

BUILDING & MANAGEMENT

E-JOURNAL. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE EDIFICACIÓN. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

January
April
2019



BUILDING & MANAGEMENT
JANUARY - APRIL 2019
ISSN 2530-8157



BUILDING & MANAGEMENT

VOLUME 3 ISSUE 1

BUILDING & MANAGEMENT

SCIENTIFIC e-JOURNAL

VOLUME 3 ISSUE 1

JANUARY - APRIL 2019



Escuela Técnica Superior de Edificación
Universidad Politécnica de Madrid

ISSN: 2530-8157

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE EDIFICACIÓN. ETSEM

Avenida de Juan de Herrera, 6, 28040 Madrid
Phone: 913367611
www.edificacion.upm.es
e-mail: bm.edificacion@upm.es

DIGITAL EDITION

www.polired.upm.es

FRONT AND BACK COVERS IMAGES

Laboratory of the Department of Reinforced Concrete
and Masonry Structures
Vilnius Gediminas Technical University
Lithuania

BUILDING & MANAGEMENT is an open access scientific e-journal published every four months that accepts original, high quality and not published manuscripts. The journal scope covers all the phases of the building: project, construction, in-use, maintenance and end-of-life, and comprises a wide range of activities associated with the management of building processes where various agents in the sectors of architecture, engineering and construction participate.

GESTIÓN EN EDIFICACIÓN es una publicación científica cuatrimestral en la que se incluyen trabajos originales, de alta calidad, que no hayan sido publicados en otras revistas. Su ámbito abarca todas las fases de proyecto, ejecución, operación, mantenimiento y fin de vida del edificio y comprende un amplio abanico de actividades asociadas a la gestión de los procesos del edificio en las que participan diversos agentes de los sectores de la arquitectura, la ingeniería y la construcción.

The criteria and opinions expressed in this publication are the sole responsibility of the authors. Copyright and intellectual property rights of published documents belong to their authors, who are responsible of the published material copyright.

Los criterios y opiniones expuestos son responsabilidad exclusiva de los autores. Los derechos de autor y la propiedad intelectual del material publicado pertenecen, así mismo, a sus autores, quienes son responsables de los permisos sobre derechos del material publicado.

EDITOR - IN - CHIEF / DIRECCIÓN DE REDACCIÓN

Inmaculada Martínez Pérez Universidad Politécnica de Madrid

MANAGING EDITOR / SECRETARÍA DE REDACCIÓN

Sonsoles González Rodrigo Universidad Politécnica de Madrid

ASSOCIATE EDITORS / COMITÉ EDITORIAL

Patricia Aguilera Benito Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Francisco de Borja Chávarri Caro Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Gregorio García López de la Osa Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Julián García Muñoz Universidad Politécnica de Madrid, Spain
María de las Nieves González García Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Carolina Piña Ramírez Universidad Politécnica de Madrid, Spain
María Isabel Prieto Barrio Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Mercedes Valiente López Universidad Politécnica de Madrid, Spain

EDITORIAL ADVISORY BOARD / COMITÉ CIENTÍFICO

Antonio Baño Nieva Universidad de Alcalá, Spain
Roberto Barrios Corpa Intemac, Spain
Xavier Brioso Universidad Católica Pontificia de Perú, Lima, Perú
Daniela Brizuela Valenzuela Universidad Central de Chile, Santiago, Chile
Álvaro Cerezo Ibarrondo Escuela Vasca EVETU del IVAP, Bizkaia, Spain
Alfonso Cobo Escamilla Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Miguel de Diego Elvira IDOM, Spain
Luis de Pereda Fernández Eneres / Instituto Europeo de Innovación, Spain
Emmanuel Dufresnes Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Strasbourg / Ministère de la Culture et de la Communication, France
Grupo SGS, Madrid, Spain
ARUP, Spain
CIEMAT, Spain
Universidad Costa Rica, Costa Rica
Consejo Arquitectos / Comisión Europea
Dublin Institute of Technology, Ireland
Universidad de Burgos, Spain
Héctor Hernández López Universidad Central de Chile, Santiago, Chile
Marta Kosior-Kazberuk Bialystok University of Technology, Poland
Sandra Llorente Manleón Conspace. Vía Célere, Spain
Oscar López Zaldivar Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Fernando Machado Martín UNE. Asociación Española de Normalización, Spain
Fernando Martín Consuegra Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja
M^a Dolores Martínez Aires Universidad de Granada, Spain
Francisco J. Martínez Montesinos Universidad Católica de Murcia, Spain
Juan Manuel Medina Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia
M^a del Pilar Mercader Moyano Universidad de Sevilla, Spain
Trevor Mole Property Tectonics/Salford University, Manchester, UK
Fernando Moral Andrés Universidad Nebrija, Madrid, Spain
M^a Isabel Pérez Millán Universidad Católica de Murcia, Spain
Rudy Piedra Mena Universidad Costa Rica, Costa Rica
Carlos J. Pampliega Project Management Institute Madrid, Spain
Mara Rodríguez Hermida Instituto Tecnológico de Galicia / BREAM, Spain
Universidad de Burgos, Spain
Ángel Rodríguez Saiz Universidad de Castilla la Mancha, Spain
María Segarra Cañamares Instituto Valenciano de Edificación / Universidad Politécnica de Valencia, Spain
Begoña Serrano Lanzarote Acerta, Madrid, Spain
Patricia del Solar Serrano Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Ricardo Tintero Caballero Universidad de Castilla la Mancha, Spain
Nelia Valverde Gascueña Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Amparo Verdú Vázquez

SUMMARY

EDITORIAL: MANAGEMENT STRATEGIES AND ECO-EFFICIENT SOLUTIONS TO REDUCE ENERGY RESOURCES CONSUMPTION IN BUILDINGS EDITORIAL: ESTRATEGIAS DE GESTIÓN Y SOLUCIONES ECO-EFICIENTES EN EDIFICACIÓN PARA REDUCIR EL CONSUMO DE RECURSOS ENERGÉTICOS Pilar Mercader	1
---	----------

ARTICLES

CONTROL STRATEGIES AND CORRECTIVE ACTION FOR THERMALLY ACTIVATED BUILDING SYSTEMS ESTRATEGIAS DE CONTROL Y ACCIÓN CORRECTIVA PARA EL COMPORTAMIENTO EFICIENTE DE LAS ESTRUCTURAS TERMOACTIVAS Rossana Laera, Inmaculada Martínez , Luis de pereda , Ricardo Tendero , Rafael Tejedor & Francesco Iannone.	7
PHASE CHANGE MATERIALS PERFORMANCE AT RADIANT FLOOR HEATING SYSTEMS FOR BUILDING PURPOSES STUDY ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES DE CAMBIO DE FASE EN SISTEMAS DE CALEFACCIÓN POR SUELO RADIANTE DE APLICACIÓN EN CONSTRUCCIÓN Beatriz Cámara-calzas, Alejandro Gómez-delgado, Elena Cerro-prada & Rosalia Pacheco-torres	24
ENERGY STUDY OF THE ENVELOPE IN METAL CONTAINERS FOR BUILDING ESTUDIO ENERGÉTICO DE LA ENVOLVENTE EN CONTENEDORES METÁLICOS PARA EDIFICACIÓN Antonio Pérez Aranda, Julián Arco Díaz & David Hidalgo García	36
PUBLIC-VERNACULAR ARCHITECTURE EN ALGERIA “M’ZAB” ARQUITECTURA VERNACULA EN ARGELIA “M’ZAB” Mohamed El Amine Rais & Ricardo Tendero Caballero	49
THE USE OF BIM TECHNOLOGY IN SPATIAL ECONOMY ON THE EXAMPLE OF MULTI-FAMILY BUILDING PROJECT AT CZESTOCHOWSKA STREET IN BIALYSTOK EL USO DE LA TECNOLOGÍA BIM EN LA ECONOMÍA ESPACIAL EN EL EJEMPLO DE PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN MULTIFAMILIAR EN LA CALLE CZESTOCHOWSKA EN BIALYSTOK Sławomir Wojtkiewicz & Damian Citko	59

OPINION ARTICLES

LEGAL MAINTENANCE OF RESIDENTIAL BUILDINGS AND THE ROLE OF THE BUILDING ENGINEERING GRADUATE MANTENIMIENTO LEGAL EN LOS EDIFICIOS DE USO RESIDENCIAL Y EL PAPEL DEL GRADUADO EN EDIFICACIÓN Francisco González Yunta & Sonsoles González Rodrigo	69
---	-----------

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

74

DIGITAL EDITION

A digital version of this issue is available to readers, accessible and downloadable at <http://polired.upm.es/index.php/bm/issue/archive> of the journal.

Existe a disposición de los lectores una versión digital del presente número, accesible y descargable en: <http://polired.upm.es/index.php/bm/issue/archive> of the journal.

