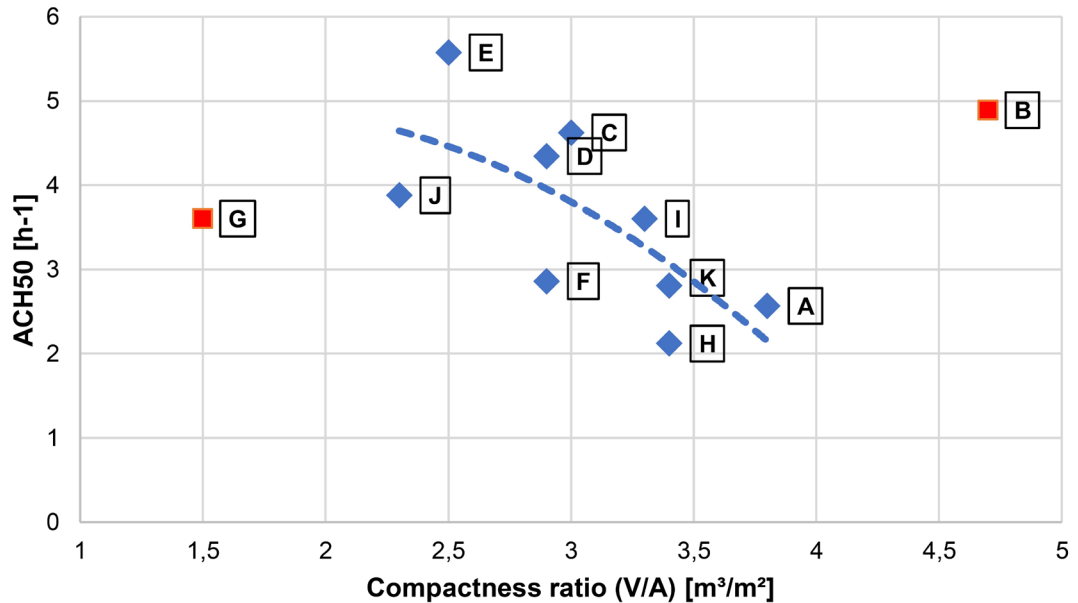


Figure 05. air changes per hour (ACH50) according to the useful surface of the dwelling.

Figure 06. relation between the air changes per hour (ACH50) and the compactness ratio of the building.



Tal y como se ha indicado anteriormente, en 8 de las 35 viviendas ensayadas se ha utilizado también el método A de ensayo, en el cual se dejan sin sellar las aberturas de ventilación y la campana extractora de la cocina. Se ha encontrado que la permeabilidad al aire q50 es significativamente distinta entre uno y otro método. Como se puede observar en la Tabla 7, para todas las viviendas ensayadas se obtiene con el método A un valor de permeabilidad al aire mayor que con el método B, tal y como cabría esperar debido a que las aberturas de ventilación natural se encuentran sin sellar y las de ventilación mecánica en posición de cierre. La diferencia promedio entre un método y otro es de 1,4 m³/(h·m²). La mayor diferencia entre un método y otro es de 3,4 m³/(h·m²) y se produce en una vivienda de planta baja de tipo pasante. La menor diferencia es de 0,3 m³/(h·m²) y se produce en una vivienda de planta intermedia de 1 orientación.

3.2. Detección del origen de las infiltraciones de aire

Tal y como se ha explicado anteriormente, durante los ensayos de puerta ventilador se ha procedido a la localización de los principales puntos de infiltraciones mediante el uso de una cámara termográfica y un termo anemómetro. Se han evaluado, por un lado, los principales puntos sospechosos de infiltraciones (ventanas, envolvente opaca, conductos de instalaciones, etc.) y por otro lado se ha medido la magnitud de la velocidad de la infiltración mediante el termo anemómetro. En el total de 35 viviendas ensayadas se han realizado más de 1000 mediciones de infiltraciones. En la Tabla 8 se muestra, de forma porcentual, el cuadro resumen de la localización y magnitud de los principales puntos de infiltraciones.

Se ha observado que, en lo referente a las infiltraciones asociadas a los huecos de la envolvente, la ma-

3.2. Air leakage origin detection

During the process of the blower door test the points of infiltration have been located using an infrared camera and a thermo anemometer. Firstly, the commonly known infiltration areas (such as windows, opaque envelope, technical system ducts, etc.) have been analysed. Secondly, the magnitude of the velocity of the infiltration has been measured using the thermo anemometer. A total of 1000 measurements have been conducted throughout the 35 blower door tests. Table 8 shows the percentage value of the location and magnitude of the main infiltration points.

It has been observed that, regarding the infiltrations of the openings of the envelope, most of them (27 % of all the infiltrations detected) are located in the frame of the opening, being a 10 % of the cases middle infiltrations. A considerable amount of cases (13 % of the total) are located in the shutter box, usually in relation with a wrong installation or infiltrations near the shutter strap. This is in accordance with similar studies carried out also in Spain [18]. Regarding the envelope, no significant defects have been found. Most of them are low or middle velocity infiltrations and are related with the electricity ducts and the false ceiling. Lastly, the sockets, telecoms facilities, heaters, etc. are considered within the technical systems group. An important amount of infiltrations have been detected in this group (24 % of the total), but the majority are low velocity infiltrations and are located in sockets and telecoms facilities.

Figure 7 shows an example of six thermographic images where different air leakages can be observed. Figure A shows an example of infiltration near the frame of a window, which is one of the defects most observed. Another of the important infiltration points is the junction of a shutter box, as showed in

yor parte (el 27 % de todas las infiltraciones detectadas) se producen en el montaje del hueco, siendo un 10 % de los casos de tipo moderado. También se produce un importante número de casos (13 % del total) en la caja de persianas, normalmente asociado a un mal montaje o a infiltraciones en la zona de la cinta. Esto concuerda con estudios similares llevados a cabo también en España [18]. En cuanto a la envolvente opaca, no se han encontrado defectos significativos, y la mayoría de ellos son de tipo leve o moderado, siendo los puntos principales las instalaciones de conductos de electricidad y los falsos techos. Por último, en el apartado de instalaciones se tienen en cuenta los enchufes, instalaciones de telecomunicaciones, radiadores, etc. Se ha observado también en este apartado un importante número de infiltraciones (24 % del total), aunque la mayoría son de tipo leve y se asocian principalmente a enchufes e instalaciones de telecomunicaciones.

A modo de ejemplo ilustrativo en la Figura 7 se muestran seis termografías en las que se observan infiltraciones de aire. En la figura A se muestra el ejemplo de infiltraciones en el montaje de una ventana, que es uno de los defectos que se ha encontrado de forma más frecuente. En la figura B se muestra otro de los puntos de infiltraciones más importantes, el cierre de una caja de persianas. Otros puntos importantes de infiltraciones son las instalaciones del edificio, tal y como se puede observar en las figuras C y D, donde se muestran infiltraciones en un enchufe y en el conducto de un radiador. Por otro lado, en las figuras E y F se muestran ejemplos de infiltraciones en puntos no tan habituales. El primero de ellos corresponde a infiltraciones por el junquillo de las ventanas. Este defecto se ha encontrado solamente en 2 de las promociones analizadas. En la figura D se muestran infiltraciones por el rodapié, otro de los defectos encontrados menos frecuentes, ya que solamente ha sido localizado en una de las promociones analizadas.

3.3. Cuantificación de las pérdidas energéticas

Se ha obtenido que las pérdidas de energía debidas a las infiltraciones de aire, tanto por calefactar como por refrigerar el aire de la vivienda, pueden suponer de media 820 kWh/a para los edificios analizados. En la Figura 8 se muestran las pérdidas de energía por infiltraciones, tanto de calefacción como de refrigeración, por unidad de superficie útil para todas las viviendas ensayadas. Se observa que el peso de

Dwelling	Method A	Method B	AB
	q ₅₀ [m ³ /(h·m ²)]	q ₅₀ [m ³ /(h·m ²)]	q ₅₀ [m ³ /(h·m ²)]
A3	3,0	1,3	1,7
D2	4,4	3,2	1,2
E4	5,7	5,0	0,7
E6	4,7	4,2	0,5
H1	5,9	2,6	3,4
I1	3,7	2,7	1,0
I2	2,5	2,2	0,3
J1	4,9	2,7	2,2
Average	4,4	3,0	1,4

Table 07. differences in the air permeability between method A and method B.

figure B. The technical systems are also an important source of infiltrations, as can be depicted from figure C and D, where infiltrations around a socket and near the duct of a heater are shown. On the other hand, figures E and F show defects that are not as usual as the previous ones. The first one shows air leakage in the glass beading of a window, which was only found in two of the buildings analysed. Figure F shows air leakage in a skirting board, which was only found in one of the buildings analysed.

3.3. Quantification of the energy losses

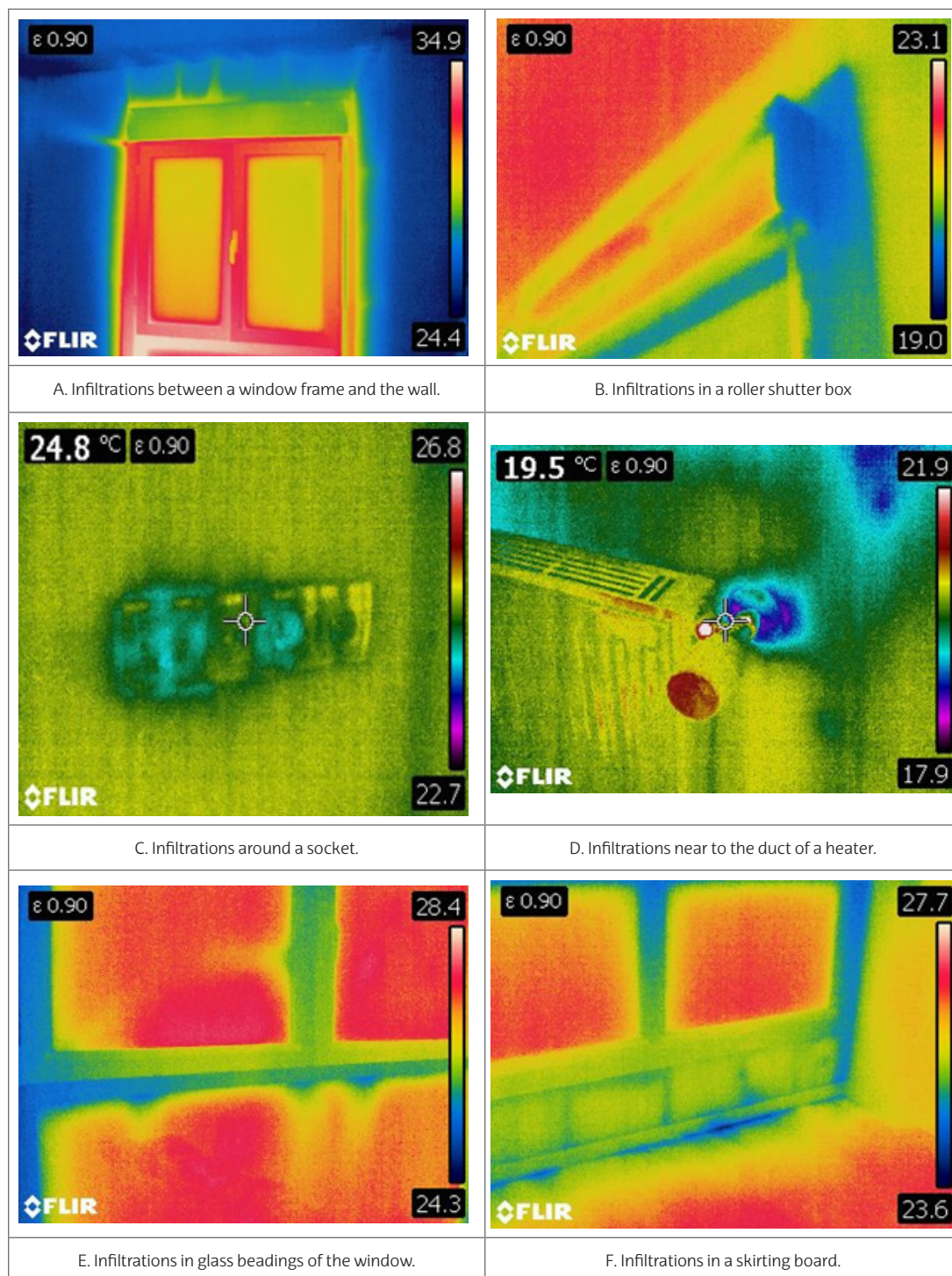
The energy losses due to air leakage, for both heating and cooling the air of the dwelling, may account in average for 820 kWh/y for all the analysed dwellings. Figure 8 shows the energy losses due to infiltrations, for both heating and cooling, by useful surface for each of the dwellings tested. It is observed that the energy losses due to heating overcome the energy losses due to cooling, meaning an average of 91 % of the total energy losses related with infiltrations. This is mainly because of the climate characteristics of the area where the buildings are located, where the heating demand is considerably higher than the cooling demand, with soft temperatures during the summer.

Therefore, it is crucial to put the focus on the energy losses due to heating infiltrations. Figure 9 shows the heating losses due to infiltrations, grouping the results for each of the buildings analysed, and arranging again the buildings according to its constructive regulation. As you might expect, the energy losses

Table 08. summary of the main points of infiltrations.

	Openings						Opaque envelope		Technical systems
	Frame	Glazing	Bead	Hinge	Roller shutter box	Strap box	Wall	Ceiling	
Low [0 - 1 m/s]	15%	2%	2%	3%	4%	5%	3%	3%	16%
Middle [1 - 4 m/s]	10%	2%	2%	1%	4%	4%	1%	3%	7%
Noticeable [> 4 m/s]	2%				5%	2%	1%	2%	2%
Total	26,9%	4,9%	3,9%	4,1%	12,5%	10,1%	4,1%	9,3%	24,1%

Figure 07.
examples of infiltrations
detection with the infrared
camera.



las pérdidas por calefacción se impone con claridad sobre la importancia de la refrigeración, siendo de media un 91 % del total de las pérdidas de energía por infiltraciones. Esto se debe principalmente a las climatologías donde se ubican los edificios, donde la demanda de calefacción es sustancialmente mayor que la de refrigeración, siendo las temperaturas templadas en verano.

Por ello, resulta crucial centrar la atención en las pérdidas de calefacción por infiltraciones. En la Figura 9 se muestran las pérdidas de calefacción debidas a

are proportional to the air changes per hour, that is to say, they are proportional to the results shown in Figure 3. The highest energy losses are found in building E, with 21,9 kWh/m²·y. This is also the building with the highest air changes per hour (5,6 h⁻¹). It is located in the province of Araba-Álava, with interior cold D1 climate. It should be noted that in buildings C and D, having a similar air changes per hour rate than building B, the energy losses due to air leakage are significantly lower. This is because these two buildings are located near the coast with climate C1. Buildings constructed under regulation NBE-CT-79,

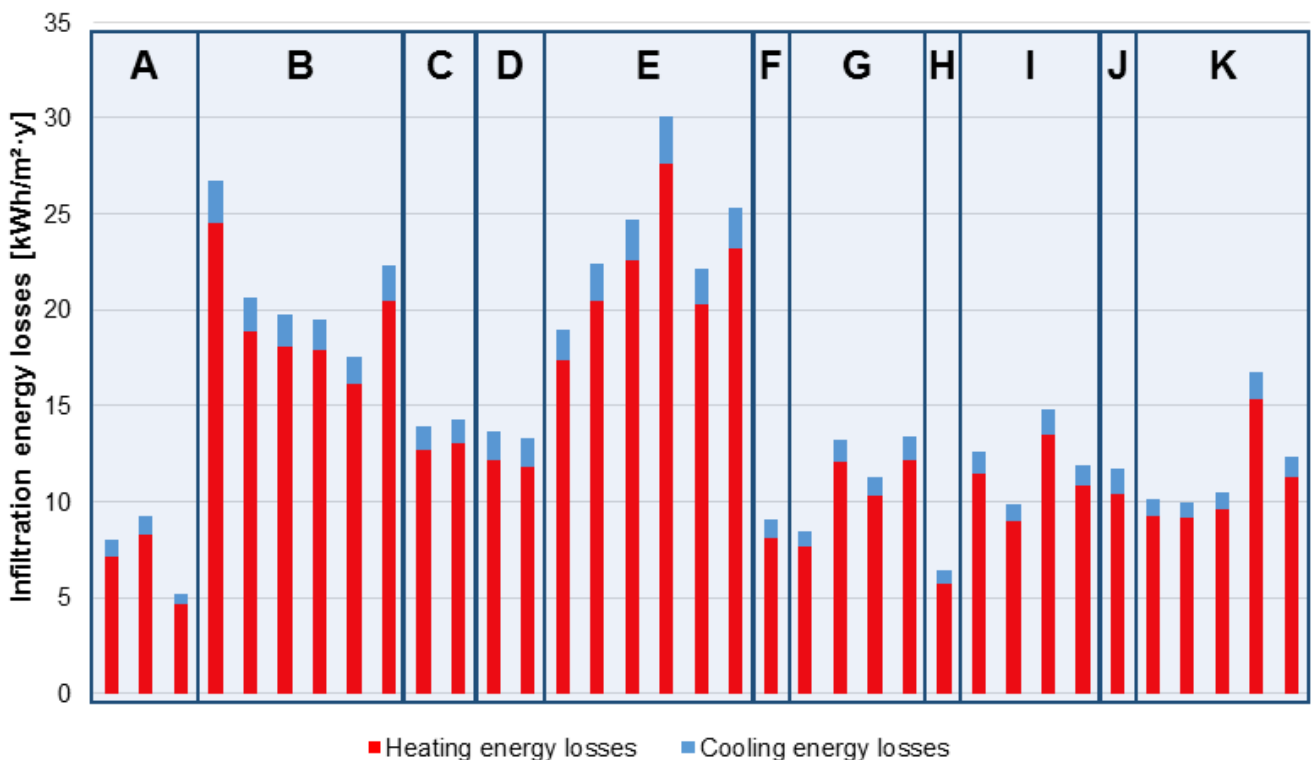
las infiltraciones agrupando los resultados obtenidos para cada una de las promociones analizadas, y de nuevo ordenando dichas promociones en función de la normativa constructiva utilizada. Como cabría esperar, las pérdidas energéticas son proporcionales a la tasa de infiltraciones, esto es, son proporcionales a los resultados de la Figura 3. El edificio con mayores pérdidas de calefacción es el edificio E, con 21,9 kWh/m²·a. Este edificio es en el que peor tasa de infiltraciones se había obtenido (5,6 h⁻¹) y además se encuentra ubicado en la provincia de Araba-Álava, con clima D1 de interior. Cabe destacar también que los edificios C y D, a pesar de tener una tasa de infiltraciones similares a las del edificio B, conllevan pérdidas de energía sensiblemente menores. Esto se debe a que se encuentran ubicados en zona climática C1 en costa. Los edificios construidos bajo la NBE-CT-79, al presentar una menor tasa de infiltraciones suponen también una menor cantidad de pérdidas de energía por infiltraciones, siendo el edificio H el que menores pérdidas conlleva. Este edificio está ubicado en la provincia de Bizkaia, donde el clima C1 es más benévolo, aunque conviene tener presente que solamente se ha llevado a cabo 1 ensayo en esta promoción, por lo que los resultados podrían no ser del todo representativos.