EDITORIAL

BUILDING & MANAGEMENT

JANUARY - APRIL 2019

<http://dx.doi.org/10.20868/bma.2019.1.3872>

PILAR MERCADER

BUILDING & MANAGEMENT

MANAGEMENT STRATEGIES AND ECO-EFFICIENT
SOLUTIONS TO REDUCE ENERGY RESOURCES
CONSUMPTION IN BUILDINGS

ESTRATEGIAS DE GESTIÓN Y SOLUCIONES ECO-EFICIENTES EN
EDIFICACIÓN PARA REDUCIR EL CONSUMO DE RECURSOS
ENERGÉTICOS

The European Union has committed to develop a sustainable, competitive, safe and decarbonized energy system. Its goals consist in achieving a 40% reduction of Greenhouse Gases (GHG) emissions by 2030 with respect to 1990 and to get carbon neutral buildings by 2050.

However, even if it is possible to decrease 1.26% annual energy consumption, there will be an important non-carbon neutral building stock due to their constructive inefficiencies. Therefore, it is necessary to provide an strategy to attract investments to retrofit these buildings.

Building sector consumes 40% of the total annual primary energy and emits 36% of GHG in Europe [1]. In 2015, the Paris Agreement promoted the CO₂ reduction from existing buildings because nearly 50% of energy end-use corresponds to heating and cooling, while 80% of this end use corresponds to buildings. In Spain, this tendency is increasing even when new buildings are nZEB o PASSIVEHOUSE certified since they only represent a small portion of the building stock [2].

Building retrofit has demonstrated a great potential to reduce energy consumption and GHG emissions for Climate Change mitigation. That will favour resilient cities, which will need to adapt to the new environmental conditions. A new amendment to Energy Performance of Buildings EU Directive [3] intends to accelerate the commitment of the objectives proposed in the

La Unión Europea se ha comprometido a desarrollar un sistema energético sostenible, competitivo, seguro y sin carbono. Sus objetivos persiguen alcanzar una reducción del 40% de las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) para 2030 en relación a 1990 y conseguir como objetivo mundial para 2050 el de edificios CO₂ neutros. Sin embargo, aun cuando se consiga una disminución anual mundial de un 1,26% del consumo de energía, seguirá existiendo un importante parque construido con emisiones de CO₂ debido a sus carencias constructivas [1]; por lo que es preciso una estrategia que permita movilizar inversiones en la renovación de esas construcciones existentes.

El sector de la edificación consume el 40% del total de la energía primaria y es responsable del 36% de las emisiones de GEI en Europa [1]. El Acuerdo de París en 2015 incentiva la reducción del CO₂ del parque construido europeo debido a que casi el 50% del consumo final de energía es usado para calefacción y refrigeración, correspondiendo el 80% de ese consumo final a los edificios. Esta tendencia de consumo es creciente, ya que aun cuando los edificios nuevos sean nZEB o PASSIVEHOUSE en España, éstos representan una pequeña porción del parque construido [2].

La rehabilitación energética ha demostrado tener un gran potencial de reducir el consumo energético y las emisiones de GEI para mitigar el Cambio Climático, propiciando un futuro resiliente a nuestras ciudades, que deberán adaptarse a las nuevas condiciones que aquél plantea. Por ello, se ha introdu-

original EU Directive by compelling EU Members to transform the amendment into a law in March 2020. This update expects to strengthen ties between public funds and energy poverty. The building stock renovates under the needed 3% to reach the objectives on time. Each 1% of building renovation constitutes 2.6% of fuel importation savings, as Europe is energy dependent.

As it is mentioned above, energy poverty reduction is another objective as it affects the most vulnerable social sectors like elder and low-income. They are not able to afford neither an energy efficient retrofit nor electricity and gas expenses, the latter being a consequence of non-efficient building envelope solutions.

This problem has become visible, showing the relation between people quality of life and building envelope, whose characteristics together with home incomes lets infer different vulnerability levels. The benefits that imply an improvement in the quality of life are reflected in public health savings [4].

A wider perspective permits to notice that energy poverty is a multi-dimensional issue which extends beyond home and inhabitants internal factors, comprehending external, structural, systemic and complex reasons like:

- Structural restrictions: unemployment, crisis, austerity policies, basic services privatization (water, gas, etc.), building stock ageing
- Spanish energy system: oligopoly power, politics and main energy providers recurrence, complex regulations
- Lack of cheap renewable sources promotion
- Insufficient or inadequate policies that allow basic services cut in the most vulnerable homes, high energy prices, second place in Europe ranking
- High management fees, lack of legal protection of tenants in front of landlords, lack of energy efficiency measures (financial aid, public programmes, etc.) for vulnerable homes
- Social standards that affect quality of life, social level and the relations with the social tissue
- Personal issues, inherent to the home and its inhabitants: standard of living, age, intelligence, education, special needs, gender, etc. [5]

The Amendment also remarks the importance of passive strategies implementation for heating and cooling, natural ventilation and daylighting to achieve thermal and visual comfort.

These strategies can be applied not only to indoor but outdoor spaces as well. They reflect the importance of urban regeneration by means of sustainable resources like urban trees, green walls and roofs as long as they also improve the inhabitants health by increasing indoor air quality, toxic materials removal, natural ventilation, and daylighting.

Se ha comenzado a visibilizar dicho problema poniendo de relieve que existe una relación determinada entre la calidad de vida de un hogar y la calidad constructiva de la vivienda, que determina las condiciones térmicas junto con la situación monetaria familiar, a partir de las cuales es posible establecer diferentes niveles de vulnerabilidad para un hogar. Los beneficios que conllevan la mejora en la calidad de vida de dicho hogar repercuten en un ahorro para la salud pública [4].

Otro de los objetivos de la enmienda es la consideración del alivio de la pobreza energética que afecta a los sectores más vulnerables de la sociedad como son los adultos mayores y los de bajos ingresos. Estos no pueden solventar adecuadamente una renovación energética mientras que, simultáneamente deben enfrentar el abultado pago del consumo eléctrico y de gas, producto de soluciones constructivas poco eficientes en la envolvente de los edificios.

Desde una perspectiva más amplia, se advierte que la pobreza energética es un problema multidimensional que se extiende más allá de los factores internos de la vivienda y sus ocupantes, originado por causas externas, estructurales, sistémicas, complejas e interconectadas tales como:

- Restricciones estructurales: desempleo, crisis, políticas de austeridad, privatización de servicios básicos (agua, gas, etc.), envejecimiento del parque construido.
- Régimen energético español: poder oligopólico, recurrencia de políticos y las principales compañías proveedoras de energía, precios elevados de la energía, regulaciones complejas.
- Falta de promoción de fuentes alternativas renovables baratas.
- Políticas insuficientes o inadecuadas, que permiten el corte del servicio en hogares vulnerables, precios de la energía que ocupan el segundo lugar de los más caros de Europa.
- Tasas de procedimientos altas, falta de protección legal de los inquilinos frente a administradores, inexistencia de medidas de eficiencia energética (ayudas, programas públicos, etc.) para hogares vulnerables.
- Normas sociales que afectan lo que se entiende por calidad de vida, nivel social, relaciones con el tejido social.
- Factores personales, inherentes a la vivienda y sus ocupantes: nivel social, edad, inteligencia, educación, necesidades especiales, género [5].

La enmienda también hace hincapié en la importancia de la

It is not only necessary to retrofit buildings and neighbourhoods, the role of maintenance is crucial as well. In the present issue, the article "Legal maintenance of residential buildings and the role of the building engineering graduate" refers to building maintenance established in the L.O.E. as one of the tools to improve building sustainability. If periodic planned maintenance tasks are not specified in the Legal Preventive Maintenance Plan, future damage may appear, giving rise to expensive repair together with inhabitants health issues, apart from energy waste in many cases.

Building stakeholders should orient their activity to sustainable, low cost and low energy consumption market. The article "Energy study on the envelope in metal containers for building", develops recommendations to retrofit maritime containers, showing how a light construction system provides inner comfort at least cost. Minimising building material quantities by reusing prefabricated elements contributes to mitigate Climate Change, whereas it reduces raw material extraction and fabrication embodied energy.

Nowadays, Building Information Modelling tools permit to control different construction solutions and their costs, in order to identify the most efficient and inexpensive alternative since the early stages of design, allowing a correct management and favouring circular economy.

In this direction, the article "The use of BIM technology in spatial economy on the example of multi-family building Project at Czestochowska Street in Bialystok" shows a case study in a European location while "Building information modelling (BIM) to manage design and construction phases of public projects" shows how to reduce public building costs in schools and hospitals, in countries like EEUU, UK, Scandinavian and Australia. Furthermore, the article "Interoperability between BIM-Revit 2015 and BPS Design Builder. An existing building as a case study" explores the possibilities of BIM as an energy efficiency diagnosis tool, interacting with Building Performance simulation (BPS).

Even when energy building retrofit constitutes a way to reduce energy consumption and consequently GHG emissions, an adequate energy diagnosis is fundamental to provide eco-efficient solutions among others which are not.