La demanda de calefacción indicada en el CEE de un edificio incluye, entre otros factores, la demanda de calefacción debida a las infiltraciones de aire. En la Tabla 9 se recuerda la demanda de calefacción del CEE de cada edificio y los resultados obtenidos en este estudio de pérdidas energéticas de calefacción debido a las infiltraciones de aire. En la quinta

having a lower air changes per hour rate also account for a lower amount of energy losses due to air leakage, being building H the one with lowest energy losses. This building is located in the province of Bizkaia, where the climate C1 is benevolent. However, as only one test could be carried out in this building, the results may not be representative.

The heating demand indicated in the EPC of a building includes, among other factors, the heating demand related to the air leakage. Table 9 shows the EPC heating demand of each building and the results obtained in this work of heating energy losses due to air leakage. The results shown in the fifth column are the weight of the energy losses due to infiltrations over the EPC heating demand, with an average of 21 % for the buildings analysed. Building B is the one with the highest weight of the infiltrations over the heating demand, in accordance with the high value of ACH50 found in the analysis (4,9 h⁻¹). It is of interest building E, where the worst ACH50 has been found (5,6 h⁻¹) whereas the weight of the infiltration losses is only a 27 % over the heating demand. This is because the heating demand of this building is considerably high (82,7 kWh/m²·a). Similarly it happens for buildings H and K, where the weight of the infiltrations would only suppose an 8 % of the heating demand. It is also important to highlight that the weight of the infiltrations over the heating demand in buildings constructed under regulation CTE 2006 is in average a 28 % versus a 12 % in buildings constructed under NBE-CT-79.

Figure 08. energy losses associated to heating and cooling of air leakage in the dwellings.



columna se indica el peso porcentual que tendrían las pérdidas por infiltraciones sobre la demanda de calefacción del edificio, que de promedio supondría el 21 % de la demanda de calefacción del edificio. El edificio B es sobre el que mayor peso tendrían las infiltraciones de aire sobre la demanda de calefacción, en coherencia con el elevado valor de la tasa de renovaciones por hora encontrado (4,9 h⁻¹). Destaca el caso del edificio E, donde se había encontrado la peor tasa de renovaciones por hora (5,6 h⁻¹) y, sin embargo, el peso de las infiltraciones sobre la demanda de calefacción sería de un 27 % solamente. Esto se debe a que la demanda de calefacción es considerablemente alta (82,7 kWh/m²·a). De forma similar ocurre con los edificios H y K, donde el peso de las infiltraciones solamente supondría un 8 % de la demanda de calefacción. Esto se debe también a que la tasa de infiltraciones es baja y la demanda de calefacción del CEE es alta. También cabe destacar que el peso de las infiltraciones sobre la demanda de calefacción en los edificios construidos bajo el CTE 2006 es de media un 28 % frente al 12 % en los edificios construidos bajo la norma NBE-CT-79.

3.4. Comparison with national and regional data

Table 10 shows a comparison between some of the main results of this work and results of national and regional research, obtained from the project INFILES [5]. The average air changes per hour rate of the social housing building stock of the CAPV analysed in this work is moderately lower than the average value for dwellings in Bilbao and noticeably lower than the average national value. The latter is possibly because in the CAPV air leakage problems have been taken into account traditionally, probably due to the climate conditions.

Regarding the building regulation it is observed that at national level the airtightness results are contrary to those found in the CAPV, that is to say, buildings constructed under CTE 2006 show an air changes per hour rate noticeably better than those constructed under the previous regulation. However, in the study carried out by Jesús Feijó-Muñoz et al. [18], the results follow the same trend as in this work, and the

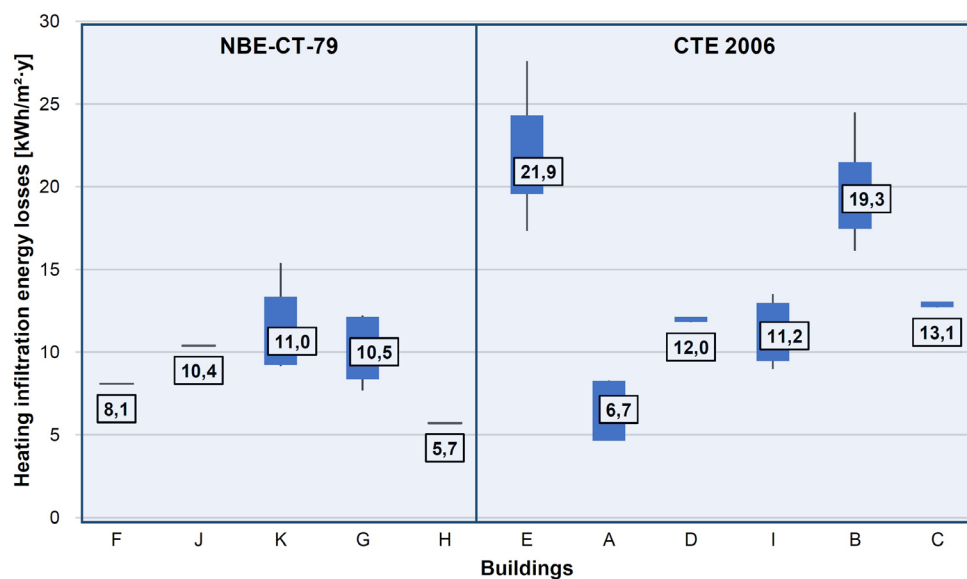


Figure 09. energy losses associated to heating due to air leakage of the buildings.

Table 09. weight of the infiltration losses over the heating demand of the buildings.

Building	Construction regulation	EPC Heating demand [kWh/m ² ·a]	Heating infiltrations energy losses [kWh/m ² ·a]	Weight of infiltrations energy losses [%]
A	NBE-CT-79	43,4	6,7	15%
B	CTE DB-HE 2006	46,0	19,3	42%
C	CTE DB-HE 2006	37,6	13,1	35%
D	CTE DB-HE 2006	48,6	12,0	25%
E	CTE DB-HE 2006	82,7	21,9	27%
F	NBE-CT-79	70,0	8,1	12%
G	NBE-CT-79	45,0	10,5	23%
H	NBE-CT-79	75,7	5,7	8%
I	CTE DB-HE 2006	46,4	11,2	24%
J	NBE-CT-79	86,9	10,4	12%
K	NBE-CT-79	140,3	11,0	8%

Parameter	Description	Reference value	This research value	
Air changes per hour ACH50 n50 [h-1]	National social housing		7,0 ¹	4,0
	Bilbao dwellings		4,7 ²	
	According to regulations	NBE-CT-79	7,2 ¹	3,1
			6,8 ³	
	CTE 2006		6,9 ¹	4,3
			8,9 ³	
	According to the location of the dwelling	Low floor	7,4 ¹	4,4
			8,0 ³	
		Middle floor	7,7 ¹	3,7
			6,7 ³	
Top floor		7,7 ¹	4,3	
		8,0 ³		
Energy losses due to air leakage [kWh/m ² ·y]	National average		13,3 ²	12,9
	Bilbao		11,4 ²	

Table 10.

comparison of the main results of the work with reference values.

¹ [5] – national sample.

² [9] – national sample.

³ [18] – continental Spain sample

3.4. Comparación con datos nacionales y regionales

En la Tabla 10 se muestra una comparativa de los principales resultados de este estudio con resultados a nivel nacional y regional, obtenidos del proyecto INFILES [5]. El valor promedio de la tasa de renovaciones hora observado en el presente estudio del parque de viviendas públicas de alquiler de la CAPV es moderadamente inferior que el promedio de viviendas de Bilbao y notablemente inferior que el promedio a nivel nacional. Esto último se puede deber a que en el País Vasco tradicionalmente se ha prestado mayor atención a las infiltraciones de aire, probablemente por la climatología de la zona.

Atendiendo a las diferencias según la normativa se observa que a nivel nacional se produce el efecto inverso de la CAPV, esto es, los edificios construidos bajo las restricciones del CTE 2006 presentan una tasa de renovaciones hora notablemente mejor que los construidos bajo la normativa anterior. Sin embargo, en el estudio llevado a cabo por Jesús Feijó-Muñoz et al. [18] sí se observa la misma tendencia que en este trabajo, siendo la muestra ensayada de la zona continental de España. En cuanto a la clasificación según la ubicación de la vivienda en el edificio, a nivel nacional no se observan diferencias significativas en función de la planta de la vivienda, mientras que los resultados de este estudio sí que indican que las viviendas ubicadas en plantas intermedias presentan un valor de la tasa de renovaciones hora ligeramente inferior al resto. De nuevo, si se comparan los resultados de este estudio con el de Jesús Feijó-Muñoz et al. [18] sí que se observa la misma tendencia.

Por último, las pérdidas de energía debido a las infiltraciones de aire del parque de viviendas de alquiler

sample was located in the continental area of Spain. When analysing the location of the dwelling within the building, at a national level no differences are found with this parameter, whereas in this work it has been found that dwellings located in lower floors do have a lower air changes per hour rate. Again, in the study carried out by Jesús Feijó-Muñoz et al. [18], a similar trend is observed.

Lastly, the energy losses due to air leakage of the social housing building stock of the CAPV are in the middle between the national value and the value for Bilbao. The explanation for this is that in this work dwellings located in the province of Araba-Álava are considered, with D1 climate, and the energy losses due to heating in this province are significantly higher because of the severer climate conditions.

When considering the difference found between the ACH50 value at national level and the value in this study

(7,0 h⁻¹ against 4,0 h⁻¹) it can be explained that, as there is no differences on buildings air tightness regulations among Spanish territories, the differences are due to a higher quality of the construction of the buildings analysed in this work.

4. Conclusions

The airtightness of 11 buildings representing the social housing stock of the CAPV has been analysed. A total of 35 blower door tests have been carried out and an average air changes per hour rate (ACH50) of 4,0 h⁻¹ at 50 Pa has been obtained. The results indicate that the most influential parameter towards the airtightness of a building is the compactness ratio of the building. According to the identified trend, buildings with low compactness ratio of 2 m³/m² can

social de la CAPV suponen un valor intermedio entre el encontrado para el promedio a nivel nacional y las viviendas de Bilbao. Esto podría deberse a que la muestra analizada en este estudio incluye también viviendas ubicadas en la provincia de Araba-Álava, con clima D1, donde las pérdidas por calefacción son más significativas debido a las condiciones climáticas más severas.

Respecto a la diferencia encontrada entre el valor de n50 a nivel nacional y el valor obtenido en este estudio

(7,0 h⁻¹ frente a 4,0 h⁻¹) se puede interpretar que, ya que no existe diferencia normativa en cuanto al tratamiento de la estanqueidad al aire de los edificios entre uno y otro territorio, la diferencia puede deberse a que la calidad de la construcción en los edificios de este estudio sea mayor que los edificios evaluados a nivel nacional.

4. Conclusiones

Se ha analizado la estanqueidad al aire de la envolvente de una muestra representativa de 11 edificios del parque de viviendas públicas de alquiler de la CAPV. En total se han llevado a cabo 35 ensayos puerta-ventilador obteniendo un valor promedio de la tasa de renovaciones por hora n50 de 4,0 h⁻¹. Se ha encontrado que el parámetro más influyente en la estanqueidad al aire de los edificios es la compacidad del edificio. Según la tendencia encontrada, en un edificio con compacidad 2 m³/m² se puede obtener un n50 de 4,8 h⁻¹, mientras que en edificios más compactos con compacidad 4 m³/m² se reduciría el valor de n50 en dos tercios, en torno a 1,6 h⁻¹. Además, se ha encontrado que la normativa constructiva influye también notablemente en la estanqueidad al aire del edificio. Los edificios construidos bajo la NBE-CT-79 tienen una tasa promedio de renovaciones por hora de 3,1 h⁻¹, mientras que aquellos edificios construidos bajo el CTE 2006 tienen una tasa promedio de 4,3 h⁻¹. También se ha analizado la influencia de otros parámetros como la orientación de la vivienda y la posición relativa de la vivienda dentro del edificio.

Se han clasificado y analizado los principales puntos de infiltración con la ayuda de una cámara termográfica y un termo anemómetro. Se ha detectado que las áreas más importantes de infiltraciones son el montaje de las ventanas, con un 27 % del total de mediciones efectuadas, y las instalaciones, con un 25 % del total de infiltraciones, entre las que se incluyen las infiltraciones en enchufes, telecomunicaciones o conductos de las instalaciones de calefacción.

En cuanto al impacto energético de las infiltraciones de aire, se ha calculado que estas pérdidas pueden suponer de media 12,9 kWh/m²•a asociados a calefacción y refrigeración, lo que supone de media un 21 % de la demanda de calefacción y refrigeración

expect an ACH50 of 4,8 h⁻¹ and compact buildings of 4 m³/m² would reduce it by two thirds, namely 1,6 h⁻¹. Besides, buildings regulation is significantly influencing the results as well. Buildings constructed according to the NBE-CT-79 have an average ACH50 of 3,1 h⁻¹, while buildings constructed under CTE 2006 have an average ACH50 of 4,3 h⁻¹. The influence of other parameters such as the orientation of the dwelling and the location of the dwelling within the building has been analysed.

The main infiltration points have been classified and analysed using an infrared camera and a thermo anemometer. The most significant leakage areas are located near the junction between the frame of the windows and the walls, with a total of 27 % of the infiltrations detected, and also in the technical systems installations such as sockets, telecoms and heater ducts, with a total of 25 % of the infiltration points detected.

Regarding the impact of the energy losses due to air leakage, it has been derived that these heat losses account for 12,9 kWh/m²•y, that is an average of 21 % of the total heating and cooling needs according to the EPC of these buildings. A correlation between the energy losses and the constructive regulation has been found, in accordance with the results found for the air tightness. Buildings constructed under regulation NBE-CT-79 have heating energy losses due to air leakage of 9,1 kWh/m²•y (12 % of their EPC heating and cooling needs) whereas buildings constructed under CTE 2006, 14,0 kWh/m²•y (28 % of their EPC heating and cooling needs). These results are consistent with national values of recent studies, where the energy losses due to air leakage are estimated at 13,3 kWh/m²•y.

Acknowledgements

This work has been possible because of the agreement held between the Public Society ALOKABIDE and the ENEDI Research Group of the University of the Basque Country, within the PCTI initiative and the "Plan Integral 2018-2020 de Rehabilitación nZEB del Parque Residencial Público de Alquiler". Additionally, thanks to the "Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación" and the "Dirección de Vivienda y Arquitectura del Departamento de planificación territorial, urbanismo y regeneración urbana" of the Basque Country Government.

del CEE de los edificios analizados. Se ha encontrado una importante relación entre las pérdidas de energía y la normativa de construcción, de forma paralela a lo encontrado para la tasa de renovaciones de aire. Las promociones construidas bajo la norma NBE-CT-79 tienen un promedio de pérdidas de energía asociadas a calefacción por las infiltraciones de aire de 9,1 kWh/m²·a (un 12 % de la demanda de calefacción y refrigeración del CEE), mientras que las construidas bajo el CTE 2006, 14,0 kWh/m²·a (un 28 % de la demanda indicada en el CEE). Estos resultados concuerdan con los valores encontrados a nivel nacional, donde las pérdidas de energía debido a infiltraciones de aire se sitúan en 13,3 kWh/m²·a.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al convenio celebrado por la sociedad pública ALOKABIDE, de colaboración con el Grupo de investigación ENEDI de la Universidad del País Vasco UPV/EHU, dentro de la iniciativa PCTI y el Plan Integral 2018-2020 de Rehabilitación nZEB del Parque Residencial Público de Alquiler. Igualmente, agradecer al Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación y a la Dirección de Vivienda y Arquitectura del Departamento de planificación territorial, urbanismo y regeneración urbana del Gobierno Vasco.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] European Commission, "Energy Efficient Buildings," 2020. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings_en. [Accessed: 01-Jun-2020].
- [2] Ü. Alev and T. Kalamees, "Field Study of Airtightness of Traditional Rural Houses in Estonia," in CLIMA 2013, 2013.
- [3] movilidad y agenda urbana Ministerio de Transportes, "Código Técnico de la Edificación." [Online]. Available: <https://www.codigotecnico.org/>. [Accessed: 01-Jun-2020].
- [4] E. Union, "QUALICheck Project," 2020. [Online]. Available: <http://qualicheck-platform.eu/>. [Accessed: 01-Jun-2020].
- [5] U. de V. Grupo de Investigación Reconocido Arquitectura y Energía, "Proyecto INFILES." [Online]. Available: <http://infiles.uva.es/index.html>. [Accessed: 01-Jun-2020].
- [6] M. H. Sherman and R. Chan, "Building Airtightness: Research and practice," Lawrence Berkeley National Laboratory, 2004.
- [7] V. Leprince, B. Moujalled, and A. Litvak, "Durability of building airtightness, review and analysis of existing studies," 38th AIVC Conference. Ventilating healthy Low-energy buildings, no. September 2017, pp. 1–14, 2017.
- [8] F. M. Jesús et al., "Methodology for the study of the envelope airtightness of residential buildings in Spain: A case study," *Energies*, vol. 11, no. 4, 2018.
- [9] I. P. Casado, A. Meiss, P. C. Doctor, and P. A. Doctor, "Repercusión energética de las infiltraciones de aire a través de la envolvente de los edificios residenciales en España," pp. 1–6.
- [10] European Commission, "Energy Poverty Observatory, EPOV," 2020. [Online]. Available: <https://www.energypoverty.eu/>. [Accessed: 05-Feb-2020].
- [11] BPIE, "Boosting building renovation. An overview of good practices," 2013.
- [12] Gobierno Vasco, "PCTI Euskadi 2020." [Online]. Available: <http://www.euskadi.eus/pcti-euskadi-2020/web01-a2lehpct/es/>. [Accessed: 26-Jun-2019].
- [13] LCCE, "Guía básica para el control térmico en edificación," 2017.
- [14] AENOR, "UNE-EN 13829:2002. Aislamiento térmico. Determinación de la estanquidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador. (ISO 9972:1996, modificada)." 2002.
- [15] AENOR, "UNE-EN ISO 9972:2019. Prestaciones térmicas de los edificios. Determinación de la permeabilidad al aire de los edificios. Método de presurización con ventilador. (ISO 9972:2015)." 2019.
- [16] M. H. Sherman, "Estimation of infiltration from leakage and climate indicators," *Energy and Buildings*, vol. 10, pp. 81–86, 1987.
- [17] BizEE, "Degreedays," 2020. [Online]. Available: <https://www.degreedays.net/>. [Accessed: 01-Jun-2020].
- [18] J. Feijó-Muñoz, R. A. González-Lezcano, I. Poza-Casado, M. Á. Padilla-Marcos, and A. Meiss, "Airtightness of residential buildings in the Continental area of Spain," *Building and Environment*, vol. 148, no. September 2018, pp. 299–308, 2019.

Management, Rehabilitation and Sustainability: A case of intervention on school buildings in Portugal

Gestión, Rehabilitación y Sostenibilidad: Un caso de intervención en edificios escolares en Portugal

Andre Santos¹, Leonardo Barros²

ABSTRACT

Given the advanced state of degradation of the Portuguese school patrimony, and the growing necessity of rehabilitation, of both the school buildings, and the pedagogic strategies, in 2007, the public entity Parque Escolar, E.P.E. was created by the Portuguese government. It was proposed to this new company to define a strategy of systemic management, with clear objectives and criteria of planned procedures to rehabilitate the public schools with secondary education.

One of the pursued ideals of the Programa de Modernização das Escolas com Ensino Secundário (PMEES) had to do with the recovery, rehabilitation and modernization of the pre-existing buildings. In this context, each project team was incited to consider the characteristics and the recovery viabilities that each building presented, adapting the new functional program to each lot and each school. It was even imposed an obligatoriness in maintaining about 80% of the existing edification.

The necessity of preservation of a wide portion of the edification, that mainly results of the concern to rationalize and optimize the interventions expenses control, also introduces the consciousness on the theme of sustainability. Having been recognized the capacities that each infrastructure presented, the preservation attitude constitutes an important factor of minimization of the expenditure of energy, water, and materials. Thereby, with the use and regeneration of a significative portion of the edification, was achieved a minimization of the pollution caused by the materials, which, mostly, could not be recycled.

In this conjuncture, apart from the presented virtues, related to the energetic efficiency and to the environmental sustainability, it should not be disregarded the immense pedagogic value that this rehabilitation strategy induces on the social and cultural environment.

Due to circumstances absolutely independent from this process, it was verified the transposition of a set of legal diplomas of the European community to the Portuguese legislation, that were, by a mere circumstance, simply due to timing, experienced for the first time in this Program.

The enormous infrastructural load inherent (as air quality treatment, security, and central control systems) introduced an exponential increase of energetic costs. In the schools already in operation, it was verifiable that this legislative objective revealed to be a tremendous obstacle to the efficiency and sustainability of this interventions, given that it led to enormous and constant energetic and monetary expenditures. In this context, in many cases, school budgets are hardly able to bear these high costs.

Thus, we can conclude that the profound and disruptive change of the paradigm that was necessary lead, inevitably, to the introduction of a set of factors related to the theme of sustainability. Although important steps were taken towards the innovation on the field of energetic efficiency, these rehabilitation interventions in Portuguese schools, due to the incorporation of new legislation, contradicted that objective of assuring a more effective sustainability.

Key Words: School Architecture, Rehabilitation, Innovation, Technology, Energy.

(1) FAUP/CEAU, Vila Nova de Gaia, Portugal, amsantos@arq.up.pt (2) FAUP, Matosinhos, Portugal

1. Introducción

El Programa de Modernización de las Escuelas con Enseñanza Secundaria (PMEES)¹,

instituido en 2007 por Parque Escolar, E.P.E.², entidad de derecho público creada a tal efecto por el gobierno de Portugal, surge en un contexto de emergencia de rehabilitación del patrimonio escolar portugués. Durante décadas, hasta 2007, el gran esfuerzo en lo que respecta a las infraestructuras escolares, se concentró en la expansión de la red a través de la aplicación de soluciones-tipo de construcción normalizada y en serie (Heitor, 2011). Esta estrategia, unida a la falta de una planificación estratégica para la prevención y el mantenimiento del edificado existente, condujo al universo de edificios escolares en Portugal a un estado límite de deterioro. "Globalmente, las instalaciones sufren de anomalías en la construcción, deterioro físico y obsolescencia funcional que afectan al confort ambiental, utilidad e imagen." (Heitor, 2008, p. 1).

El estado de obsolescencia infraestructural se vio acompañado por un retraso educativo y tecnológico frente a los estándares contemporáneos. Ante dicha situación, con la llegada del siglo XXI, se amplía la conciencia política de la necesidad de readaptar constructiva, espacial y funcionalmente la escuela pública portuguesa frente a las recientes innovaciones educativas.

En este contexto, el Programa surge con la intención de dar respuesta a esta situación de emergencia, centrado en la rehabilitación de las escuelas y en la planificación para la conservación, mantenimiento y adaptación funcional en un largo período temporal. A través de una estrategia de gestión estructurada en las prioridades e inversiones, con intervenciones graduales a lo largo del tiempo, se buscó una solución innovadora, global y sistemática que permitiese invertir el curso de degradación del patrimonio escolar, creando condiciones para la rehabilitación de los edificios, así como para su modernización, para dar respuesta a las exigencias de los nuevos patrones pedagógicos, tecnológicos y energéticos.

Con base en una estructura conceptual, técnica y de gestión centralizada, esta acción de rehabilitación y modernización se reveló pionera, tanto desde el punto de vista cualitativo como desde el punto de vista cuantitativo, en lo que respecta a la articulación de la enseñanza y de la arquitectura (Santos, 2015). Teniendo en cuenta el elevado número de escuelas que aspiró a la rehabilitación en un corto espacio de tiempo, el PMEES se apoyó en un Modelo de Gestión que se extiende desde las cuestiones financieras, proyecto y ejecución de la obra, hasta la gestión del patrimonio para un extenso período de funcionamiento.

La particularidad de este Programa de promover la

1. Introduction

The Programa de Modernização das Escolas com Ensino Secundário (PMEES), established in 2007 by Parque Escolar, E.P.E., a public entity created for this purpose by the Portuguese government, emerged in a context of emergency for the rehabilitation of Portuguese school heritage. For decades, until 2007, the great effort in terms of school infrastructures has been concentrated on the expansion of the net through the application of standard solutions in normalized and mass construction (Heitor, 2011). This strategy, together with the lack of strategic planning for the prevention and maintenance of the existing building, led the universe of school buildings in Portugal to an advanced state of deterioration. "Overall, the facilities suffer from construction anomalies, physical deterioration and functional obsolescence which affect their environmental comfort, usefulness and image." (Heitor, 2008, p. 1).

The state of infrastructural obsolescence was accompanied by an educational and technological delay in relation to contemporary standards. Faced with this situation, with the turn of the 21st century, the political awareness of the need to rethink constructively, spatially, and functionally the Portuguese public schools in the face of the most recent educational innovations.

In this context, the Program arises with the expectation of responding to this emergency situation, focused on the rehabilitation of schools and the planning for conservation, maintenance and functional adaptation over a long period of time. In a management strategy structured around priorities and investments, in interventions phased over time, an innovative, global and systemic solution was sought, that would make possible to reverse the deterioration of the school heritage, creating conditions for the building rehabilitation, as well for their modernization, regarding the requirements of the new pedagogical, technological and energetic standards.

Based on a conceptual, technical, and centralized management structure, this rehabilitation and modernization action proved to be a pioneer, both from a qualitative and quantitative point of view, concerning the articulation of teaching and architecture (Santos, 2015). Taking into account the high number of schools that it aspired to rehabilitate in a short period of time, the PMEES was supported by a Management Model that extends from financial issues to the project and the execution of the work, as well as the heritage management in an extended period of operation.

The particularity of this Program to promote the rehabilitation of school buildings, which is a consequence of the concern to optimize intervention costs, also favors awareness to the sustainability issue. If, on the one hand, preserving part of the built

rehabilitación de edificios escolares, que es consecuencia de la preocupación de optimizar los costes de intervención, favorece también la sensibilización en el tema de la sostenibilidad. Si, por un lado, la preservación de parte del edificado contribuye para una disminución en los gastos energéticos, de agua y de materiales, también es verdad que la valoración y recuperación de la herencia edificada imprime en las sociedades una sensibilización y responsabilidad para un uso cuidado de las instalaciones escolares.

“Desarrollo sostenible pretende el equilibrio de las dimensiones económicas, ambientales y sociales de desarrollo desde una perspectiva global y a largo plazo. Implica una amplia visión sobre el bienestar humano, una perspectiva a largo plazo sobre las consecuencias de las actividades actuales, y un compromiso total de la sociedad civil para alcanzar soluciones viables.” (OECD, 2011, p. 3).

2. Programa de Modernización De Las Escuelas Con Enseñanza Secundaria (PMEES)

El Programa de Modernización de las Escuelas con Enseñanza Secundaria surge para “superar el atraso educativo portugués frente a los patrones europeos, integrar a todos los niños y jóvenes en la escuela y proporcionarles un ambiente de aprendizaje motivador, exigente y gratificante, mejorar progresivamente los resultados, haciendo subir el nivel de formación y de estudios de las próximas generaciones, todo esto constituye una urgencia nacional. La superación de estos desafíos es esencial para el desarrollo personal y cívico de cada uno, para el fomento de la ciencia y de la cultura, para la cohesión de la sociedad, para la productividad y la competitividad de la economía.” (Presidencia del Consejo de Ministros, 2005, p. 42).

1.1. Objetivos

Creado para poder dar respuesta a la globalidad de las necesidades espaciales e infraestructurales de las escuelas, el Programa se diseña teniendo en cuenta la heterogeneidad del universo escolar portugués, del cual se destacan tres períodos de construcción con distintas tipologías edificatorias, desde los primeros institutos nacionales, a las escuelas de base técnica e industrial o a las escuelas más recientes de naturaleza pabellonar, resultado de los programas de construcción estandarizada en grandes cantidades. (Santos, 2015).

En este contexto, no existe ninguna referencia a un modelo tipológico, un ejemplo que pudiese servir de base. Los límites de la proyección son ahora físicos y legales (Neves, 2011). Así, teniendo en cuenta los diversos momentos de construcción de edificios escolares en Portugal y el marco legislativo, es objetivo del Programa adaptarse y hacer alterar cada espacio de acuerdo con el Modelo Conceptual, que tiene re-

ding contributes to a decrease in energy, water and materials expenses, it is also true that the valuation and recovery of the built heritage gives societies an awareness and responsibility for the careful use of school facilities.

“Sustainable development seeks to balance the economic, environmental, and social dimensions of development in a long-term and global perspective. It implies a broad view of human welfare, a long-term perspective about the consequences of today’s activities, and the full involvement of civil society to reach viable solutions.” (OECD, 2011, p. 3).

2. Programa de Modernização Das Escolas Com Ensino Secundário (PMEES)

The Programa de Modernização das Escolas com Ensino Secundário emerged to overcome the Portuguese educational backwardness in relation to European standards, to integrate all children and young people in school and to provide them with a motivating, demanding and rewarding learning environment, progressively improving results, raising the level of qualification of the next generations: all of this was a national urgency. Overcoming these challenges is essential for the personal and civic development of each one, for the promotion of science and culture, for the society’s cohesion, for the productivity and competitiveness of the economy. (Presidência do Conselho de Ministros, 2005, p. 42).

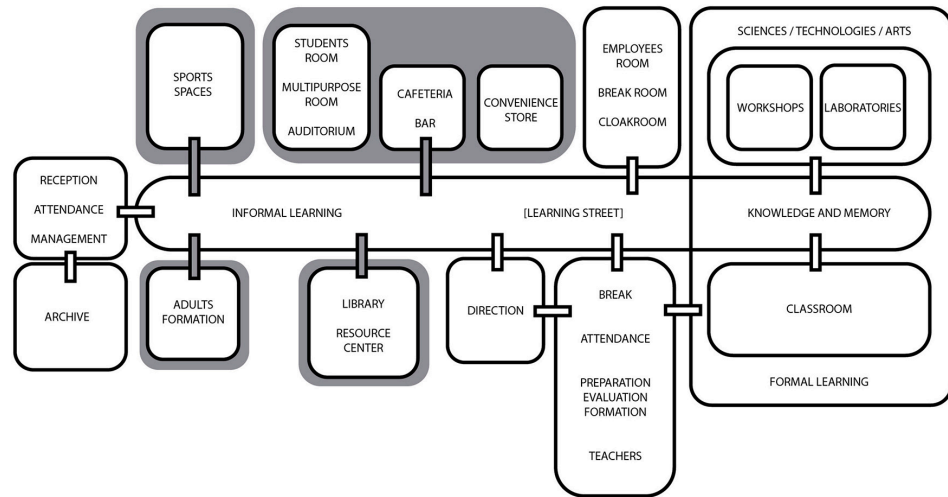
2.1. Objectives

Created in order to respond to the spatial and infrastructural needs of each school, the Program was designed taking into account the heterogeneity of the Portuguese school universe, of which three construction period stand out with different building typologies, since the first national secondary schools, to the technical and industrial schools, or the most recent pavilion schools, which resulted from the many construction programs of standardized buildings in large quantities (Santos, 2015).

In this context, there is no reference to a typological model, an example that could serve as a basis. The limits of the project are now physical and legal (Neves, 2011). Therefore, taking into account the different moments of construction of school buildings in Portugal and the legislative framing, it is an objective of the Program to adapt and change each space according to the Conceptual Model, which is reflected in a diagram of the relation between different spaces (Fig. 1), as well as in a Functional Hierarchy diagram (Fig. 2), in a sustainable intervention to take advantage of a significant part of the preexistence.

Based on a conceptual and technical structure, this proved to be a unique and singular moment of architectural intervention in the history of national school

Figure 01. Representative scheme of the Conceptual Model of the Programa de Modernização das Escolas com Ensino Secundário. Adapted from the original. © Parque Escolar, E.P.E.



flejo en un diagrama de relación entre los diferentes espacios (Fig. 1), así como en un diagrama de Jerarquía Funcional (Fig. 2), en una intervención sostenible de aprovechamiento de una parte significativa da preexistencia.

Con base en una estructura conceptual y técnica, este reveló ser un momento único y singular de intervención arquitectónica en la historia de los edificios escolares nacionales, por las innovaciones que produjo no solo en los métodos de enseñanza-aprendizaje, sino también en la calidad de las instalaciones escolares. Desde el punto de vista infraestructural, espacial y tecnológico, es un Programa que pretende la rehabilitación sostenible del universo escolar portugués.