The article "Control strategies and corrective action for thermally activated buildings" proposes this strategy applied to an office building in Spain. The results show significant energy savings when applying the correct solutions, control strategies and corrective actions for TABS, with an improvement in energy management.

Since the '90s the EU has provided directives to promote energy savings and to change the current energy matrix based on fossil fuels into another one based on renewable energies, to reduce GHG emissions and mitigate Climate Change. They are EU Directives 93/76/CEE, 2002/91/CE, 2010/31/UE and 2012/27/UE. Notwithstanding, Spain has

implementación de estrategias pasivas de climatización que reduzcan el uso de energía en calefacción y refrigeración, iluminación y ventilación a los efectos de conseguir confort térmico y visual. Dichas estrategias pasivas no sólo son aplicables al ámbito de los edificios sino también a las áreas urbanas en la cual estos se hallan implantados.

De ahí la importancia de la regeneración urbana que implique el uso de estrategias sostenibles como, por ejemplo, el arbolado urbano y las cubiertas y muros verdes, ya que no solo implican una mejora en las condiciones de confort higrotérmico; sino también en la salud de sus ocupantes al incrementar la calidad de aire interior, la remoción de materiales tóxicos, y la iluminación y ventilación naturales.

Pero no sólo es cuestión de rehabilitación de edificios o regeneración de barrios, también al mantenimiento juega un papel fundamental. El artículo de este número: "Legal maintenance of residential buildings and the role of the building engineering graduate" hace referencia al mantenimiento de los edificios establecido en la L.O.E, como una de las herramientas que permitirían una mejora de la sostenibilidad en edificación. Si no se especifican las actividades programadas que periódicamente constituyen el Plan de Mantenimiento Preventivo Legal del edificio, éste puede provocar lesiones futuras en el mismo, un mayor coste económico en su reparación e incluso problemas de salubridad para sus usuarios, aparte de un despilfarro energético en muchos de los casos.

El sector de la edificación debe orientarse a viviendas de menor coste y consumo energético, así como a una mayor sostenibilidad, entre ellas las viviendas prefabricadas que bajo el título: "Energy study on the envelope in metal containers for building" se presentan en otro artículo de este número, estableciendo criterios de intervención sobre la envolvente de contenedores marítimos como base para un sistema de construcción residencial que garantice condiciones interiores de confort a un mínimo coste. Minimizar el empleo de materiales de construcción, reutilizando elementos prefabricados preexistentes, contribuyen a mitigar el Cambio Climático desde la óptica de la minimización de los recursos naturales necesarios para su fabricación.

Hoy día existen herramientas BIM que nos permiten controlar desde la fase de diseño, diferentes soluciones constructivas y sus costes, a fin de identificar la más eficiente y rentable, permitiendo una correcta gestión del proceso y favoreciendo la economía circular. En este sentido, el artículo: "The use of BIM technology in spatial economy on the example of multi-family building Project at Czestochowska Street in Bialystok" lo demuestra con un ejemplo de su aplicación práctica en el ámbito internacional; mientras que el artículo: "Building information modeling (BIM) to manage design and construction phases of public projects" muestra la ruta a seguir para reducir costos en edificios de promoción pública, escuelas y hospitales, partiendo de su aplicación demostrada en países como EEUU, Reino Unido, países Nórdicos y Australia. Incluso se muestran las posibilidades de BIM como herramienta de diagnóstico eficiente de edificios, mostrando su interoperabilidad con Building Performance Simulation (BPS) y el intercambio de datos entre ambos en un edificio construido en Madrid, con el artículo "Interoperabilidad entre BIM con Revit 2015 y BPS con

delayed its local regulation. With the Law 8/2013 sanction, Spain recognised the importance of the building stock by promoting renovation, retrofit and energy labelling according to European standards. Spanish building stock was built before the Spanish Technical Code so it shows deficient energy performance, as the National Institute of Statistics remarks.

The EU Directive 93/76/CEE identified the building sector as a main actor in energy consumption and GHG emissions, and recommended the building labelling before 1995. The lack of regulation of this Directive and the inertia of the sector to adapt to new requirements resulted in an unequal adoption by the EU members. Some members like Germany and Denmark pioneered the adoption of these Directives, adjusting energy demand and compelling the building labelling. Instead, other Members like France, Italy and Spain, delayed their regulation [6]. Spain began its adoption with the RD 314/2006: Building Technical Code. (BTC)

Energy labelling specified in the Directive 2002/91/CE intended to reduce differences among Members, giving a common regulatory framework based on the same evaluation methodology. In Spain, the RD 47/2007 established this Directive partially, only affecting new buildings and leaving aside the existing ones, failing to fulfill Directive 93/76/CEE.

This labelling should have been into force by 2009 but Spain did not accomplish it, so it received a penalty. Finally, the RD 235/2013 regulated building labelling for the whole building stock. Since 1995, the Spanish built area augmented 800 km² with low energy performance requirements, previous to BTC issue, provoking an increment of primary energy demand of 140 TWh/year, and rising 60% of energy consumption [7].

Housing constructors showed themselves reluctant to the labelling because the housing adequacy supposed a 10% building cost increment.

As a consequence of 2008 world crisis and the new energy efficiency requirements, this sector was seriously affected, growing little from that moment onwards. This sector had represented 7 to 10 % of Spanish GDP, 7 to 13% of the employment market and around 60% of the gross fixed capital formation.

As it was foreseen that Directive 2002/91/CE was not going to be enough to reach its objectives by 2020: 20% renewable energy production, 20% energy demand reduction and 20% GHG emission reduction, the UE sanctioned the Directive 2010/31/UE (recast), about energy efficiency in buildings that replaced Directive 2002/91/CE.

This Directive about building energy efficiency expects that every new building will be nZEB as well as those which refurbished area is more than 25%. This requisite was included in the DB HE Energy Savings update as part of the

Design Builder. Estudio de caso en edificación existe”

Si bien la rehabilitación energética abre el camino a la reducción del consumo energético y por ende las emisiones de GEI, el establecimiento de un diagnóstico energético adecuado es fundamental, a fin de proporcionar de entre todas las soluciones posibles aquella que tenga un carácter ecoeficiente. El artículo: “Control strategies and corrective action for thermally activated buildings” es una propuesta al respecto, aplicándose a un edificio de oficinas ya construido en España. Los resultados de este trabajo muestran que se pueden lograr ahorros significativos de energía aplicando soluciones apropiadas, estrategias de control y acciones correctivas para TABS, lo que redundará en oportunidades de ahorro energético en edificación y una mejora en la gestión de la energía.

La Unión Europea ha elaborado, desde los años 90, directivas tendentes a promover el ahorro energético y la transición hacia una matriz energética que incorpore las energías renovables reemplazando los combustibles fósiles, uno de los principales causantes de los GEI y del Cambio Climático. Tales son las Directivas 93/76/CEE, 2002/91/CE, 2010/31/UE y 2012/27/UE. España, sin embargo, ha demorado la implementación local, reconociendo la importancia de la renovación del parque construido con la implementación de la ley 8/2013, que regula la renovación, rehabilitación y certificación energética de los edificios existentes, de acuerdo a los estándares europeos. El parque edilicio edificado español es en un 80% anterior a las regulaciones del Código Técnico por lo que presenta deficiencias en su desempeño energético, según fuentes del Instituto Nacional de Estadística.

La Directiva 93/76/CEE reconocía la participación preponderante del sector de edificación en el consumo de energía y las emisiones de GEI, recomendando la certificación energética para ser implementada antes de 1995. La falta de implementación de la Directiva y la inercia del sector para adecuarse a las nuevas exigencias dio como resultado una adopción desigual entre los Estados Miembros. Algunos países como Alemania y Dinamarca fueron pioneros en adoptar estas directivas, adecuando la demanda energética y exigiendo la certificación energética de edificios. Otros países como Francia, Italia y España, en cambio, demoraron su regulación [6]. España comenzó su adecuación a partir de la entrada en vigor del RD 314/2006, Código Técnico de la Edificación.

La certificación energética de edificios que se especificaba en la Directiva 2002/91/CE, buscaba reducir las diferencias entre los Estados Miembros, dando un marco regulatorio común mediante una misma metodología de evaluación. En España, el RD 47/2007 reglamentó parcialmente esta Directiva para la certificación energética de edificios de nueva planta, pero no contemplaba los edificios existentes, incumpliendo parcialmente la Directiva 93/76/CEE. Esta certificación debió haber entrado en vigor en 2009, pero como España incumplió, se hizo merecedora de una sanción. Con el RD 235/2013 se reguló la certificación para todos los edificios.

Desde 1995, en España la superficie edificada aumentó 800 km² con la baja exigencia energética previa al CTE y provocó un incremento de la demanda de energía primaria de 140

SBC in 2013. In 2017, the last SBC update increased the requisites about energy demand reduction.

Before specific regulations were published, operative energy (OE) constituted the main factor in the building energy consumption and embodied energy (EE) represented only 10 to 20% of the energy consumption along its Life Cycle. Nevertheless, as energy efficiency made OE decrease, EE reached up to 40% of OE in buildings [8].