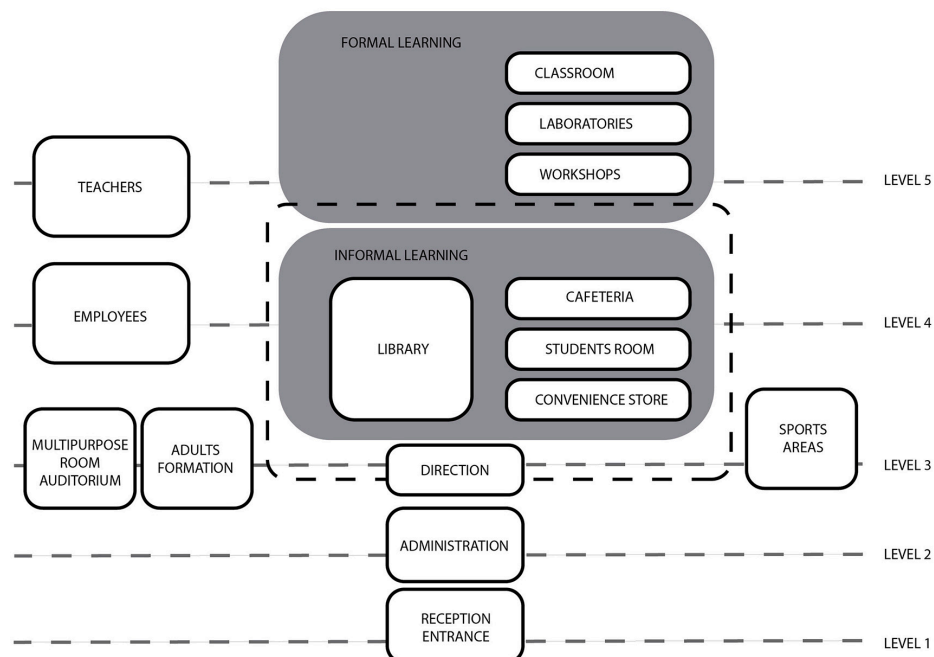
“Este Programa define sostenibilidad para incentivar a las autoridades educativas a restaurar (...) la toma de decisiones adecuadas y económicamente viables a largo plazo, ambientes adecuados y estimulantes,

buildings, due to the innovations that were operated not only in the teaching-learning methods, but also in the quality of the school facilities, from the infrastructural, spatial and technological points of view, in a Program that aimed to a sustainable rehabilitation of the Portuguese school universe.

“This programme defines sustainability to encourage education authorities to restore (...) comprehensive and cost-effective long-term decisions, suitable and stimulating environments, comfortable working conditions, school community participation.” (OECD, 2009, p. 5).

“Sustainability for schools and architecture, (...), means more than energy efficiency and ecological buildings. It incorporates values such as quality architectural design, economic efficiency, social equity and preservation of the environment in all phases of planning, design, construction and maintenance.” (OECD, 2009, p. 2).

Figure 02. Representative scheme of the Hierarchical Functional Levels of the Programa de Modernização das Escolas com Ensino Secundário. Adapted from the original. © Parque Escolar, E.P.E.



condiciones de trabajo confortables, participación de la comunidad escolar.” (OECD, 2009, p. 5).

“Sostenibilidad de las escuelas y de la arquitectura, (...), significa más que eficiencia energética y edificios ecológicos. Incorpora valores como la calidad del proyecto arquitectónico, eficiencia económica, igualdad social y conservación del ambiente en todas las fases de planificación, proyecto, construcción y mantenimiento.” (OECD, 2009, p. 2).

1.2. Modelo conceptual

El PMEES se estructuró según vectores esenciales que defienden un principio de sostenibilidad en la rehabilitación de las instalaciones de los espacios escolares, así como en el fomento de estrategias y valores para una actitud de prevención y de mantenimiento además de una utilización responsable y cuidada.

En primer lugar, se asiste a la recuperación y al mantenimiento de los edificios, con el objetivo de potenciar una nueva cultura de aprendizaje. Así, las intervenciones deberían actuar en el sentido de corrección de los diversos problemas constructivos detectados (Fig. 3), de mejorar las condiciones de confort ambiental, en lo que respecta a las condiciones hidrotérmicas, acústicas, de calidad del aire, de seguridad y de accesibilidad para todos en los espacios interiores y exteriores de la escuela. Simultáneamente, las intervenciones de modernización deberían proporcionar una readecuación de los espacios lectivos y no lectivos a las nuevas necesidades pedagógicas, garantizando la flexibilidad y capacidad de adaptación de los espacios a las diversas actividades que componen el currículum, así como a las alteraciones que en este puedan suceder, previendo la creación de una oferta educativa más diversificada (Santos, 2015; Heitor, 2011).

Asociado a la modernización tecnológica y al reajuste del espacio escolar, y de las prácticas educativas, en un contexto contemporáneo, el Modelo Conceptual prevé la introducción de prácticas de aprendizaje informal, directamente relacionadas con la necesidad de crear espacios agradables, atractivos y confortables. A partir de esta ambición de ampliar la gama de prácticas educativas más allá del currículum formal tradicional, caracterizado por una relación de control en la transmisión de conocimiento entre el docente y los discentes, se introdujeron prácticas pedagógicas de naturaleza colaborativa y exploratoria, que lo complementan (Heitor, 2011).

La diversidad de actividades lectivas a las que se aspiraba encontró respuesta formal en el concepto de learning street, introducido por el arquitecto Herman Hertzberguer³ en la Escuela de Montessori⁴, en Delft, en los Países Bajos, en la década de 1960, con fundamento en los ideales de Maria Montessori⁵ (Heitor, 2011). La estructura de la learning street

2.2 Conceptual model

The PMEES was structured according to critical vectors that defended a principle of sustainability in the rehabilitation of school buildings, the promotion of strategies and values for an attitude of prevention and maintenance, as well as for responsible and careful use.

First, the restoration and maintenance of buildings were carried out with the purpose of promoting a new learning culture. In this sense, intervention actions should act towards the correction of various constructive problems that were detected (Fig. 3), to improve the conditions of environmental comfort, regarding hydrothermal and acoustic conditions, as well as air quality, safety and global accessibility to everyone in the school's indoor and outdoor spaces. At the same time, modernization interventions should provide a readjustment of academic and non-academic spaces to new pedagogical needs, ensuring flexibility and capacity to adapt the spaces to the diverse and distinct activities that constitute the curriculum, as well as changes that may occur in it, with perspective to create a more diversified educational offer (Santos, 2015; Heitor, 2011).

Associated with the technological modernization and to the reframing of school space, as well as of teaching practices, in a contemporary context, the Conceptual Model predicts the introduction of informal learning practices, directly related to the need to create pleasant, appealing and comfortable spaces. Based on this ambition to expand the spectrum of educational practices beyond the traditional formal curriculum, characterized by a control relationship in the transmission of knowledge between the reached and the students, pedagogical practices of a collaborative and exploratory nature were introduced, complementing it (Heitor, 2011).

Figure 03.

Advanced state of degradation of the Portuguese school patrimony. Architect Rui Mealha, secondary school of Rio Tinto, Gondomar © R. Mealha (2008).



agrega todos los espacios lectivos a lo largo de una calle comunitaria, a la cual se asocian las aulas como pequeñas unidades autónomas, y es el elemento de conexión mediador de relaciones que se establecen entre los diferentes espacios, sean interiores o exteriores, de naturaleza formal o informal (Taylor, 2009; Hertzberger, 1991).

En segundo lugar, el Programa pretende abrir la escuela a la comunidad extraescolar, incentivando su interrelación con la institución de enseñanza, para aumentar los niveles de compromiso y de revalorización de la institución de la escuela pública. Para ello, se intentaron crear condiciones para el uso universal de todas las comunidades con la apertura de espacios destinados a eventos sociales, culturales y lúdicos, como la biblioteca, auditorios, espacios expositivos, y espacios deportivos (Santos, 2015). En este proceso de innovación y rehabilitación de los edificios escolares, la arquitectura fue convocada para que crease condiciones para alcanzar el objetivo de inclusión universal, sin discriminación de clases, etnias, credos, limitaciones físicas o cognitivas, por medio de espacios atractivos, multifuncionales, seguros, accesibles e inclusivos (Santos & Rocha, 2020).

En tercer lugar, y asociado al intento de abrir la escuela a la comunidad, se consideró el objetivo de que este proceso de rehabilitación proporcionase un reposicionamiento de la escuela en el tejido urbano en el que se insiere, como equipamiento público fundamental para el funcionamiento de la sociedad y de la conformación física y social de la ciudad (Fig. 4). De hecho, el espacio de la escuela, donde se toman los primeros pasos de socialización y de responsabilización colectiva, tiene un papel importantísimo en el desarrollo personal y cívico, por lo que transporta la identidad, la memoria y los valores de la comunidad (Santos & Mendonça, 2020).

Por último, y en cuarto lugar, el Programa incorpora de forma inédita la vertiente del mantenimiento y gestión de los edificios tras la recalificación, como estrategia imprescindible para una prolongación sostenible de la vida útil de los edificios, garantizando reparaciones puntuales, así como el mantenimiento cotidiano. Se espera, con este proceso de modernización de las instalaciones, que se incorpore un mayor sentido de responsabilización, así como un compromiso de los usuarios que incite a una utilización cuidada y adecuada de los espacios y de los equipamientos (Santos, 2015).

3. Modelo de gestión

De forma a invertir el proceso de degradación del parque escolar, se desarrolló un modelo de gestión capaz de reunir condiciones para el proceso de recalificación, respondiendo a las directrices de las innovaciones de la política educativa nacional, que están en la base del modelo conceptual. El Programa

The diversity of teaching activities that was aimed at found a formal answer in the concept of learning street, introduced by the architect Herman Hertzberger at the Montessori School, in Delft, the Netherlands, in the decade of 1960, based on the ideals of Maria Montessori (Heitor, 2011). The structure of the learning street, that aggregates all the teaching spaces along a community street, to which the classrooms are associated as small autonomous units, is the connecting element, mediator of the relationships established between the different spaces, whether interior or exterior, of formal or informal nature (Taylor, 2009; Hertzberger, 1991).

Secondly, it is a programmatic ambition to open the school to the outer community, encouraging its interrelation with the educational institution, to increase the levels of commitment and valorization of the public school institution. To this end, it was sought to create conditions for the universal use of all communities by opening spaces for social, cultural and recreational events, such as libraries, auditoriums, exhibition spaces and sports spaces (Santos, 2015). In this process of innovation and rehabilitation of school buildings, architecture was called upon to create conditions for achieving the objective of universal inclusion, without discrimination of classes, ethnicities, creeds, physical or cognitive limitations, through attractive, multifunctional, safe, accessible and inclusive spaces (Santos & Rocha, 2020).

Thirdly, and associated with the attempt to open the school to the community, it was also considered an objective of this rehabilitation process to provide a repositioning of the school in the urban fabric in which it operates, as a fundamental public equipment for the functioning of the society and of the physical and social conformation of the city (Fig. 4). In fact, the school space, where the first steps of socialization and collective responsibility are taken, has a very important role in personal and civic development, wherefore it transports the community's identity, memory and values (Santos & Mendonça, 2020).

Lastly, and fourthly, the Program incorporates, in an unprecedented manner, the maintenance and management of the buildings after the requalification process, as an essential strategy for a sustainable extension of each building's lifespan, ensuring occasional repairs, as well as daily maintenance. It is expected, with this process of modernization of the facilities, to be adopted a greater sense of responsibility, as well as a bigger commitment from the users to incite a careful and adequate use of spaces and equipment (Santos, 2015).

3. Management model

In order to reverse the deterioration of the school universe, a Management Model was developed capable of bringing together conditions for the requalification process, answering to the orientations of

preconiza el desarrollo de soluciones sostenibles y duraderas en términos físicos, ambientales y funcionales, de forma a garantizar también una reducción de costes de gestión y mantenimiento (Heitor, 2011).

Se tomó conciencia, por parte del gobierno portugués, de que era preciso reinventar una metodología de intervención sistemática que recuperase la visión nacional de la red de escuelas, que adoptase criterios claros en la identificación de las escuelas objeto de intervención y que definiese el ámbito de las intervenciones indispensables para la recalificación de los edificios y su adaptación a las actuales exigencias de la enseñanza (Rodrigues, 2012).

Ante la ambición de, en un corto período de tiempo, intervenir 330 escuelas públicas, de las cuales fueron efectivamente rehabilitadas 172, se construyó un modelo de gestión para las varias fases e intervinientes en el proceso. El éxito del programa dependería en gran medida de la metodología de intervención y de las garantías de su sostenibilidad, concretamente en lo relativo a la definición de las fuentes de financiación y a la asignación previa de los recursos financieros (Rodrigues, 2010).

3.1. Gestión financiera

El control y gestión financiera se impuso como estrategia esencial para garantizar la viabilidad y el éxito del Programa. Con una perspectiva inicial de inversión de 940 millones de euros, el 60% fueron financiados por fondos de la Unión Europea, mientras que el 40% restante fueron garantizados por préstamos bancarios, activos inmobiliarios y actividades empresariales, se hizo esencial dotar al Programa de condiciones de implementación, concretamente financieras, capaces de invertir el histórico de incapacidad de control del coste de los anteriores programas de construcción escolar en Portugal (Heitor, 2008).

Conscientes de que el éxito de las intervenciones dependería en gran parte de la metodología de intervención y de las garantías de sostenibilidad, en concreto en lo que respecta a la definición de las fuentes de financiación y a la asignación previa de los recursos financieros necesarios para su ejecución, hubo una supervisión sistemática del modelo financiero (Rodrigues, 2012).

El presupuesto para las operaciones de rehabilitación de cada una de las escuelas resultó, en primer lugar, de la catalogación de las preexistencias de acuerdo con la tipología. En un segundo momento, fueron definidos criterios del análisis del valor inmobiliario y de los equipamientos, el valor patrimonial y la adecuación de las infraestructuras a la legislación vigente y a las exigencias educativas. También la experiencia adquirida durante la fase piloto, en la cual fueron intervenidas 4 escuelas, permitió constatar el avanzado estado de degradación de las infraestruc-



Figure 04.

Refocusing the school in the urban fabric. Architect Rui Mealha, secondary school of Rio Tinto, Gondomar © A. Kazimirko (2019).

the national educational policy innovations, which are the basis for the Conceptual Model. The Program advocates for the development of sustainable and long-lasting solutions in physical, environmental and functional terms, in order to also guarantee a reduction in management and maintenance costs (Heitor, 2011).

The Portuguese government became aware that it was necessary to reinvent a systematic intervention methodology that would recover the national vision of the school net, adopt clear criteria in identifying the school to be the object of intervention and define the scope of the interventions indispensable for the requalification of buildings and their adaptation to current teaching requirements (Rodrigues, 2012).

With the ambition to intervene in 330 public schools in a short period, 172 of which were effectively rehabilitated, a Management Model was built for the various phases and actors in the process. The success of the program would depend strongly on the intervention methodology and the guarantees of its sustainability, namely regarding the definition of financing sources and the previous allocation of financial resources (Rodrigues, 2010).

3.1. Financial management

First of all, financial control and management was an essential strategy to guarantee the Program's viability and success. With an initial investment perspective of 940 million euros, 60% of which was financed by European Union funds, while the remaining 40% was provided by bank loans, real estate assets and business activities, it was essential to provide the Program with implementation conditions, namely financial, capable of reversing the history of inability to control costs of previous school building programs in Portugal (Heitor, 2008).

turas, afirmando la necesidad de ejecutar una intervención más profunda en diversos componentes de la construcción (Santos, 2015).

La estructuración de la operación, y del presupuesto, en diferentes fases, desde el proyecto, a la ejecución, de acuerdo con cada una de las especialidades, fue también uno de los aspectos esenciales para la eficacia de su concretización.

3.2. Gestión de proyecto

Simultáneamente, fue importante implementar sistemas de gestión de proyecto capaces de seguir a los diferentes equipos de modo a que el proceso se encaminase para un objetivo común. Se llevó a cabo a través la producción de un conjunto de documentos de orientación de los proyectistas para el cumplimiento de plazos, de presupuestos, marcos legales, así como de diseños conceptuales.

Parque Escolar acompañó a los equipos de proyecto a partir de una posición de complicidad, en un proceso participativo, que se tradujo en un nivel de compromiso, responsabilidad y disponibilidad, por parte de los proyectistas, que supera claramente las obligaciones inherentes al desempeño profesional. De esta forma, la metodología seguida se asienta en principios de participación de todos los intervinientes, desde la entidad de gestión, a los equipos de proyecto, o a las comunidades escolares y educativas, que, por medio de la redacción del documento Plan Estratégico⁶, fueron capaces de delinear las especificidades de cada comunidad, para una efectiva interrelación con los tejidos productivos y económicos (Santos, 2015).

Al mismo tiempo, se crearon mecanismos de seguimiento de la evolución de los proyectos que, además de ser evaluados y aprobados por Parque Escolar, fueron presentados y validados por las direcciones de las escuelas.

Antes de la contratación de los equipos de proyectistas, se contrataron consultores externos que prepararon el material en el que se apoyarían. Por lo demás, en el transcurso del proyecto, se contrataron consultores para prestar apoyo en cuestiones más especializadas, como el diseño de las bibliotecas o de las cocinas, para permitir homogeneidad y mayor control frente al desarrollo de todos los proyectos (Santos, 2015).

Los manuales técnicos, desarrollados y actualizados por la experiencia acumulada por las varias fases de implementación del PMEES, permiten que todos los proyectos sean desarrollados de una forma equilibrada y que sigan los objetivos universales del Programa, con vistas a la innovación y la sostenibilidad global de los edificios escolares.