Some researchers consider that GHG emissions can be reduced 30% from its current level by selecting low-environmental impact building materials; others estimate that the main impact of GHG emissions and urbanisation energy costs take place in the construction stage, while OE savings cannot be significantly reduced.

Another way to reduce energy consumption could be the use of phase change materials (PCM). They could be suitable to balance consumption periods with demand periods, by means of energy accumulation. The article "Phase change materials performance at radiant floor heating systems for building purposes study" studies the viability of adding a layer of PCM to floors with underfloor heating systems in isolated homes.

Building material industry consumes more than 20% of the fossil fuel and more than 40% of the raw material and energy resources while it generates 35% of the industrial waste worldwide [9]. The European building manufacturing industry consumes 40% of the natural resources whilst only 25% of the construction and demolition waste (CDW) is recycled, according to a technical report of the International Energy Agency. The potential of CDW recycle is about 50% of its EE and GHG emissions. The Spanish CDW management second plan for 2008-2015 period demonstrated that less than 18% of CDW from industrial and infrastructure activities is recycled [10].

In 2017, the Andalusian Construction Costs Base added a chapter about CDW removal costs to fulfill the Royal Decree issued in 2008 [11] and its European referent, the European Waste List 2000 [12].

Besides, Spanish Autonomous Communities provide statistics about energy consumption and GHG emissions through their respective energy agencies for residential sector, showing public authorities commitment to find sustainable solutions in terms of OE. The financial crisis revealed that the building environmental impact depended on the existing stock adequacy to this new scenario.

The indiscriminate urban expansion gave rise to a new perspective of the city, integrating social, environmental, and economic aspects, as described in many documents [13, 14, 15 y 16].

Directive 2012/27/UE fully recognized building stock GHG emissions role, expecting a 20% reduction. The strategy of the EU Members was expected to attract investments in

TWh/año, lo que significó un aumento del 60% del consumo [7].

Los promotores de viviendas se mostraban reticentes a dicha certificación porque las adecuaciones de las viviendas a las nuevas exigencias suponían un incremento del coste de construcción del 10%. A raíz de la crisis económica mundial de 2008, y las nuevas exigencias de eficiencia energética, el sector inmobiliario resultó seriamente afectado, lo que provocó que el parque edificado aumentara de manera poco significativa a partir de ese momento; en un sector que había representado en España en los últimos treinta años entre el 7-10% del producto interior bruto (PIB) total, entre el 7-13% del empleo y en torno al 60% de la formación bruta de capital fijo.

Como se preveía que las restricciones de la Directiva 2002/91/CE no serían suficientes para alcanzar los objetivos para diciembre del 2020, 20% de producción de energía con fuentes renovables, 20% de reducción de la demanda energética y 20% de la reducción de emisiones de GEI, se aprobó la Directiva 2010/31/UE, relativa a la eficiencia energética de los edificios, que sustituye, refundida, a la Directiva 2002/91/CE. Esta Directiva trata sobre la eficiencia energética edilicia y prevé que los edificios nuevos sean nZEB mientras que los que se rehabiliten en más de un 25% de su superficie deberán cumplir los mismos requisitos que un edificio nuevo, lo cual fue previsto por el CTE, en su actualización del DB HE Ahorro de Energía en septiembre de 2013. La última actualización del CTE en junio de 2017 no hizo más que aumentar las exigencias en materia de reducción de la demanda energética.

Previo a la aparición de normativa específica, la energía operativa (EO) constituía el principal factor de consumo de los edificios y la energía incorporada (EI) representaba solamente el 10-20% de la energía consumida en su Ciclo de Vida. Sin embargo, a medida que la eficiencia energética hizo decrecer la EO, la EI alcanzó hasta un 40% de la EO de un edificio [8]. Algunos investigadores consideran que las emisiones de CO₂ pueden ser reducidas a un 30% de su valor original seleccionando materiales de bajo impacto, otros estiman que el mayor impacto de las emisiones y los costos energéticos de la urbanización y los edificios tienen lugar en la etapa de construcción, mientras que el ahorro en la reducción de la EO es poco significativo comparativamente.

Otra forma de minimizar el consumo energético sería mediante el empleo de materiales con una gran capacidad de energía en su cambio de fase, siendo utilizados para adaptar los períodos de suministros a los de demanda energética en sistemas de climatización, mediante la acumulación de energía. El artículo "phase change materials performance at radiant floor heating systems for building purposes study" es una muestra de ello, estudiando la viabilidad del uso de materiales acumuladores de energía, mediante adición de materiales de cambio de fase, como capa de solado sobre sistemas de calefacción por suelo radiante en una vivienda aislada, proporcionando resultados comparativos.

La industria de los materiales de construcción consume más del 20% de los combustibles fósiles en el mundo y más del 40%

building stock renewal, by 4-30-2014 with triennial updates. Among the measures to achieve this objective, the Urban retrofit, regeneration and renovation Law (L3R) sanction in 2013 stands out.

In fact, there are multiple determinants and agents implied in this process to reach an agreement. Local factors as climate, local building technologies and available materials, way of life of the inhabitants, building state, age and uses determine retrofit optimal solutions.

Due to the wide variety of possibilities of building retrofit, the most effective strategies in the long term should prevail, integrating at the same time building regulations with energy performance, and environmental issues like EE, GHG emissions, CDW generation. User comfort should also take part in this issue because her agreement is part of the solution. Circular economy tendency is essential as well as sustainable measures that consider financial feasibility because of the lack of economic profit even when they are effective in Climate Change mitigation [17].

From different points of view, the selected articles for this issue contribute to achieve a more sustainable world.



de los recursos materiales y energéticos mientras genera el 35% del total de los residuos industriales en el mundo [9].

La industria manufacturera europea consume el 40% de los recursos naturales; pero solamente el 25% de los RCD es recuperado, según el Informe Técnico de la Agencia Internacional de Energía. El reciclaje de los RCD tienen el potencial de recuperar el 50% de la EI y las emisiones de CO₂. El Segundo Plan Español de Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición para el período 2008/2015 demostró que menos del 18% de los RCD de las actividades industrial e infraestructura son reciclados [10]. En 2017, la Base de Costes de Andalucía añadió un capítulo con los precios de la retirada de RCD en respuesta al Real Decreto publicado en 2008 sobre el tema [11] y su referente europeo, la European Waste List 2000 [12]. Asimismo, las Comunidades Autónomas, a través de sus respectivas agencias de Energía, proveen estadísticas sobre consumo energético y emisiones de CO₂ para el sector residencial, demostrando así el compromiso de las autoridades públicas de encontrar soluciones alcanzables en términos de EO.

En la crisis económica, se empezó a comprender que el impacto ambiental de la edificación dependía de la adecuación del parque existente al nuevo escenario. La lógica de la expansión urbana indiscriminada dio lugar al impulso de una nueva visión de la ciudad que integrase los aspectos sociales, ambientales y económicos, como lo describen diversos informes [13, 14, 15 y 16].

La reducción de emisiones GEI del parque edificado se reconoce plenamente a partir de la Directiva 2012/27/UE, con el objetivo de reducir las mismas en un 20%. La estrategia que deban establecer los Estados Miembros movilizarán inversiones que apunten a la renovación de dicho parque, exigiéndose una primera versión de dicha estrategia antes del 30 de abril de 2014, actualizable cada tres años. Entre las medidas tendentes a lograr este objetivo, se destaca la aprobación de la Ley de Rehabilitación, Regeneración y Renovación Urbana (L3R) del año 2013.

Pero la realidad es que existen multitud de condicionantes y agentes implicados a los que poner de acuerdo, para que todo lo anterior llegue a un buen fin. Factores locales tales como el clima, las tecnologías y materiales disponibles, modo de vida de los habitantes, estado, antigüedad y usos del edificio determinan las soluciones óptimas de rehabilitación. Debido a la existencia de un gran repertorio de opciones de rehabilitación de un edificio, se debe determinar las estrategias más efectivas a largo plazo, compatibilizándolas con las regulaciones legales, la performance energética, las cuestiones medioambientales como la energía incorporada a los materiales, las emisiones de GEI, la generación de residuos de la construcción y demolición (RCD); a fin de favorecer una tendencia a la economía circular, así como también el confort integral del usuario. Todo esto sin descuidar que las medidas de sostenibilidad deben contemplar su viabilidad económica y su rentabilidad; ya que actualmente, las mejoras en eficiencia energética no son rentables en términos de costos, a pesar de ser efectivas para la mitigación del Cambio Climático [17]. Las soluciones que se propongan deben ser aceptadas por el usuario al que finalmente van dirigidas.

Control strategies and corrective action for thermally activated building systems

Estrategias de control y acción correctiva para el comportamiento eficiente de las estructuras termoactivas

ROSSANA LAERA

ENERES Sustainable Energy Systems, Madrid, Spain.
rossanalaera.92@gmail.com

INMACULADA MARTÍNEZ PÉREZ

Department of Architectural Constructions. E.T.S.E.M. Universidad Politécnica de Madrid, Spain. i.martinez@upm.es

LUIS DE PEREDA FERNÁNDEZ

ENERES Sustainable Energy Systems, Madrid, Spain.
luisdepereda@eneres.e

RICARDO TENDERO CABALLERO

Department of Architectural Constructions. E.T.S.E.M. Universidad Politécnica de Madrid, Spain. ricardo.tintero@upm.es

FRANCESCO IANNONE

DICATECH POLITECNICO DI BARI, BARI, ITALY. FRANCESCO.IANNONE@POLIBA.IT

Thermally Activated Building Systems (TABS) play an essential part in the thermal response of buildings, in terms of dynamic adaptation and energy storage, enabling the separation between thermal energy generation and use. TABS can operate with low temperature, allowing the efficient utilization of renewable energy. Their thermal capacity needs to be managed by a control system, shifting TABS operation to time periods when energy production is most efficient and cost-effective. In this paper, a review of the operation strategies adopted for TABS is provided, in their specific integration in an existing office building in Madrid (Spain). The present control strategies are part of an integrated process, including the design phase, commissioning of TABS, monitoring, and optimization during operation. The effort to take advantage of the energy potential of the original structure, in combination with constant follow-up and management, puts the building on track to achieve a LEED Platinum rating. In line with the standards pursued by the LEED Rating System, a systematic audit procedure is conducted, aiming at the optimization of TABS energy performance, with the identification of energy waste and execution of corrective operations for the improvement of thermal comfort for the occupants.

Thermally Activated Building Systems (TABS), Thermal inertia, Renewable Energy Sources (RES), Building Management Systems (BMS), LEED Rating System, Energy Efficiency, Thermal Comfort.

Los sistemas termoactivos juegan un papel importante en la respuesta térmica de los edificios, en términos de adaptación dinámica y almacenamiento de energía, generando un desfase entre la generación de energía térmica y su utilización. Las estructuras termoactivas pueden funcionar con bajas temperaturas, permitiendo el uso eficiente de energía renovable. Su capacidad térmica necesita ser gestionada por un sistema de control, que traslada la operación de las estructuras termoactivas a períodos en los que la producción de energía resulta más eficiente y rentable. En este artículo se proporciona un estudio de las estrategias operativas adoptadas para estructuras termoactivas, en su integración concreta en un edificio de oficinas existente en Madrid (España). Dichas estrategias de control forman parte de un proceso integrado que incluye la fase de diseño, la puesta en marcha, la monitorización, y la optimización del rendimiento de las estructuras termoactivas durante su explotación. El esfuerzo de aprovechar el potencial energético de la estructura original, en combinación con su constante seguimiento y gestión, hace que el edificio esté en el camino de lograr la certificación LEED Platino. En línea con los objetivos perseguidos por el sistema de certificación LEED, se aplica un procedimiento de auditoría específico destinado a la optimización del comportamiento energético de los sistemas termoactivos, a través de la identificación de gastos de energía innecesarios y la ejecución de acciones correctivas para la mejora del confort térmico de los ocupantes.

Estructuras termoactivas, Inercia térmica, Fuentes de energía renovable, Sistemas de Gestión de Edificios, LEED Rating System, Eficiencia Energética, Confort Térmico.

1. INTRODUCTION

High-energy performance buildings represent case studies of particular complexity because of the integration of dynamic adaptation features and devices. In turn, technical installations are integrated with systems of energy production obtained from renewable sources. The use of passive heating and cooling resources, instead of active devices, is possible only if the buildings are carefully designed to make the building envelope, occupant needs and technical installation part of an integrated energy management system (Figure 1). The interaction with inertial energy storage devices, form and building construction, enables the implementation of efficiency strategies and partly respond to the possibilities offered by new materials, techniques and technologies [1].

Thermal mass has a major role: it can reduce indoor air temperature and load peaks. The temperature distribution within different materials varies with time, thermal properties and boundary conditions [2]. Thermally Activated Building Systems (TABS) are generally known as temperature control systems which actively incorporate the building mass into the climatization of buildings by slab-integrated circuits [3]. The key to taking the maximum advantage of TABS is to get control of their behavior, which depends on a wide number of

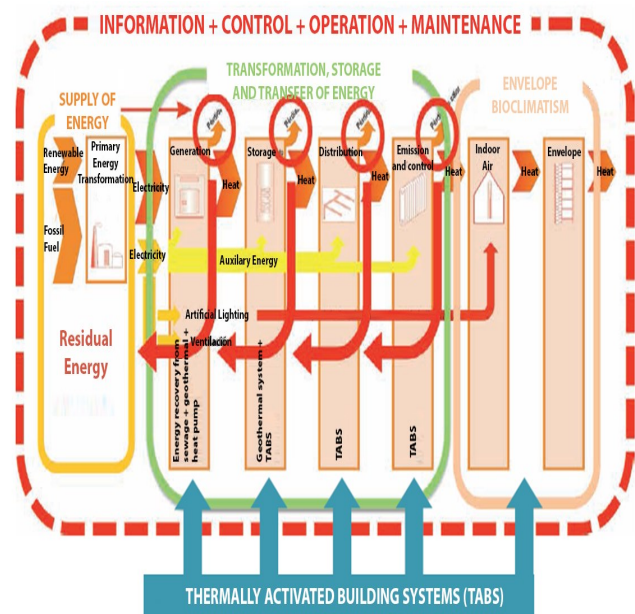


Figure 1: Thermally Activated Building Systems: Information, Control, Operation, Maintenance. The diagram illustrates the energy flow and control systems within a building, showing the integration of energy supply, transformation, storage, and transfer, and the role of TABS in the envelope bioclimatization process.

TABS operate at low temperatures, enabling efficient utilization of Renewable Energy Sources (RES). When low-grade energy production systems from RES, such as geothermal exchange systems, come into play with low demand architecture, this integration contributes to increasing the integral and projected efficiency over time. The energy

obtained from the recovery of heat from RES can be stored in the ground and transferred seasonally to the occupants of a building, through the structure, preferably by its horizontal elements, which are in direct contact with users.

TABS operation can be summed up in three phases [1]:

Recharge phase: inertial elements are energy-charged by hot or cold water which circulates through the heat exchangers integrated in the building structure. When the water flows through the tube system, it is able to cool or heat slabs, depending on its temperature. This process can be actively controlled by varying the water temperature, flow rate and exchange time.

Energy storage: Thermo-active slabs operate with a time lag between thermal energy generation and energy demand. Excessive daytime heat from solar exposure or internal gains from users and equipment are immediately converted into resources that are stored in slabs, improving the temperature of the building mass. This also increases the operating temperature of the room, although it is moderated by inertial mass.

Discharge phase: Climatization by using TABS is carried out via two effects that occur in parallel: 60% of the heat stored in the concrete mass is transferred by radiation to the room and 40% by convection [1]. Due to the considerable inertia of the system, the discharge occurs in a passive and partially active way in the radiant interaction between the slabs and the users.

Heating and cooling strategies with TABS require recharge management. Building Management Systems (BMS) collect data on their operation, as TABS are involved in an exchange process in which the operational optimization is the key to achieving energy efficiency.

The control of TABS performance throughout the day, basically consists of activating their self-regulation and adaptation. Depending on the use of the building, inertial response of materials and boundary stimulation, different control strategies can be considered for the management of these systems [1]:

Day-Night operation - In this case, thermo-active slabs are pre-charged during the night to heat (or cool), dissipating (or absorbing) heat throughout the day. TABS permit the building structure to store energy, enabling the separation between energy availability and use. In this way, thermal energy can be generated when costs are lower and/or efficiency is higher and then stored within the structure, which dissipates it when there is an energy demand for thermal comfort. As C.A. Balaras claims [2], the phenomena that take place during day

and night periods, differ significantly, depending on whether the mass material is being charged (temperature increase) or discharged (temperature decrease), respectively. This strategy is more applicable to offices and other buildings which are unoccupied during the night, so that the structure can be cooled with nighttime ventilation, in summer [4]. This management can be improved if weather forecasts and an estimate of the internal load status are implemented in the system and used as control strategies [5,6].

Continuous operation - Recharge of thermo-active slabs can be also continuous throughout the day and is regulated by water temperature changes in circuits, which transfer energy to the different zones of a building.

Control - Slabs are recharged, cooled or deactivated depending on the outside temperature conditions, room temperature or difference between the impulse and return water temperatures. Supply temperature, flow rate, and hydronic pump operating time are used as control parameters to make adjustments to the room temperature.

A comprehensive review of general information on TABS, TABS design, simulation and control strategies can be found in [7]. These control concepts are part of an integrated process, including the design phase, commissioning, and TABS optimization during operation. TABS can be adopted optionally to improve energy efficiency and thermal comfort, depending on the given requirements.