“Dado que la sostenibilidad es el objetivo final, PE

With a clear awareness that the success of the interventions would depend heavily on the intervention methodology and sustainability guarantees, namely regarding the definition of the financing sources and the previous allocation of the financial resources necessary for their execution, there was systematic monitoring of the financial model (Rodrigues, 2012).

The budget for the rehabilitation operations of each school resulted, in the first place, from cataloging of pre-existing items according to the typology. In the second place, criteria were defined by the analysis of the real estate and equipment value, the patrimonial value, the adequacy of the infrastructures to the current legislation and the educational requirements. The experience acquired during the pilot phase, in which 4 schools were intervened, also made it possible to see the advanced state of infrastructure degradation, affirming the need to carry out a more in-depth intervention in several construction components (Santos, 2015).

The structuring of the operation, and the budget, in different phases, from project to execution, according to each one of the specialties, was also one of the essential aspects for the effectiveness of its implementation.

3.2. Project management

At the same time, it was important to implement project management systems capable of accompanying the different teams, so that the process would move towards a common goal, by producing a set of documents guiding the project teams to meet deadlines, budgets, legal frameworks, as well as conceptual objectives.

Parque Escolar followed the project teams from a position of complicity, in a participatory process, which resulted in a level of commitment, responsibility and availability by the project teams, which clearly exceeds the obligations inherent to professional performance. In this way, the methodology followed is based on principles of active participation of all actors, from the management entity, to the project teams, or to the school and educational communities, which, through the writing of the Strategic Plan document, were able to outline the specificities of each community, for an effective interrelation with the productive and economic fabrics (Santos, 2015).

At the same time, mechanisms were created to monitor the evolution of projects that, in addition to being evaluated and approved by Parque Escolar, were being presented and validated by the school management.

Even before hiring the project teams, external consultants were hired to prepare support material. In addition, during the project, consultants were hired

[Parque Escolar] desarrolló materiales y manuales que establecen altos estándares y garantizan que las necesidades de todas las partes interesadas se tengan en cuenta. Como la sostenibilidad depende de la eficiencia y de la calidad de los espacios de aprendizaje, los manuales y directrices de proyecto de PE son proporcionados a todos los proyectistas en el inicio del proceso y preparan el escenario para todos los aspectos del Programa." (Jorge & Costa, 2011, p. 2).

3.3. Gestión de obra

El modelo de gestión contempla también cuestiones de ejecución de obra, en la articulación entre los contratistas y las equipos de fiscalización, en la definición de plazos para las diferentes fases, así como en la relación con el sector del mercado de materiales.

También para la gestión de la obra fue necesario desarrollar una estrategia para un proceso constructivo, garantizando el funcionamiento escolar durante el período de intervención, lo que requiere que se garanticen condiciones de seguridad. Esta condición implicó una planificación de las obras, desde un primer momento prevista en el proyecto, definiendo las varias fases y las correspondientes alteraciones en el posicionamiento de la obra (Santos, 2015).

3.4. Gestión de edificios

Para garantizar una mayor sostenibilidad de las intervenciones y de los edificios escolares, además del modelo de gestión de proyecto y de obra creados para los momentos de rehabilitación y modernización, el Programa garantiza la gestión de los edificios de fase de utilización en un período de 30 años, con implementación de sistemas de mantenimiento y de prevención a largo plazo.

El modelo de gestión y financiación del mantenimiento y conservación de los edificios escolares era ineficaz e ineficiente, con un enorme desperdicio de recursos (Rodrigues, 2012), por lo que la estrategia de implementación del mantenimiento a largo plazo como componente esencial del proyecto, es fundamental para alcanzar los objetivos de la creación de un universo edificado educacional sostenible, capaz de satisfacer las necesidades de educación a largo plazo (Almeida, Blyth, Forrester, Gorey, & Hostens, 2009).

Simultáneamente, se hace importante incorporar, desde este momento, en la fase de proyecto, el concepto de Life Cycle Design, para ser conscientes de las opciones tomadas en la organización espacial, en los sistemas constructivos y en los materiales, para que faciliten su propia durabilidad, así como la capacidad de adaptación a nuevos desafíos educativos (Ladiana, 2011).

to provide support on more specialized issues, such as the layout of libraries or kitchens, to allow homogeneity and greater control regarding the development of all projects (Santos, 2015).

The technical manuals, developed and updated by the experience that has been accumulated by the various phases of implementation of the PMEES, allow that all projects were developed in a balanced way and that follow the universal objectives of the Program, aiming at innovation and global sustainability of the school buildings.

"Given that sustainability is the ultimate goal, PE [Parque Escolar] has developed state-of-the-art briefing materials and manuals which set high standards and ensure that all stakeholders' needs are taken into account. As sustainability depends upon the efficiency and quality of learning spaces, PE's design manuals and guidelines are provided to designers early in the process and these set the stage for all aspects of the programme." (Jorge & Costa, 2011, p. 2).

3.3. Execution management

The Management Model also contemplates issues of work execution, in the articulation between the contractors and the inspection teams, in the definition of deadlines for the different phases, as well as in the relationship with the sector of the materials market.

Also, for the management of the work, it was necessary to develop a strategy for constructive phasing, ensuring school functioning during the intervention period, which requires that safety conditions be ensured. This condition implied planning of the works, already foreseen in the project, defining the various phases and the corresponding changes in the positioning of the construction site (Santos, 2015).

3.4. Building management

To ensure greater sustainability of interventions and school buildings, in addition to the project and work management model created for the rehabilitation and modernization moments, the Program ensures the management of buildings in use over a period of 30 years, with the implementation of long term maintenance and prevention systems.

The management and financing model for the maintenance and conservation of school buildings was ineffective and inefficient, with a huge waste of resources (Rodrigues, 2012), so the strategy of implementing long-term maintenance as an essential component of the project is vital to achieving the goals of creating a sustainable edified educational universe, capable of meeting long-term education needs (Almeida, Blyth, Forrester, Gorey, & Hostens, 2009).

Concurrently, it becomes important to incorporate,

4. Rehabilitación

El marco de intervención se caracteriza por una estrategia de rehabilitación. El Programa determina que las escuelas preexistentes sean rehabilitadas y modernizadas, obligando a mantener cerca del 80% de la construcción original. En este sentido, los proyectistas tuvieron que reconocer la viabilidad de reconstrucción que cada edificio escolar presentaba, y definir qué partes se mantendrían y lo poco que sería demolido. En este sentido, ninguna de las 172 escuelas intervenidas materializa edificios construidos de raíz. La opción de rehabilitación de los edificios preexistentes tiene como estímulo la eficiencia energética, por el ahorro en el consumo de energía (Ladiana, 2011).

Cuidar del patrimonio construido es más que gestionar eficazmente los recursos financieros en este invertidos, es contribuir para la conservación de la historia, de los valores y de la memoria colectiva de una comunidad (Afonso & Cruz, 2011). El Programa transporta, así, más allá de la vertiente de sostenibilidad ecológica y económica, una dimensión de sostenibilidad patrimonial. Se mantiene, así, la perspectiva de que cualquier objeto del pasado puede convertirse en testigo histórico a pesar de no haber tenido, en su origen, un destino conmemorativo (Choay, 2000).

4.1. Contexto

Dentro de la diversidad tipológica fue posible encontrar características transversales a la generalidad de los edificios escolares, lo que supuso la definición de tres grupos tipológicos. Esta catalogación permitió que el Programa se pudiese estructurar de forma a dar respuesta a la globalidad de las exigencias espaciales del universo en causa (Heitor, 2012).

El primer grupo, que se extiende desde la segunda mitad del siglo XIX, con la construcción de las primeras escuelas secundarias nacionales, hasta 1935, se caracteriza por un modelo de edificio único, compacto y con patios cerrados, que generalmente ocupaba la totalidad de una manzana en una zona urbana central. El segundo, que constituye cerca del 21% de las escuelas intervenidas, está constituido por escuelas de base comercial o técnica, construi-

from the very beginning of the project phase, the concept of Life Cycle Design, to make conscious the options taken in the spatial organization, in the construction systems and the materials, so that they facilitate their durability, as well as the ability to adapt to new educational challenges (Ladiana, 2011).

4. Rehabilitation

The intervention context is characterized by a rehabilitation strategy. The Program determines the pre-existing schools to be rehabilitated and modernized, obliging them to maintain about 80% of the original construction. In this sense, the designers had to recognize the feasibility of reconstruction that each school building had and define which parts would be kept and the little that would be demolished. In this sense, none of the 172 schools under intervention materialized buildings constructed from scratch. The option of rehabilitating preexisting buildings has as stimulus energy efficiency, by saving energy consumption (Ladiana, 2011).

Taking care of the built heritage is more than effectively managing the financial resources invested in it, it is contributing to the preservation of the history, values, and collective memory of a community (Afonso & Cruz, 2011). The Program thus carries, in addition to the ecological and economic sustainability aspect, a dimension of heritage sustainability. Therefore, follows the perspective that any object from the past can become a historical testimony despite not having, in its origin, a commemorative destination (Choay, 2000).

4.1. Context

Within the typological diversity of preexistences, it was possible to find proprieties and characteristics transversal to most school buildings belonging to each construction period, which resulted in the definition of three typological groups. This cataloguing allowed the Program to be structured to respond globally to the spatial demands of the universe in question (Heitor, 2012).

The first group, that extends from the second half of the nineteenth century, with the construction of the first national secondary schools, until 1935, is characterized by a single, compact building model with closed courtyards, usually occupying the entire block in a central urban area. The second, which constituted about 21% of the schools involved, consists of schools of a commercial and technical base, built from 1936 to 1968, usually in areas with easy road accessibility and in lots with large dimensions. Finally, the third, which comprises 77% of the universe to intervene, is constituted by school that, since 1968, resulted from the multiple construction programs of modular and standardized structures, namely in solutions of pavilion nature (Conselho de Ministros, 2007; Santos, 2015).



Figure 05.
Urban restructuring.
Architect Arquitecto Manuel
Fernandes Sá, secondary
school Rodrigues de Freitas,
Porto © A. Santos (2009).

das de 1936 a 1968, normalmente en zonas de fácil accesibilidad viaria y en lotes con elevadas dimensiones. Por último, el tercer grupo, que engloba el 77% del universo a intervenir, está constituido por las escuelas que, desde 1968, resultaron de los múltiples programas de construcción de estructuras modulares y estandarizadas, concretamente en las soluciones de naturaleza pabellonar (Consejo de Ministros, 2007; Santos, 2015).

Un ejemplo de intervención de rehabilitación en edificios históricos es la escuela secundaria Rodrigues de Freitas, que, por su elevado valor patrimonial y por la posición destacada en el tejido urbano, protagoniza un enorme cometido en la conformación identitaria de la comunidad (Fig. 5). La intervención llevada a cabo en este edificio, además de procurar dignificar su existencia, ha tenido como mayor mérito la afirmación del compromiso de la escuela con el tejido de la ciudad, participando en el rediseño del espacio público y en la definición de itinerarios peatonales urbanos.

La escuela artística Soares dos Reis es un ejemplo de intervención en escuelas con base industrial, construida originalmente en una zona de la ciudad en crecimiento. A semejanza de lo que ocurre en otras intervenciones en edificios escolares contemporáneos suyos, la intervención pretendió conectar la preexistencia, compuesta por edificios paralelos entre sí que concentran en altura todas las actividades lectivas y no lectivas, por medio de un nuevo cuerpo longitudinal. Este nuevo cuerpo, constituye en esta escuela, por la diversidad de momentos espaciales que crea, en la articulación de actividades educativas, formales e informales, con actividades lúdicas y sociales, un ejemplo paradigmático de la aplicación del concepto de learning street (Fig. 6).

La escuela secundaria de Rio Tinto es ejemplo de una intervención en edificios de base pabellonar. Aunque en el interior del lote, con las intervenciones de innovación y actualización tecnológica, las reglas estructurales y rítmicas impuestas por la repetición del módulo pabellonar hayan sido respetadas y mantenidas, hubo una clara transformación espacial, en particular en los espacios de circulación y socialización (Fig. 7), más allá de una revalorización del papel del edificio escolar en el tejido urbano (Fig.3; Fig. 4). La redefinición del frente urbano, en una composición apelativa y contemporánea, llevó a que la escuela pudiese asumir un papel de relevancia en la conformación identitaria de la ciudad y que se abriese decisivamente a la comunidad.

Esta circunstancia promovió una doble condición pedagógica. Por un lado, la sensibilización de la oportunidad de recurrir a procesos de rehabilitación, incluso ante arquitecturas de menor valor patrimonial o cultural y, por otro lado, en la contribución a los valores de la sostenibilidad y la ecología por la minimización de los gastos de agua, de materiales y de

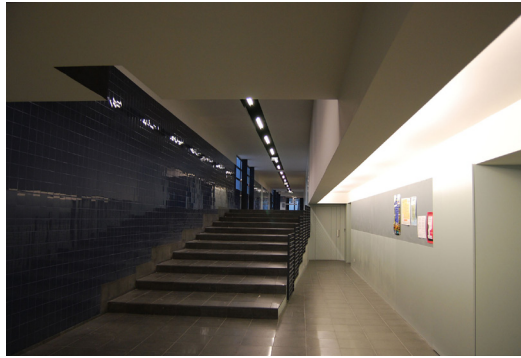


Figure 06. Right.

Learning street. Architect Carlos Prata, artistic school Soares dos Reis, Porto © A. Santos (2012).

An example of a rehabilitation intervention on a historic building is the secondary school Rodrigues de Freitas, which, due to its high patrimonial value and its prominent position in the urban fabric, is a major intervenient in the identity of the community (Fig. 5). The intervention carried out in this building, in addition to seeking to dignify the preexistence, had its greatest merit in the affirmation of the school's commitment to the city's fabric, participating in the redesign of public space and in the definition of urban walking trails.

The artistic school Soares dos Reis is an example of an intervention in schools of an industrial base, originally built in a growing of the city. Similar to what happened in other interventions in building of the same period, this rehabilitation aimed to link, through a new longitudinal body, the preexistence, composed of buildings parallel to each other that concentrated in height all the teaching and non-teaching activities. This new volume constitutes in this school, due to the diversity of spatial moments that it creates in the articulation of formal and informal educational activities with playful and social activities, a paradigmatic example of the application of the concept of learning street (Fig. 6).

The secondary school of Rio Tinto is an example of an intervention in buildings of pavilion base. Although inside the lot, with the intervention of innovation and technological updating, the structural and rhythmic rules imposed by the repetition of the pavilion module were respected and maintained, there was a clear spatial transformation, particularly in the spaces of circulation and socialization (Fig. 7), in addition to the revalorization of the role of the school building in the urban fabric (Fig. 3; Fig. 4). The redefinition of the urban front, in an appealing and contemporary composition, led the school to take on a relevant role in the identity of the city and to open itself decisively to the community.

This circumstance promoted a double pedagogical condition. On one hand, in the awareness of the opportunity to result to rehabilitation processes, even in face of architectures of less patrimonial or cultural value, and, on the other hand, in contributing to the values of sustainability and ecology by minimizing the costs of water, materials and energy. Thus,

energía. Así, convocando la totalidad de los edificios independientemente de su valor espacial, material o constructivo, se demostró, a partir de esta función pública que es vivida por toda la sociedad, que es viable, y oportuna, la posibilidad de rehabilitar en vez de construir de raíz. En este sentido, invirtiendo la tendencia dominante de evolución de la ciudad, se permitió prestar atención a valores sociales, culturales e identitarios que superan la condición patrimonial del edificado, y se enfoca en su sostenibilidad.

4.2. Legislación

Constituye un diseño programático que las transformaciones de los sistemas estructurales e infraestructurales, operadas de forma a dotar a los edificios de condiciones de confort, cumplen con los estándares actuales y permiten proyectar las escuelas en el futuro. Este proceso de rehabilitación acompañó la evolución y la introducción de nuevas directrices técnicas.

Las exigencias infraestructurales que se comprobaron consecuencia del Protocolo de Kioto⁷ derivaron en la transposición de un vasto conjunto de textos legales de legislación europea para la normativa portuguesa, entre 2006 y 2008, alterando significativamente el marco legal portugués. Las alteraciones se manifestaron en diversas áreas, desde el Sistema de Certificación Energética y Calidad del Aire Interior (SCE), a los Sistemas Energéticos de Climatización en Edificios (RSECE) y al Reglamento de las Características de Comportamiento Térmico de los Edificios (RCCTE). Complementariamente, se promulgó nueva legislación relativa a la mejoría de las Condiciones

summoning the totality of the buildings, regardless of their spatial, material or constructed value, it was demonstrated, from this public function that is experienced by the whole society, that it is feasible, and opportune, the possibility of rehabilitating instead of building from scratch. In this sense, inverting the dominant trend of evolution of the city, it was allowed to focus attention on social, cultural and identity values that go beyond the patrimonial condition of the buildings, and focuses on its sustainability.

4.2. Legislation

It is a programmatic objective that the transformations of structural and infrastructural systems, operated to provide buildings with comfort conditions, are in line with current standards and that allow schools foresee schools in the future. This rehabilitation process accompanied the evolution and the introduction of new technical guidelines.

The infrastructural requirements that occurred as a result of the Kyoto Protocol resulted in the transposition of a wide range of legal diplomas from European legislation to Portuguese legislation, between 2006 and 2008, significantly changing the Portuguese legal framework. The changes were manifested in several areas, from the Energy Certification and Indoor Air Quality System (SCE), to the Energy Conditioning Systems in Buildings (RSECE) and to the Regulation of the Thermal Behavior Characteristics of Buildings (RCCTE). In addition, new legislation was enacted regarding the improvement of Accessibility Conditions, Acoustic Requirements and Fire Safety (SCIE). These diplomas, in their joint articulation, determine the inevitability of articulating in the design and construction of buildings, an infrastructure load of expressive complexity (Santos, 2015).

Due to the temporal proximity between the entry into force of these legal diplomas and the implementation of the PMEES, this was the first moment of introduction and experimentation of this new constructive canon, asserting itself as singular and paradigmatic, emphasizing its experimental condition.

4.3. Infrastructural overload

After a considerable period of time has passed since most of the involved schools were intervened, it can be verified that the enormous infrastructural load led to an exponential increase in energy cost, reflected in the monthly monetary expense that, in most schools, implied the deactivation of the infrastructural systems to guarantee the institutions' economic survival. Evidently, the legislative impositions, contrary to what would be desirable, from the point of view of social and ethical responsibility, proved to be a huge obstacle to the efficiency and sustainability of the interventions, since it led to significant and persistent energy and monetary expenditures.



Figure 07.
Transformation of the pavilion buildings. Architect Rui Mealha, secondary school of Rio Tinto, Gondomar © A. Santos (2014).

de Accesibilidad, a los Requisitos Acústicos y a la Seguridad Contra Incendios (SCIE). Estos textos legales, en su articulación conjunta, vienen a determinar la inevitabilidad de articular en la concepción y en la construcción de los edificios, una carga infraestructural de expresiva complejidad (Santos, 2015).

Debido a la proximidad temporal entre la entrada en vigor de estos textos legales y la implementación del PMEES, este fue el primer momento de introducción y de experimentación de este nuevo canon constructivo, afirmándose como singular y paradigmático, enfatizando su condición experimental.

4.3. Carga infraestructural

Superado ya un período temporal considerable desde que gran parte de las escuelas fueron intervenidas, se llegó a la conclusión de que la enorme carga infraestructural condujo a un aumento exponencial del coste energético, reflejado en la factura mensual que, en gran parte de las escuelas, llegó a implicar la desactivación de las infraestructuras para garantizar la supervivencia económica de las instituciones. Se comprueba que estas imposiciones legislativas, al contrario de lo que sería deseable desde el punto de vista de la responsabilidad social y ética, reveló ser un enorme obstáculo a la eficiencia y sostenibilidad de las intervenciones, ya que condujo a significativos y persistentes gastos energéticos y monetarios.

“Debido a los rígidos criterios de eficiencia energética y a la eficacia de las medidas implementadas durante el proceso de modernización, los resultados ilustran una diferencia significativa en relación con las escuelas no renovadas, que poseen menos equipamiento y, por tanto, tienen costes energéticos más bajos. De hecho, la necesidad de crear condiciones en las instalaciones escolares, en términos de capacidad, así como funcionalidad y confort, llevó a un mayor recurso a los sistemas.” (Jorge & Costa, 2011).

Para atenuar la diferencia de los consumos de energía, se previó la instalación, en todas las escuelas, de paneles fotovoltaicos, para la producción de agua potable caliente, para usar en las cocinas y en los recintos deportivos. Además de eso, cada escuela está dotada de un sistema de gestión centralizada, para, por el análisis de los patrones comportamentales, rentabilizar el gasto energético, por el ajuste de la iluminación y de los sistemas de calefacción y renovación del aire (Jorge & Costa, 2011).

“La clasificación media obtenida en los certificados de desempeño energético en las escuelas es B en la fase de proyecto. Esta no tiene en cuenta la instalación futura de paneles fotovoltaicos de 100 kWp en cada escuela, que las convertirá en energéticamente eficientes. Gracias a la planificación anticipada, el refuerzo de las áreas de cobertura existentes – para acomodar la instalación futura de los paneles – fue incluido en la fase de proyecto y considerado en



Figure 08.

Infrastructural overload. Architect José Manuel Soares, secondary school of Santa Maria da Feira, Santa Maria da Feira © A. Santos (2012).

“Due to the strict energy efficiency criteria and the effectiveness of the passive measures implemented during the modernisation process, the outcomes illustrate a significant difference in relation to non-renovated schools which have less equipment and therefore lower energy costs. Indeed, the need to create better conditions in school facilities, in terms of capacity as well as functionality and comfort, has led to a greater recourse to systems.” (Jorge & Costa, 2011, p. 4).

To mitigate the difference in energy consumption, it was envisioned the installation, in all schools, of photovoltaic panels to produce heated potable water, to be used in kitchens and sports venues. In addition, each school has a centralized management system, to, through the analysis of behavioral patterns, monetize energy expenditure, by adjusting lighting, heating and air renewal systems (Jorge & Costa, 2011).

“The average rating obtained for schools’ energy performance certificates is B for the design stage. This does not take account of the future installation of 100 kWp of photovoltaic solar panels in each school which will make them energy sufficient. Thanks to early planning, the reinforcement of existing roof areas – in order to accommodate the future photovoltaic installations – is included in the design stage and factored into construction time.” (Jorge & Costa, 2011, p. 2). The installation of these panels should result in an energy rating of A or A+, above the rating of most schools in Portugal before these rehabilitation operations.

tiempo de construcción.” Costa, 2011, p.2).

La instalación de estos paneles debería suponer una clasificación energética de A o A+, por encima de la evaluación energética de la mayoría de las escuelas en Portugal antes de estas operaciones de rehabilitación.

Aunque sea verdad que la arquitectura haya dado respuesta a la necesidad de balance entre la producción y el gasto energético, en la articulación de todos los sistemas con las necesidades espaciales y educativas (Fig. 8), conviene referir que la perspectiva de instalación masiva de paneles fotovoltaicos, no se verificó en la totalidad, comprometiendo la expectativa de producción de energía como estrategia de equilibrar el aumento de los consumos. Así, apenas se instalaron paneles solares destinados al calentamiento de aguas sanitarias en zonas de vestuarios de apoyo al ejercicio físico y prácticas deportivas.

Teniendo en cuenta el claro desajuste en relación con la carga infraestructural instalada en cada una de las escuelas y las necesidades reales de confort, se hicieron evidentes algunos factores de significativo desencuentro, que carecen ahora de una reflexión y un replanteamiento frente a las realidades económicas y climáticas portuguesas, para un mejor ajuste a futuras rehabilitaciones,

5. Consideraciones finales

“La verdadera sostenibilidad solo se alcanza cuando los edificios escolares integran prácticas sociales, ambientales y económicas en las prácticas de enseñanza, aprendizaje y gestión de los edificios. Socialmente, esto significa garantizar aulas y pasillos limpios y saludables y laboratorios con pocos contaminantes. Ambientalmente, significa una escuela que regula las emisiones de carbono, respeta el paisaje natural y reduce el desperdicio. Económicamente, significa una escuela que mantiene su presupuesto y que saca provecho de la luz natural y de las condiciones naturales. Además, la infraestructura escolar puede facilitar una plataforma y un modelo valiosos para la enseñanza de los estudiantes acerca de los tres aspectos de la sostenibilidad. Las acciones tomadas en pro de la sostenibilidad también deben ser a largo plazo y permitir la inclusión de preocupaciones intergeneracionales.” (OECD, 2009, p. 2).

Del abordaje desarrollado, es posible comprender que el Programa se desarrolló para procurar movilizar intervenciones sostenibles, superando las cuestiones ambientales, y rebasando los valores culturales, económicos y de uso, a partir de la tarea de interpretación de los edificios preexistentes para ver los caminos que deben seguirse en cada acción de intervención. El mantenimiento de los edificios es un tema que refleja la madurez de los conceptos de ciudadanía, responsabilidad y solidaridad de las sociedades contemporáneas (Afonso, 2011).

Although it is true that architecture has responded to the need of balance between energy production and expenditure, in the articulation of all infrastructural systems with space and educational needs (Fig. 8), it should be noted that the prospect of massive installation of photovoltaic panels have not been fully verified, compromising the expectation of energy production as a strategy to balance the increase in consumption. This way, there were installed only solar panels to heat the sanitary waters, particularly in the bathroom areas to support physical exercise and sports practices.

Considering the obvious mismatch in relation to the infrastructural load installed in each school and the real need of comfort, some factors of significant divergence become evident. Wherefore, they now need to be reflected and rebalanced in face of Portuguese economic and climatic realities, to better adjust to future rehabilitations.

5. Conclusions

“True sustainability, then, is only realized when school buildings integrate social, environmental and economic practices into learning, teaching and building management. Socially, this means ensuring clean and healthy classrooms, hallways and laboratories with few pollutants. Environmentally, this means a school that manages carbon emissions, respects the natural site and reduces waste. Economically, this means a school that maintains its budget and takes advantage of natural sunlight and other natural conditions. Additionally, the school infrastructure itself can provide a valuable platform and model for teaching students about the three aspects of sustainability. Actions taken toward sustainability need to also be long-term and enable inclusion of intergenerational concerns.” (OECD, 2009, p. 2).

From the developed approach, it is possible to understand that the Program was developed in order to mobilize sustainable interventions, overcoming environmental issues, beyond cultural, economic and use values, starting from the task of interpreting the preexisting buildings to define the paths to be followed in each intervention action. The maintenance of buildings is a theme that reflects the maturation of the concepts of citizenship, responsibility, and solidarity in contemporary societies (Afonso, 2011).

Through a vast Management Model, it was possible to control the Program's guidelines, ensuring its success in affirming its objectives, while giving space to the characteristics of each of the school buildings and the authorial sense printed by each of the schools' project teams. Also, in the projection of maintenance actions, this Program proved to be innovative, having designed a management plan for the building over a period of 30 years.

The rehabilitation option has a double pedagogical

Por medio de un vasto Modelo de Gestión, fue posible controlar las líneas directrices del Programa, garantizando su éxito en la afirmación de sus designios, sin dejar de dar espacio a las características de cada uno de los edificios escolares y al sentido autoral impreso por cada uno de los equipos del proyecto. Este Programa reveló ser innovador también en la proyección de acciones de mantenimiento, ya que diseñó un plan de gestión del edificado para un período de 30 años.

La opción de rehabilitación goza de una doble condición pedagógica. Si por un lado, existe una clara opción por la búsqueda de sostenibilidad económica y ecológica, por la opción de mantenimiento de una gran parte de la preexistencia, con enormes ahorros materiales y energéticos, también es verdad que la valorización de las preexistencias, tanto si tuviesen o no valor patrimonial, llevó a la modernización e innovación tecnológica de las escuelas intervenidas, aproximó a las comunidades e imprimió en la sociedad un nuevo sentido de concienciación y responsabilidad.

De hecho, la rehabilitación de una enorme parte del edificado, rehabilitando las características patrimoniales, atestigua el éxito del Programa en la búsqueda de sostenibilidad, no solo del edificado, sino también de los procesos educativos, que se revelaron un campo fértil para la innovación.

Desde el punto de vista energético, se llevaron a cabo esfuerzos para un incremento de la sostenibilidad ambiental. Si los resultados fueron satisfactorios en el proceso de rehabilitación, el exceso de carga estructural, resultado de las más recientes imposiciones legales, supuso un enorme gasto energético, que no son en su totalidad equilibrados por los equipos de producción energética, en grande parte por la incapacidad financiera para su instalación.

Atendiendo a las realidades climáticas, y también financieras, que enmarcan el territorio y la economía portuguesa, se constata la exageración de estas disposiciones legales, haciendo oportuna, y esencial, una reflexión que induzca a sensibilizar para una readaptación de las exigencias técnicas frente a las realidades pedagógicas, sociales, culturales y climáticas, de modo a que garanticemos condiciones para una efectiva sostenibilidad, y para la comprobación de la reposición de las condiciones de equilibrio.

condition. If, on the one hand, there is a clear option for the search for economic and ecological sustainability and for the choice of maintaining a large part of pre-existence, with enormous material and energy savings, it is also true that the valorisation of the pre-existing, whether they had a greater or lesser patrimonial value, which led to the modernization and technological innovation of the schools involved, brought communities closer together and added to society a new sense of awareness and responsibility.

In fact, the rehabilitation of a vast part of the building, rehabilitating the patrimonial characteristics, testifies to the Program's success in seeking sustainability, not only of the building, but also of the educational processes, which have also proved to be a fertile field for innovation.

Also, from the energy point of view, efforts were made to increase environmental sustainability. If the results were satisfactory in the rehabilitation process, the excess infrastructural load, which resulted from the most recent legal requirements, resulted in enormous energy costs, which are not fully balanced by energy production equipment, largely due to the financial inability for their installation.

Taking into account the climatic and financial realities that frame the Portuguese economy and territory, there is an exaggeration of these legal provisions, making it opportune and essential, a reflection that induces awareness for a readjustment of technical requirements in face of pedagogical, social, cultural and climatic realities, so that we ensure conditions for effective sustainability, and for the verification of the restoration of equilibrium conditions.

¹ Programa de Modernização das Escolas com Ensino Secundário (PMEEES) was implemented in January 2007, deriving from the awareness of the state of advanced degradation of the existing schools, aiming to intervene in 332 of the 477 schools with secondary education in operation.

² Parque Escolar E.P.E. was created on February 21, 2007 (Decreto-Lei n. 41/2007), as a company with administrative, financial and patrimonial autonomy, with the mission of developing and implementing the PMEEES, for the rehabilitation and management of school buildings over 30 years.

³ Herman Hertberger (1932) is an architect who graduated from Delft University of Technology, the Netherlands. From his work stands out the Montessori School, Delft (1966-70), the workshop building of Central Beheer, Apeldoorn (1972), and the Chassé Theater, Breda (1995).

⁴ The Montessori pedagogical method is based on Maria Montessori's ideals. It has materialization is learning spaces that benefit the accessibility and autonomy of children, in contrast to traditional pedagogical ideas.

⁵ Maria Montessori (1870-1952) was an Italian doctor and educator, who graduated from Sapienza Università di Roma (1896). She developed proposals of pedagogical philosophies based on a model of human development through interactions with the environment, in a way to explore the children's innate capacity for cognitive development. Based on her ideas, the Montessori pedagogical method was widely disseminated during the 20th century, with materialization in learning spaces that benefit children's accessibility, autonomy and freedom.

⁶ The document Plano Estratégico, responsibility of each school, is the starting point for the preparation of the program for each project, articulating the specific interests of every school with the national curriculum.