In principle, the mass flow and the supply-water temperature can be controlled by pumps and control valves for the loading and unloading of TABS. The supply-water temperature is typically controlled via a mixing valve over a return-water admixture. Its control may be a function of the outside temperature, usually via the average outside temperatures over a time range of several hours to days. Depending on the system technology and the hydraulic variant used, a binary signal (for example, on/off for a heat pump or control valves) may be available as a manipulated variable instead of controlling the supply-water temperature [3]. This type of control for TABS was presented in [9,10] and was investigated for different TABS configurations by using simulations and experiments [11,12,13,14]. Actually, return-water temperature sensors are usually located in the heating and cooling circuits of a building, because, in contrast to the supply-water temperature, the return-water temperature contains information about the energy transfer from the water to the slab and thus indirectly from the slab to the room. Furthermore, the difference between the supply and the return-water temperature can be used for controlling TABS. If this parameter, associated with TABS power, drops below a limit value, the TABS zone can be switched off in order to save pumping energy. The room temperature control can also be used as a supplementary strategy for supply-water

temperature control. If the room temperature goes below the setpoint room temperature for heating (or goes above the setpoint room temperature for cooling), the zone pump or valve receives the switching command "ON" with the maximum supply-water temperature [3].

BMS are designed to enable the control of a wide number of parameters and dynamic behavior strategies, affecting thermo-active structures operation, in combination with RES. Control systems make the building adapt itself to several conditions throughout the year and are oriented to the maximum comfort, energy efficiency and optimization of efficient production from RES.

In 2008 the 'International Organization for Standardization (ISO) developed the ISO 50001 – *Energy management system - Requirement with guidance for use*, as the future international normative about energy management. Since its publication in 2011, companies have been encouraged to conduct an energy audit regularly and comply with the requirements of the Energy Efficiency Directive 2012/27/EU, by implementing an Energy Management System (EMS). Its purpose is to encourage organizations to adopt a proper approach in achieving continual improvement of energy performance and proper use of energy resources, with the aim of energy efficiency and control of energy use and consumption. The structure of this approach is fundamentally based on the *Deming cycle* (continuous improvement), also known as the *Plan-Do-Check-Act* approach (planning, program implementation, check, action) [8]. This procedure includes planning and acting in accordance with mutual needs and targets. The audit role is strictly connected with the "check" phase. The "action" phase includes maintenance of buildings, which is a fundamental component of comprehensive, sustainable and energy efficient building operations.

Various sustainable building rating systems are established to express the degree of compliance with sustainability criteria, among the most meaningful aspects: rational use of resources, reducing energy consumption, use of RES, use of local materials, etc. Developed by the non-profit U.S. Green Building Council (USGBC), LEED includes a set of rating systems for the design, construction, operation, and maintenance of green buildings [15] aiming at assessing the strategies which optimize the relationship between buildings and their surrounding environment, while helping building owners and operators be environmentally responsible and use resources efficiently. The *LEED Green Building Rating System for Existing Buildings: Operations & Maintenance* is a set of performance standards for certifying the operations and maintenance of existing buildings of all sizes, both public and private [16]. The intent is to promote high-performance, healthful and durable in existing buildings. It breaks the certification process into seven sections organized in prerequisites and credits. LEED certification process is based on the allocation of points in

each category, by using specific practices, certain materials, construction methods, control strategies to measure overall performance in terms of occupant thermal comfort and energy efficiency. *Energy and Atmosphere (EA)* is a section which promotes the improvement of energy performances of buildings, the use of energy from RES or alternative sources, the control of energy performance of buildings. Energy metrics credits focus on measurement of building energy performance. The section called *Indoor Air Quality (IEQ)* deals with environmental concerns in relation to indoor air quality, affecting health, comfort, and energy consumption, the effectiveness of air changes and the control of air contamination. These credits also include methods of heating and cooling management, implementation of building commissioning and use of BMS for the optimization of building energy systems [16].

In [17], Lim et al. show guidelines for TABS optimization on the basis of a university building. The parameters are mostly optimized on the basis of experience during operation. Other methods to adjust and optimize the control of TABS operative parameters have been developed and can be found in [18]. It has been proven that an initial operation phase for TABS, over a period of one to two years, is usually necessary. During this period the parameterization of the operating strategy should be adjusted by experts during the operation of the building. In other cases, the setpoint parameters may need to be readjusted, simultaneously to the change of internal loads, for example, the occupation of rooms [3]. In this sense, A. Mirakhorli and B. Dong are investigating the implementation of occupancy models that may be helpful to predict thermal loads and thus improve thermal comfort [5,6].

In the next paragraphs, a methodology of energy audit and thermal comfort monitoring for an existent office building in Madrid (Spain) is defined, with a particular focus on TABS. In line with the standards pursued by the LEED Rating System, the methodology proposed aims at the monitoring, tracking, and optimization of TABS energy performance, with the identification of energy waste and improvement of thermal comfort.

2. THE ROLE OF TABS IN A HIGH-ENERGY OFFICE BUILDING IN MADRID, SPAIN

In this paper, a control approach for TABS is presented and analyzed within its practical application in an existing office building located in Madrid, at Calle Apolonio Morales, 29 (Figure 2). It represents a case of energy renovation of a building, promoted and executed by Fernandez Molina Obras y Servicios, and designed in its energy concept by Eneres, companies which are active in Madrid in the field of construction and sustainable energy systems. The goal was to

provide the building with all it needed to be efficient, through an integrated design approach which was the added-value that enabled the building to undergo the LEED certification process. The effort of maximizing structural and morphological characteristics, combining them with passive devices and renewable energy sources puts the office building located at calle Apolonio Morales, 29 on track to achieve an optimal LEED Platinum rating, which is the maximum rating.

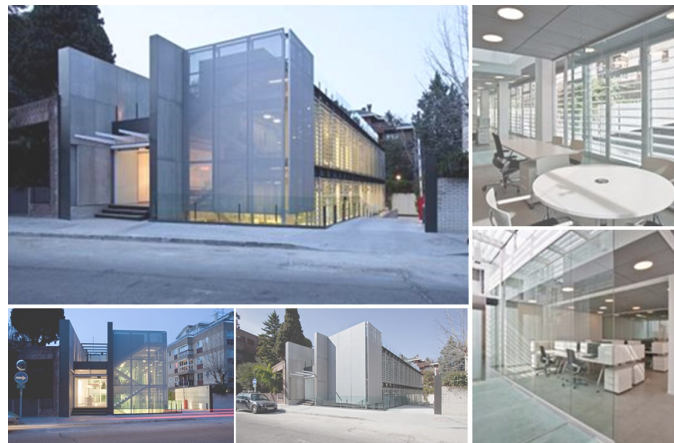


Figure 2: Apolonio Morales 29, Madrid. Source: Amparo Garrido, Eneres S.L.

2.1. Integration: Passive and Active Systems

The HVAC system combines both active and passive utilization of solar and geothermal energy and uses inertial and instant devices simultaneously to transmit energy to the indoor environment, under the control of an integrated system of sensors and the "smart" management of a control system.

A correct orientation of the building allows the capturing of energy from solar radiation, following major sustainability criteria. The building location, orientation and inertial capability of the ground were taken advantage of. The building includes several passive technologies for the control of solar radiation and radiation losses, such as low-emissivity glass with high thermal and acoustic insulation and extruded aluminum mobile slats, which act as an anti-radiation barrier.

Appropriate integration of inertial elements in combination with Geothermal Heat Pumps (GHP) and Air Handling Units (AHU), under a BMS, provide a high degree of adaptation of the building operation, energy saving and dynamic interactivity with users, while improving the quality of the indoor thermal environment and reducing operating costs. Concrete Core Activation (CCA) of the original horizontal structure aimed at exploiting thermal inertial properties of materials and their storage capability, in combination with low-grade thermal energy sources. Concrete structures such as piles, foundation slabs, etc. are used to absorb geothermal energy from the ground and the groundwater. In Madrid, a soil temperature of approximately 15°C is considered, which is constant at a certain depth throughout the year. The energy is absorbed and transported to the building services center by

means of fluid-filled pipe systems incorporated inside the foundation elements. This system allows contrasting the average building demand both in cooling and heating.

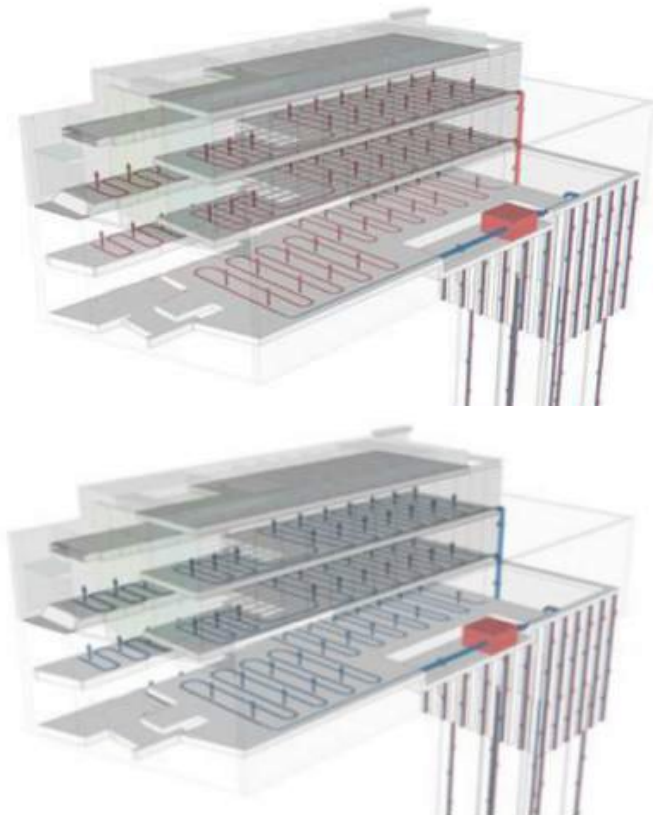


Figure 3: Thermally Activated Building System. Heating and cooling system. Apolonio Morales 29, Madrid.

Figure 3 shows the primary thermal production system for heating and cooling. It is based on two Geothermal Heat Pumps (GHP), allowing heat exchange with the ground (geothermal system), taking advantage of the stability of its temperatures throughout the year. The heat pumps extract heat from the subsoil and transmit it from the construction elements of the foundation to the primary circuit.

The original horizontal structure, including a compression layer of 5 cm, was activated with water circulation circuits and an additional concrete mass of 7 cm to obtain an activated mass of around 280 kg/m² (Figure 4).

In support of the primary production system using GHP, an Air Handling Unit (AHU) is installed on the roof of the building and is equipped with heat recovery and free cooling section. Auxiliary systems have the role to rapidly contrast, demand peaks generated while meeting the thermal comfort requirements in particular conditions of internal gains and external temperature fluctuations.

Besides this, the installation of solar cell panels, located on the roof, enables taking advantage of solar radiation in winter, since it allows the preheating of the air coming into the AHU.

2.2. Information: operative parameters and monitoring



Figure 4: Concrete Core Activation. Apolonio Morales 29, Madrid. Source: IEI Instituto Europeo de Innovación.

The parameters characterizing TABS design and operation in the building located at calle Apolonio Morales 29 are as shown in Table 1 below:

Winter Heating mode	
Surface floor temperature	29°C
Room temperature	21°C
Fluid-temperature range	5°C
Maximum supply temperature	49°C
Normalized power for heating	75 W/m ²
Summer Cooling mode	
Surface floor temperature	20°C
Room temperature	25°C
Fluid-temperature range	2°C
Minimum supply temperature	18°C
Normalized power for cooling	42 W/m ²

Table 1: TABS operative parameters. Apolonio Morales 29, Madrid (Spain).

An integrated system of sensors and devices managed by a control computer system, also called “Building Manage System” (BMS), administers these parameters. It controls the interaction between passive systems and active devices, including TABS.

The control system analyzes real-time parameters: internal and external temperature, concrete-slab temperature, indoor and outdoor relative humidity, wind speed, exterior lighting, etc. External parameters affect the thermal behavior of the building, as well as the control of the operative strategies. They are monitored by a set of sensors, listed in Table 2 below.

Sensors	Units	Parameters	Measurement Unit	Position
Combined Outside Air Humidity Temperature Sensor	1	Outdoor Air Temperature	°C	Roof
		Outside Relative Humidity	%	Roof
Pressure Transmitter	1	Atmosphere Pressure	Pa	Roof
Solar Sensor	3	Solar Radiation	W/m ²	Roof
				East Façade (Ground Floor)
				East Façade (First Floor)
Rain Detector	1	Rain	0/1	Roof
Wind speed sensor	1	Wind Speed	m/s	Roof
Luxmeter	2	Lighting	lux	East Façade (Ground Floor)
				East Façade (First Floor)

Table 2: External sensors. Apolonio Morales 29, Madrid (Spain), Control System.

Figure 5 shows the outside temperature and humidity sensor installed on the roof. Room and floor temperatures are measured by two sensors per floor (Figure 6-7), that are connected to the control system.



Figure 5: Honeywell - H7508A1042 - Outside Air Humidity Sensor. Apolonio Morales 29, Madrid, Control System. Source: Self-elaboration.



Figure 6: Honeywell - H7012B - Humidity and Temperature Room Sensors. Apolonio Morales 29, Madrid, Control System. Source: Self-elaboration.



Figure 7: Honeywell - T7413A1041 - Immersion Temperature Sensor. Apolonio Morales 29, Madrid, Control System. Source: Self-elaboration.

Additionally, the control system is able to provide information about the opening state of the shut-off valves, shown in Figure 8, that adjust the flow rate of the supply and return water in radiant circuits, depending on the setpoint programmed on each floor.

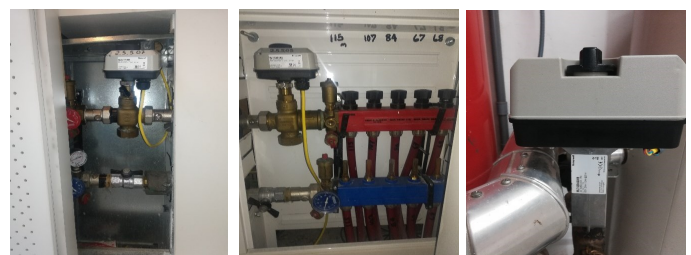


Figure 8: Honeywell - ML7420A - Electric Linear Valve Actuator. Apolonio Morales 29, Madrid, Control System. Source: Self-elaboration.

The number of units, operative parameters and position of the internal sensors and devices which control the TABS operation are listed in Table 3.

In addition, a number of immersion temperature sensors (Figure 9-10) measures supply- and return-water temperatures in pipes and ducts. All the sensors and devices installed in the machine room, affecting the TABS operation, are listed in Table 4.

Finally, three energy meters are installed at the energy consumer system level (final use) to discriminate between

Sensors/ Devices	Units	Parameters	Measurement Unit	Position
Humidity and Temperature Room Sensors	6	Room Temperature	°C	Semi-basement Floor (2 units)
		Internal Relative Humidity	%	Ground Floor (2 units)
				First Floor (2 units)
Immersion Temperature Sensor	6	Concrete Slab Temperature	°C	Semi-basement Floor (2 units)
				Ground Floor (2 units)
				First Floor (2 units)
Electric Linear Valve Actuator	4	Opening of shut-off valves	%	Semi-basement Floor (2 units)
				Ground Floor (1 unit)
				First Floor (1 unit)

Table 3: Internal sensors and devices. Apolonio Morales 29, Madrid (Spain), Control System.

HVAC, lighting and general consumption. The parameters monitored can be found in Table 5.

Sensors/ Devices	Units	Parameters	Measurement Unit	Position
Three-phase power analyzer	1	HVAC Active, Apparent, Inductive, Conductive, Reactive Electrical Energy	kWh	Utility Room
		HVAC Active, Apparent, Inductive, Conductive, Reactive Electrical Power	kW	
	1	Lighting Active, Apparent, Inductive, Conductive, Reactive Electrical Energy	kWh	Utility Room
		Lighting Active, Apparent, Inductive, Conductive, Reactive Electrical Power	kW	
	1	General Active, Apparent, Inductive, Conductive, Reactive Electrical Energy	kWh	Utility Room
		General Active, Apparent, Inductive, Conductive, Reactive Electrical Power	kW	

Table 5: Energy consumption devices, Apolonio Morales 29, Madrid (Spain), Control System.



Figure 10: MAMAC SYSTEMS - TE-703-B-17-B-2 - Pipe Temperature Sensors. Apolonio Morales 29, Madrid, Control System. Source: Self-elaboration.

2.3. Control: operation strategies

The openness and versatility of the BMS have allowed the implementation of a multitude of devices and systems of different natures. The control system was designed to control a wide number of combined strategies and scenarios, enabling the building to adapt itself to several conditions throughout the year. The aim is optimal comfort, the efficient use of energy sources and optimization of energy consumption and production from renewable sources. The implementation of the BMS enables taking control of the large thermal capacity of TABS and shift their operation to the time periods when energy production is most efficient and/or cost-effective.

Sensors/ Devices	Units	Parameters	Measurement Unit	Position
Pipe Temperature Sensors	10	Supply and return water temperature in collectors, heat pumps and radiant floor circuit	°C	Machinery Room
Electric Linear Valve Actuator	2	Opening of 3-way valves	%	Machinery Room
Geothermal Heat Pump	2	Operational status	0/1	Machinery Room
Hydronic Double Pump	5 (x 2)	Operational status	0/1	Machinery Room

Table 4: Machine Room sensors and devices. Control System, Apolonio Morales 29, Madrid (Spain).