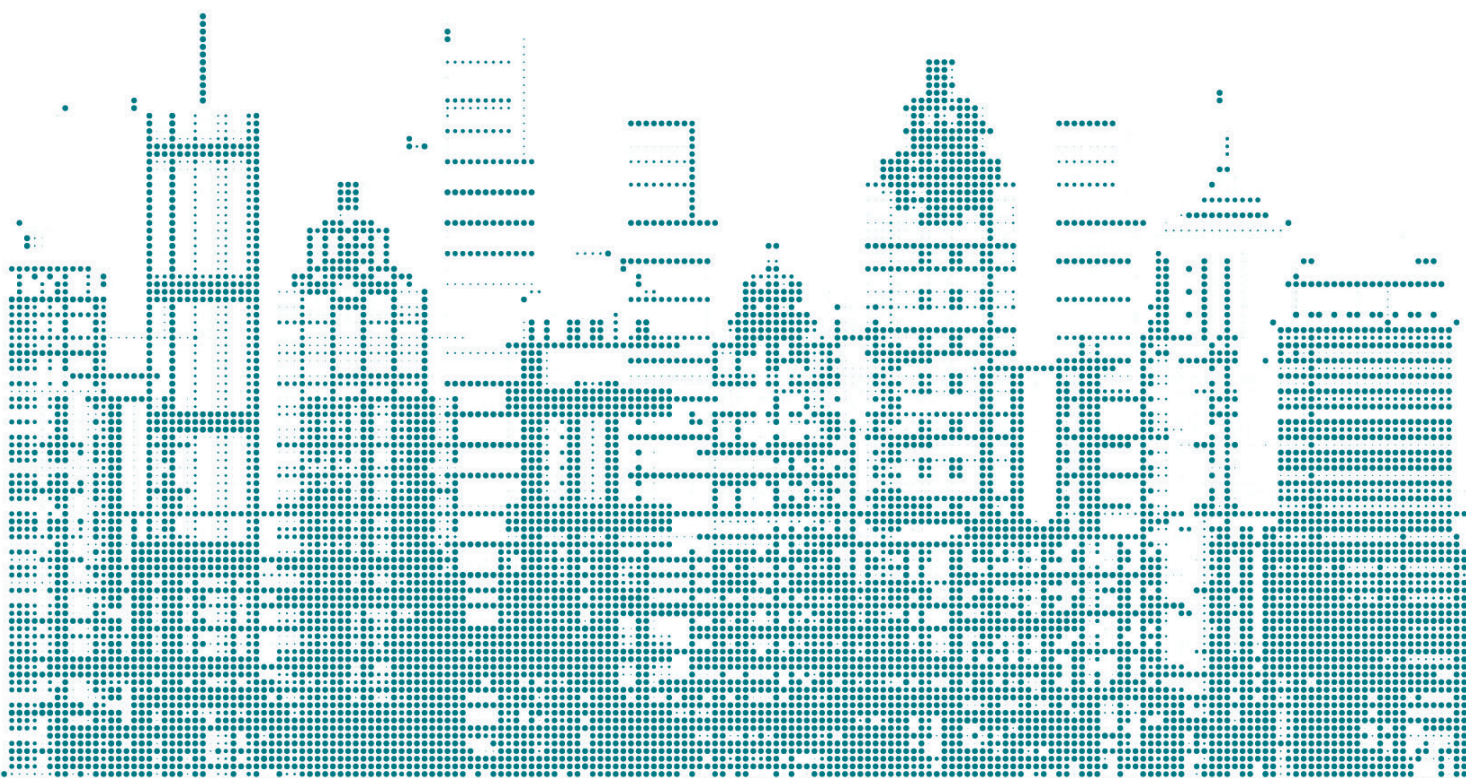
⁷ The Kyoto Protocol was signed by 55 countries on December 11, 1997, framed by the growing concerns about the emission of polluting gases.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] A. Santos, Similaridades e singularidades na reabilitação arquitetónica do parque escolar: programa promovido pela Parque Escolar, E.P.E. no norte de Portugal (2007-2011), Faculdade de Arquitetura, Universidade do Porto, Porto, 2015. Doctoral Thesis.
- [2] A. Santos, B. Rocha, "School Architecture and Social Inclusion", In Livro de Resumos do 13.º Encontro de Jovens Investigadores da U.PORTO. Universidade do Porto, Porto, 2020. ISBN 978-989-746-253-5.
- [3] A. Santos, F. Mendonça, "Space Appropriation and Identity". In Livro de Resumos do 13.º Encontro de Jovens Investigadores da U.PORTO. Universidade do Porto, Porto, 2020. ISBN 978-989-746-253-5.
- [4] A. Taylor, Linking architecture and education. Sustainable design of learning environments, University of New Mexico Press, Albuquerque, 2009. ISBN: 978-0-8263-3407-7.
- [5] D. Ladiana, "A gestão do património escolar: cenários de inovação". In R. B. Afonso, D. Ladiana (org.), O espaço da escola. Conceitos, métodos e instrumentos para projecto e gestão do património escolar, Alinea Editrice, Florença, 2011, pp. 12-19. ISBN: 978-88-6055-666-0.
- [6] F. Choay, A alegoria do património, Edições 70, Lisboa, 2000. ISBN: 978-972-4412740.
- [7] G. F. Jorge, M. M. Costa, "High performance school buildings in Portugal: a life cycle perspective". In R. Velland (dir.), CELE Exchange (2011). Available at: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/5kg0lkznt3bp-en.pdf?expires=1589986597&id=id&accname=guest&checksum=7CA44D15752A1AB15B079AEF40B9C258> [Accessed 04 May 2020].
- [8] H. Hertzberger, Lessons for students in architecture, 010 Publishers, Rotterdam, 1991. ISBN: 978-90-6450-562-1.
- [9] H. Neves, "O processo de diagnóstico: a caracterização funcional". In R. B. Afonso, D. Ladiana (org.), O espaço da escola. Conceitos, métodos e instrumentos para projecto e gestão do património escolar, Alinea Editrice, Florença, 2011, pp. 110-115. ISBN: 978-88-6055-666-0.
- [10] M. L. Rodrigues, A escola pública pode fazer a diferença, Edições Almedina S.A., Coimbra, 2010. ISBN: 978-972-40-4285-5.
- [11] M. L. Rodrigues, "Programa de requalificação e modernização das escolas secundárias". In Tribunal De Contas De Portugal, Auditoria orientada ao Programa de Modernização do parque Escolar destinado ao Ensino Secundário. 2007-2010, 2012. Available at: <https://www.tcontas.pt/pt-pt/ProdutosTC/Relatorios/RelatoriosAuditoria/Documents/2012/re009-2012-2s.pdf> [Accessed 08 May 2020].
- [12] OECD - Sustainable School Buildings: From Concept to Reality, OECD, Ljubljana, 2009. Available at: <https://parque-escolar.pt/docs/site/pt/empresa/imprensa-imagens-comunicados/Summaryof-Sustainable-School-Buildings.pdf> [Accessed 10 May 2020].
- [13] Presidência Do Conselho De Ministros, Programa do XVII Governo Constitucional de 2005-2009, 2005. Available at: <https://www.historico.portugal.gov.pt/pt/o-governo/arquivo-historico/governos-constitucionais/gc17/programa-do-governo/programa-do-xvii-governo-constitucional.aspx> [Accessed 03 May 2020].
- [14] R. B. Afonso, "As preocupações de um trabalho", In R. B. Afonso, D. Ladiana (org.), O espaço da escola. Conceitos, métodos e instrumentos para projecto e gestão do património escolar, Alinea Editrice, Florença, 2011, pp. 132-137. ISBN: 978-88-6055-666-0.
- [15] R. B. Afonso, M. Cruz, "Critérios para a construção de indicadores", In R. B. Afonso, D. Ladiana (org.), O espaço da escola. Conceitos, métodos e instrumentos para projecto e gestão do património escolar, Alinea Editrice, Florença, 2011, pp. 62-65. ISBN: 978-88-6055-666-0.
- [16] R. Almeida, A. Blyth, D. Forrester, A. Gorey, G. Hostens, "OECD/CELE review of the secondary school modernisation programme in Portugal", CELE Exchange (2009). Available at: <http://www.oecd.org/portugal/44247100.pdf> [Accessed 05 May 2020].
- [17] Resolução Do Conselho De Ministros nº1/2007. Available at: <https://dre.pt/application/conteudo/262302> [Accessed 05 May 2020].
- [18] T. Heitor, "Modernising Portugal's Secondary Schools", PEB Exchange (2008). Available at: <https://doi.org/10.1787/245552515225> [Accessed 07 May 2020].
- [19] T. Heitor, "Programa de Modernização do Parque Escolar destinado ao Ensino Secundário", In Parque Escolar, E.P.E., Parque Escolar 2007-2011. Intervenção em 106 escolas, Parque Escolar, E.P.E., Lisboa, 2011, pp. 9-26. Available at: <https://www.parque-escolar.pt/pt/programa/livros-parque-escolar.aspx> [Accessed 07 May 2020].

Sesión póster

Poster session



Mapping the Passive Natural Surveillance. A review and parametrization of the eyes on the street of Jane Jacobs

Mapeando la Vigilancia Natural Pasiva. Una revisión y parametrización de los ojos en la calle de Jane Jacobs

Iñigo Galdeano¹

ABSTRACT

This research focuses on the parameterization of a generative algorithm that allows the comparative, valid and reliable analysis of the different urban morphologies in terms of security. Specifically, this algorithm is programmed to qualify and map the degree of the Passive Natural Surveillance, a glocal principle of the Crime Prevention Through Environmental Design methodology (CPTED).

Thus, although exclusively architectural and morphological, this study is based on a theoretical framework and on a dialectics formed by the material feminism and the environmental criminology. The analysis, the approach and the scope of application seek the actuality, the suitability and the social relevance in the Autonomous Community of the Basque Country (CAPV), because the last revision of its Land Planning Guidelines (DOT) included for the first time the term 'security'.

In short, the algorithm has been applied on the left bank (Santurtzi, Portugalete, Sestao and Barakaldo) and on the right bank (Getxo, Leioa and Erandio) of the Bilbao Metropolitan Area, mapping the natural surveillance of 8.000 hectares by a grid of 40.000 sectors. One grid where each sector represents the number of doors, windows, showcases, etc., (Passive or Panoptic Natural Surveillance) which focus on that portion of public space.

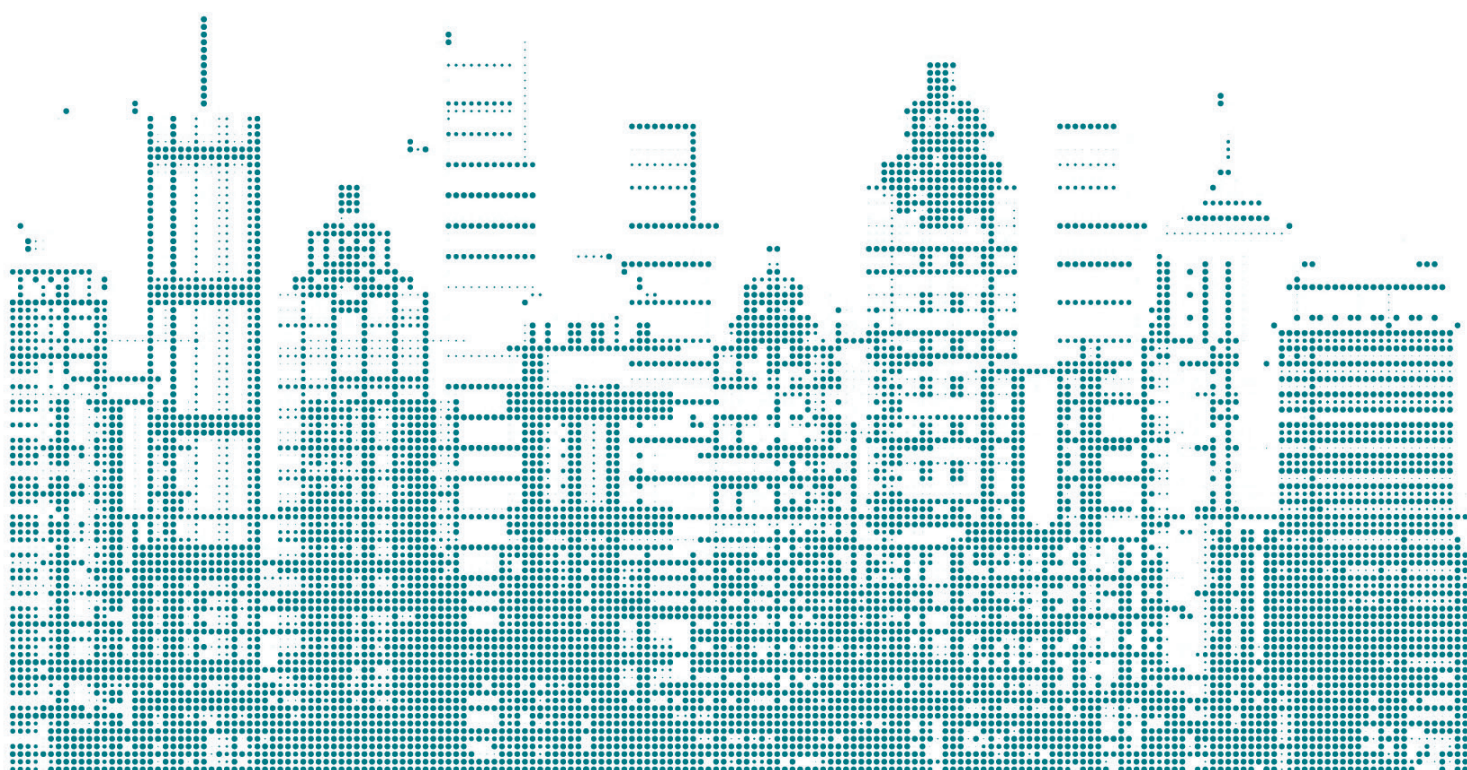
In conclusion, a new urban and criminological reading of the city, that allows the analysis of the different morphologies. A new urban information source, a new support and help for the participatory detection of the so-called 'hot spots of fear'.

Key Words: Urbanism, Criminology, Algorithm, Grasshopper 3D.

(1) Doctoral Programme in Scientific Cross-Disciplinary Approaches to Heritage and Landscape, UPV/EHU, galdeanoeh@gmail.com

Patrocinadores platino

Platinum sponsors



CONSTRUCCIÓN EN MADERA: EFICIENTE, VANGUARDISTA Y SOSTENIBLE

LA ASOCIACIÓN DE LA MADERA DE EUSKADI, **BASKEGUR**, LIDERA LA APUESTA POR LA EDIFICACIÓN EN MADERA CON PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN. DURANTE LA CELEBRACIÓN DE **EESAP 11 + CICA 4** HEMOS MANTENIDO ENCUENTROS CON PRESCRIPTORES PARA FOMENTAR SU USO



El sector de la edificación es el responsable del 33% de las emisiones de CO2, a la vez que genera el 40% de los residuos sólidos y el 20% de la contaminación de las aguas. En cambio, las construcciones en madera son los mejores sumideros globales de carbono porque los árboles durante su crecimiento almacenan dicho dióxido que queda capturado en la madera que luego se transforma en tableros y en paneles CLT.

Eventos como EESAP 11 y CICA 4 prestan cada vez más atención a la necesidad de contar con edificaciones y ciudades más amigables y habitables. También al fomento de la preindustrialización para la que la madera goza de importantes virtudes.

Pocos materiales han evolucionado tanto como en los últimos años. Tres de los cinco grandes proyectos europeos en los que participa Baskegur tienen a la construcción en madera como referente en campos como la digitalización, la mejora de la eficiencia en toda la cadena de valor y el desarrollo de nuevos productos.

LA MADERA ES EL MATERIAL IDÓNEO PARA EL FOMENTO DE LA PREINDUSTRIALIZACIÓN AVANZADA

El director general de Baskegur, Oskar Azkarate destaca el papel que la construcción en madera tiene dentro de la estrategia vasca para el desarrollo de la bioeconomía, junto con la química verde o el fomento de la bioenergía, ya que es "la materia prima natural más abundante que existe en Euskadi y puede ser utilizada por las empresas para el impulso de soluciones constructivas avanzadas".

Otro de los aspectos a tener en cuenta para promover la construcción en madera es la formación. Por ello Baskegur y Gobierno Vasco han puesto en marcha el "Master en Estructuras, Construcción y Diseño en Madera" que imparte la facultad de Arquitectura de la UPV/EHU en su Campus de San Sebastián.

El aumento de la contratación pública con criterios de responsabilidad ambiental es una enorme oportunidad para el desarrollo del sector-forestal madera y de las técnicas de construcción con dicho material..

En países del norte de Europa es habitual que en los pliegos de licitación de edificaciones públicas se especifique la necesidad de garantizar que las obras se construyan con criterios de sostenibilidad ambiental. El uso de la madera permite que las empresas que acuden al concurso puedan lograr cumplir los parámetros de huella de carbono de la construcción, ya sea con la instalación de elementos estructurales, como puertas, ventanas o suelos o bien como mera envolvente del edificio.

En el País Vasco, el sector forestal-madera se está preparando para posicionarse de cara a los futuros requisitos de la compra pública verde.

Baskegur, como Asociación de la Madera de Euskadi, potencia la implementación de las Declaraciones Ambientales de Producto, las DAP -siglas traducidas del inglés EDP, Environnement Product Declaration-, que permiten conocer de forma cuantificada y verificable el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida de un producto concreto o grupo de productos.

De esta manera los elementos realizados con madera pueden medir su sostenibilidad frente a otros materiales utilizados en la construcción como el aluminio o el hormigón y demostrar científicamente que son más respetuosos con nuestro entorno.

Baskegur ha logrado recientemente un hito a nivel europeo en el sector al lograr el DAP sectorial para la familia de productos de tabla y tablón, demostrando que el sector-forestal madera de Euskadi se encuentra en la vanguardia en el uso de estas certificaciones y preparado para cumplir los criterios que se puedan demandarse en la contratación pública verde.

Asimismo, Baskegur también trabaja con Eraikune, Cluster de la Construcción del País Vasco, en el proyecto Eraikal para facilitar la implementación de las certificaciones de sostenibilidad en la construcción en madera.

El Ministerio de Ciudades y Vivienda de Francia exigirá a partir de 2022 que las nuevas construcciones de edificación pública financiadas por el Estado empleen un 50% de materiales biológicos, como por ejemplo la madera. La decisión se enmarca dentro de un proyecto global del Gobierno de Emmanuel Macron para diseñar unas ciudades del futuro basadas en los conceptos de sostenibilidad y habitabilidad.

Esta es la senda por la que van a avanzar las grandes economías de Europa y Euskadi cuenta con la materia prima y la experiencia de empresas líderes para estar entre las regiones de vanguardia en el fomento de la construcción en madera.



fhimasa



1980



botica vieja



2020



etxebarria

obra civil
edificacion
servicios

desde 1967.



Mantenimientos

MANTENIMIENTOS

Construcciones FHIMASA, S.A. ha sido y es adjudicataria de numerosos contratos de mantenimiento de redes de agua potable y saneamiento, así como de viales y espacios peatonales para entidades públicas y privadas, tales como Consorcio de Aguas Bilbao-Bizkaia, Ayuntamientos de Bilbao, Barakaldo, Getxo, Santurtzi, Galdakao, Udal Sareak... etc.

En los últimos 20 años, la plantilla media de nuestra compañía ligada a contratos de mantenimiento nunca ha bajado de los 140 trabajadores

OBRA CIVIL

A lo largo de sus más de 50 años de experiencia en obra civil, hemos ejecutado innumerables obras de urbanización de muy diversa índole para entidades tanto públicas como privadas. En el currículum de proyectos desarrollados encontrarás parques (Etxebarria o Botica Vieja, en Bilbao), polígonos industriales (Ugaldeguren en Derio o Sector I de Erandio), urbanizaciones residenciales (Abanico de Plentzia, Sector Q de Erandio) o grandes calles y avenidas de nuestros municipios.



Obra Civil

CANALIZACIÓN DE REDES

¿Hasta dónde llegarían las redes que hemos canalizado en estos más de 50 años (casi 20.000 jornadas de trabajo) si las pusiéramos en fila? Nos encantaría saberlo... pero es un dato muy difícil de calcular, dado que han sido muchísimas y de muy diversa índole (agua y saneamiento las más habituales... pero también de telecomunicaciones, electricidad, alumbrado...) y para diversos clientes públicos y privados.