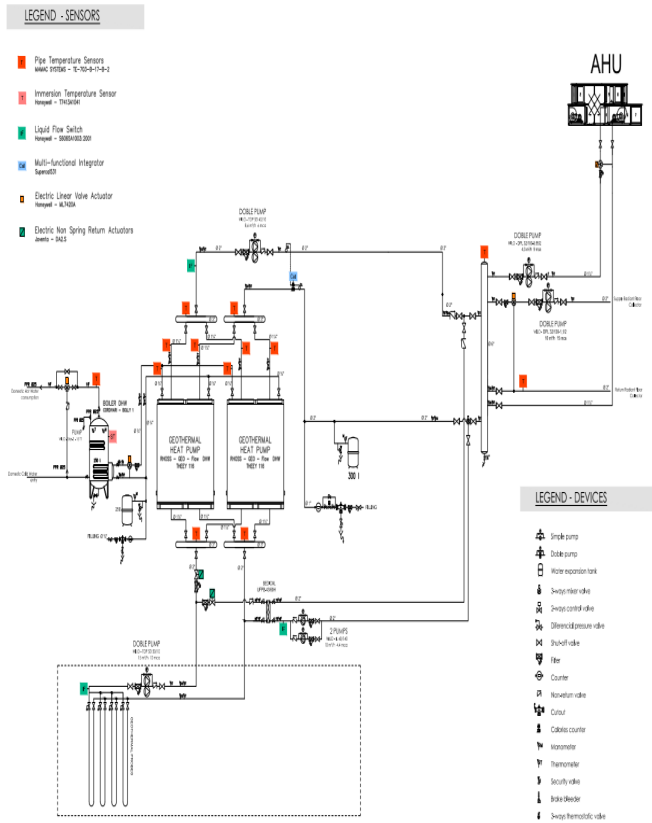


Figure 9: Apolonio Morales 29, Madrid. HVAC scheme and sensors. Source: Self-

Floors serve as radiant elements during the day and accumulators during the night. This helps to avoid load peaks during the morning and reducing consumption costs (the “overnight operation” is used to take advantage of the reduced night rate for electricity). In summer, during nighttime periods, GHP work for cooling slabs so that the building is pre-cooled for the next day. In winter, during the night, GHP run to keep heat in the floors and prevent activation peaks in the morning. This strategy takes advantage of the inertia of the building structure at night to maximize the benefits of the

geothermal exchange system. In this way, thermal energy is produced when costs are lower (electric night rate). Then energy is stored within the structure, which dissipates it whenever there is an energy demand.

Each floor is characterized by different thermal demand, due to different thermal insulation conditions, orientation and sun exposure. Hence, the heating and cooling strategies are controlled by two setpoint values per floor: one for the day, the other for the night (“PC Día” and “PC Noche” in Figure 11). Their application depends on the time scheduled shown in Figure 12, which is programmed in the control system interface: the yellow bars correspond to the activation of the daytime setpoint, the green ones here show when the night setpoint (“PC Noche”) is applied. The “PC Actual” in Figure 11 is calculated depending on the timetable mentioned above: during the night (from 12:00 a.m. to 07:00 a.m.), the setpoint temperature is calculated with a linear interpolation between two outside temperature values, as displayed in Figure 11 (the graph named “CALOR” is used in winter, the other, “FRIO”, in summer). In the same figure it is possible to observe that in winter (heating mode), the night setpoint is higher than the daytime one, on the contrary it is lower in summer (cooling mode). In winter, during the night, TABS work with a higher setpoint to hold heat in floors and avoid ignition peaks during the morning; in summer, during the night, the setpoint is lower to pre-cool floors.

During the *winter period* (“MODO CALOR”, heating mode) the heating operation is described as follows:

1. if the room temperature value, calculated from the average of the temperatures measured on each floor (Figure 13) goes below the relevant setpoint room temperature (“PC Actual” in Figure 11), the corresponding shut-off valve (displayed in Figure 14) opens, and one of the hydronic pumps associated with the primary loop runs; hence, one of the heat pumps receives the signal “ON”;

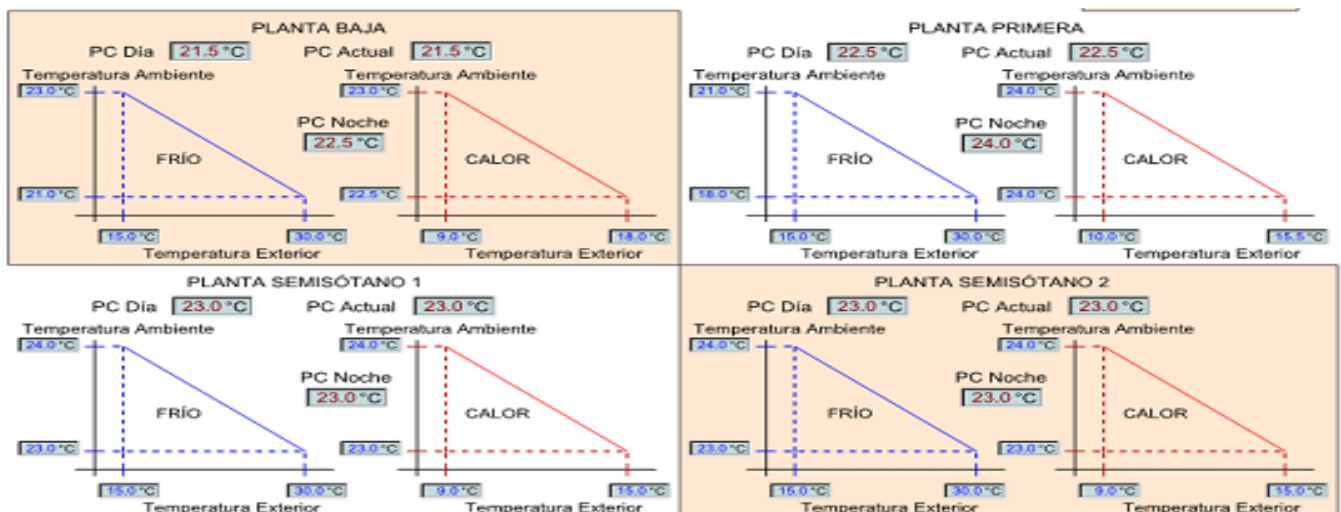


Figure 11: Radiant Floor Setpoint Manager, Control System interface, Air Temperature Control. Source: Apolonio Morales 29, Madrid, Control System, *Building Operation WorkStation (1.4.1.73)*.

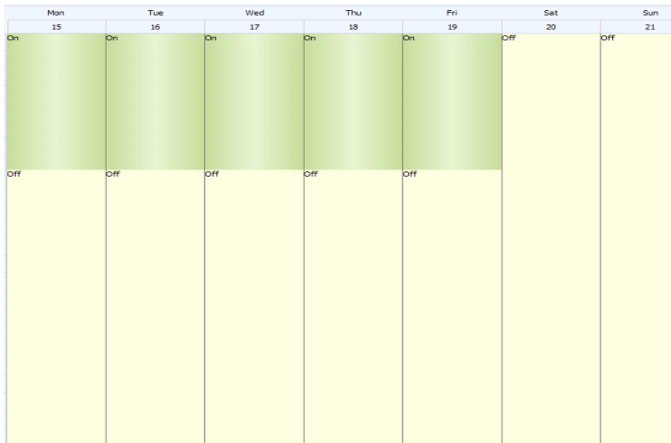


Figure 12: Radiant floor Setpoint Manager | Hourly Schedule. Source: Apolonio Morales 29, Madrid, Control System, *Building Operation WorkStation (1.4.1.73)*.

- 2. if the temperature measured in the return loop goes below the relevant setpoint return-fluid temperature ("PC Activo Calor", in Figure 16, which coincides with "PC Calculado" + 1 in Figure 15), the compressor in the heat pumps runs for heating; such setpoint is associated with the fluid temperature in the return loop ("Temp. Retorno", marked with green arrows in Figure 16).
- 3. if the fluid temperature in the main collector takes a long time to attain its setpoint temperature value ("PC Calculado" in Figure 15), the second heat pump runs;

4. if both heat pumps are working, the second hydronic pump runs too, increasing the flow rate in the loop.

In summer ("MODO FRÍO", cooling mode) the following process is applied for cooling:

- 1. if the temperature value, calculated from the average of temperatures measured on each floor (Figure 13) goes above the relevant setpoint temperature value ("PC Actual" in Figure 13), the corresponding shut-off valve (Figure 14) opens and one of the hydronic pumps associated with the primary loop runs; hence, one of the heat pumps receives the signal;
- 2. if the temperature measured in the return loop goes above the relevant setpoint return-fluid temperature ("PC Activo Frio", in Figure 16, which coincides with "PC Calculado" - 1 in Figure 15), the compressor in the heat pumps runs for cooling; such setpoint is associated with the fluid temperature in the return loop ("Temp. Retorno", marked with green arrows in Figure 16).
- 3. if the fluid temperature in