Redes

EDIFICACIÓN

Esta importante disciplina de la construcción no podía faltar en nuestro catálogo: Edificios residenciales, pabellones industriales, grandes depósitos de agua, oficinas, viviendas unifamiliares... forman parte de nuestro pasado, presente y seguirán en nuestro futuro, junto a nuestra decidida apuesta por la rehabilitación, orientada a mejorar la eficiencia energética y la accesibilidad universal.

INNOVACIÓN

No olvidamos nuestro pasado... pero estamos preparados para el futuro. La constante innovación nos ayuda a mejorar nuestros objetivos: BIGDATA y TWIN-DIGITAL (en la optimización de la eficiencia hidráulica de nuestras redes de abastecimiento de agua), DRONES (supervisión de proyectos), SERVICIALIZACIÓN (para adaptarnos a las necesidades de nuestros clientes), REALIDAD AUMENTADA (para poder ver canalizaciones subterráneas), IMPRESIÓN 3D de HORMIGÓN (ejecución de formas hasta hace poco imposibles...)

COMPROMETIDOS CON NUESTRO ENTORNO

Comprometidos con el impacto que queremos producir en nuestro entorno económico y social, estamos alineados con los siguientes Objetivos de desarrollo sostenible: Igualdad de Género, Agua limpia y saneamiento, Trabajo decente y crecimiento económico, Industria, innovación e infraestructura, Ciudades y comunidades sostenibles, Producción y consumo responsables.

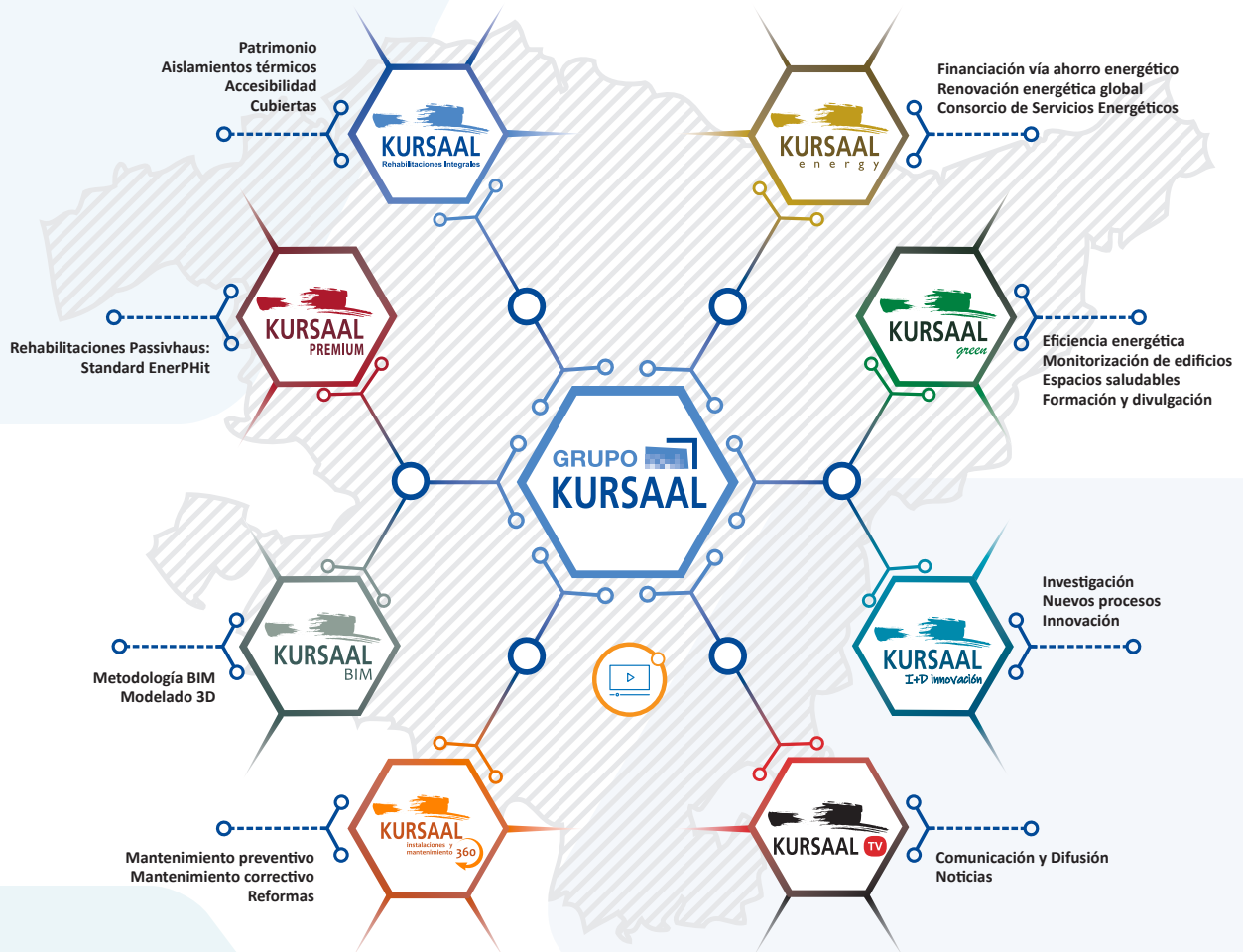
fhimasa

Quintana, 5-ext
48007-BILBAO

94.442.20.12

www.fhimasa.com

@fhimasa



GoZee: cómo empezar en tan solo 30 segundos

1. En App Store o Google Play, escribe "GoZee" en el campo de búsqueda y descarga la aplicación en tu Smartphone o tu tableta.
2. Abre la aplicación y utilízala en las páginas que contengan el icono de GoZee.

Rehabilitamos el presente,
PROYECTANDO EL FUTURO



Trabajamos cada día buscando la superación, para así continuar siendo la empresa puntera y de referencia en el sector de la rehabilitación de edificios.



TRABAJO
PROFESIONAL
ES CALIDAD



ENFOQUE A
LA EXCELENCIA



APUESTA POR
LA INNOVACIÓN



GRUPO
KURSAAL

“El impulso emprendedor que dio vida a Kursaal en 1998 mantiene intactas, más de veinte años después, la estricta rigurosidad de nuestras actuaciones, la calidad, la seriedad y el gusto por el trabajo bien hecho como ejes.

Para ello siempre he considerado indispensable contar con un gran equipo de los mejores profesionales que complementando su conocimiento garanticen resultados de elevada calidad en la rehabilitación. Este diferencial siempre se ha reconocido por nuestros clientes e incluso nos llevó en el año 2017 a recibir la medalla de Oro Europea al Mérito en el Trabajo.

Sin embargo no dudo que Kursaal, como empresa emprendedora y pionera en el sector de la rehabilitación y concretamente en la mejora de eficiencia energética, continuará aportando su granito de arena para la mejora de los procesos en el sector de la rehabilitación de edificios”.

Josu Hernández
Gerente

GRUPO KURSAAL
CAMBIA EL CONCEPTO
ACTUAL DE LA EMPRESA
REHABILITADORA



IGLÚ

ENERGY SAVINGS



CONSULTORÍA





EQUIPO

Nuestro principal valor es el capital humano de nuestro equipo, "Arquitectos, ingenieros y constructores forman parte del mismo" Un equipo altamente cualificado y especializado en el estándar Passivhaus, en certificados medioambientales y en principios de Biología de la Construcción"

IGLÚ Energy Savings dispone de profesionales con titulaciones de Certified Passivhaus Designer, Baubiologie y Evaluadores Acreditados para la certificación ambiental de edificios con las herramientas BREEAM y VERDE



FORMACIÓN PASSIVE HOUSE

Ofrecemos formación superior mediante cursos, talleres y seminarios en los campos de eficiencia energética y sostenibilidad en edificación" Hemos formado a más de 500 alumnos a lo largo de 30 cursos oficiales de Projectista Certificado Passivhaus y Técnico de Ejecución de Obra Certificado Passivhaus, para obtener las titulaciones de Certified Passivhaus Designer y Certified Passivhaus Tradesperson"

Colaboramos con Universidades, Centros Acreditados de Formación y Asociaciones de la Construcción para ofrecer formación tanto a técnicos como a profesionales del sector de la construcción.



CERTIFICACIÓN CON ESTÁNDAR PASSIVHAUS

Edificios desde la fase de proyecto hasta el final de obra, con seguimiento especializado incluyendo visitas a la obra y asistencia técnica permanente"

Amplia experiencia en el diseño, cálculo, dirección de obra y construcción de edificio ECCN Passivhaus

Amplia experiencia formativa en los sectores universitarios públicos y privados



CERTIFICACIÓN AMBIENTAL

Certificación ambiental bajo los estándares LEED, BREEAM y VERDE para fomentar una construcción más sostenible que repercute en beneficios económicos, ambientales y sociales a los usuarios, inquilinos y propietarios de los edificios"



CONSULTORÍA

Asesoramiento a empresas que desarrollen trabajos de construcción, obra civil, servicios de arquitectura e ingeniería para este tipo de construcciones, tanto en la implantación de los métodos de trabajo, tecnología y diseño de las actuaciones, como en el control de calidad de los mismos y puesta en obra de los elementos y equipos"

Trabajos de consultoría para la certificación de Edificios y Componentes"



CONTROL DE CALIDAD

Servicio de Control de Calidad en Edificación

Control de hermeticidad mediante ensayo de puerta soplante "Blower Door" Control de infiltraciones mediante anemómetros, termografía y ultrasonidos"

Equilibrado de sistemas de ventilación

Control de puentes térmicos mediante termografía y ultrasonidos



INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Creación de maquetas numéricas de edificaciones existentes con objeto de estudiar estrategias de intervención y rehabilitación energética, ejecución y mantenimiento, "Integración de las nuevas tecnologías en el sector de la construcción" Proyectos a destacar BIM ERAIKAL de implantación de BIM en el sector de la construcción y Proyecto de Investigación de la Rehabilitación Energética del Parque Inmobiliario de la CCAA de La Rioja

IGLU ENERGY SAVINGS ha participado en la certificación de los primeros edificios públicos construidos bajo el estándar Passivhaus en España tanto para el estado como para otras administraciones públicas.

Actualmente participa en más de 35 procesos de certificación de edificios habiendo participado en la certificación de más de 10.000 m² de edificación

Estamos acreditados por el Passivhaus Institut para certificar edificios y componentes para ofrecer formación oficial. También estamos acreditados como certificadores de BREEAM, VERDE y Baubiologie.



Empresa de Formación y Certificación Acreditada
Passive House Institute



C/ GRAN VÍA DIEGO LÓPEZ DE HARO
19-21 2º. 48001 BILBAO
(+34) 944 155 037
info@igluing.com



VEKA SPECTRAL

Cuando un perfil de PVC
se convierte en *Arte*

INNOVACIÓN, DISEÑO y RENDIMIENTO definen **VEKA SPECTRAL**. Una nueva tecnología de acabados para sistemas de perfiles de PVC VEKA que aúna la perfección del diseño y una técnica sobresaliente para desarrollar proyectos capaces de estimular los sentidos.

VEKA SPECTRAL combina el lacado y el foliado logrando un aspecto ultramate de acabado sedoso, irresistible al tacto, que repele las huellas y la suciedad, y le otorga una alta resistencia a la intemperie, al rayado y a la abrasión.

Este exclusivo acabado de superficies cuenta con una amplia variedad de colores para dar respuesta a cualquier exigencia de diseño, en línea con las nuevas tendencias arquitectónicas.

VEKA SPECTRAL es el fruto de una labor innovadora propia del **Grupo VEKA** que constituye un punto de inflexión en la fabricación y el diseño de perfiles de PVC.

www.veka.es



Sistemas de Ventanas de PVC

★★★★★

CON 
DE VOSOTROS

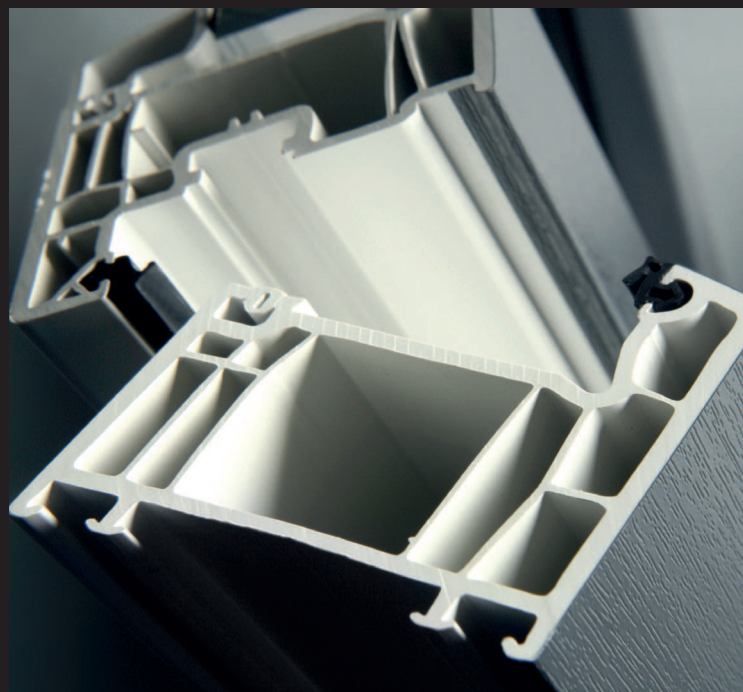
El **Grupo VEKA** es el mayor extrusor y líder mundial dedicado exclusivamente al diseño, y desarrollo de perfiles de **PVC para carpintería exterior**. Con sede principal en Alemania, y avalada por sus más de 45 años de experiencia, **VEKA** está presente en 4 continentes, a través de sus 36 filiales y sus 24 plantas de fabricación en el mundo y opera en más de 80 mercados.

La filial para España y Portugal, **Vekaplast Ibérica**, cuenta con una planta de extrusión de perfiles de PVC ubicada en Burgos, con más de 14.000m² de instalaciones. Con esta infraestructura, **VEKA** desarrolla en la Península sistemas de perfiles de PVC, que dan respuesta a las necesidades de carpintería de cualquier proyecto: sistemas practicables y deslizantes, sistemas de control solar tipo capialzado, mallorquinas y contraventanas, perfiles complementarios y placas.

Sistemas **certificados por el Instituto Passivhaus** como **SOFTLINE 82 Passiv 1.0**, 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. **VEKA SPECTRAL**, es la última tecnología de **VEKA** en cuanto a acabados, que surge como una alternativa de valor frente al tradicional y probado acabado foliado. Una nueva superficie que convence por su estética especialmente elegante y su tacto sedoso y único. La solución perfecta para arquitectos y prescriptores ofreciéndoles nuevas posibilidades de diseño en fachadas y edificios.

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**.

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.



VEKAPLAST IBÉRICA

VEKAPLAST IBÉRICA

C/ López Bravo 58 · 09001 Burgos

Teléfono +34 947 47 30 20





ZIKOTZ

**CALIDAD,
SEGURIDAD Y
COMPROMISO.**

Los cimientos en los que
se asienta **Zikotz.**

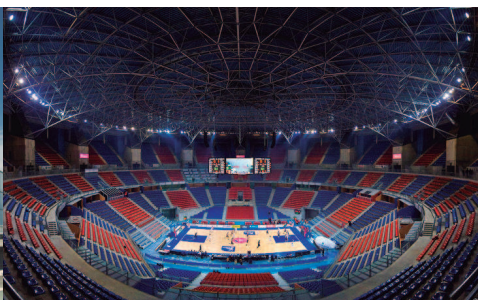
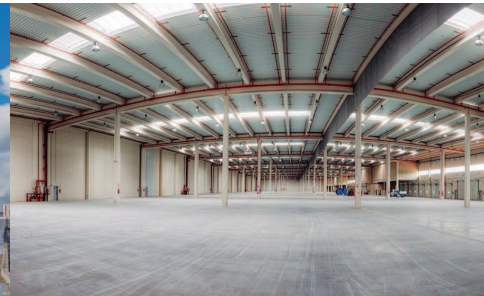
zikotz.com



MÁS DE 35 AÑOS TRANSFORMANDO ESPACIOS

FUNCIONALIDAD Y NUEVAS TECNOLOGÍAS

Edificación de naves, pabellones
modulares, centros logísticos,
ampliaciones, reformas,...



PEQUEÑOS DETALLES PARA GRANDES ESPACIOS

Pabellones deportivos, centros cívicos,
edificios singulares,... todo integrando
innovación y sostenibilidad.

FUNCIONALIDAD Y ESTÉTICA EN EL PUNTO DE VENTA

Desde grandes espacios a
supermercados, concept stores o
restaurantes. Desde su construcción
integral hasta cualquier tipo de reforma.

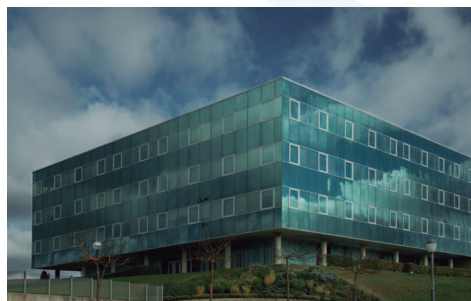


OTRA FORMA DE CONSTRUIR LA VIDA

Grandes edificios residenciales, viviendas
unifamiliares o pequeñas viviendas,
proyectos singulares personalizados,... Todo
con un toque diferente, el toque Zikotz.

OTRA FORMA DE CONSTRUIR NEGOCIO

Edificios corporativos, de oficinas,
espacios de trabajo en los que se
busca la máxima funcionalidad,
comodidad y eficiencia del espacio.



eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea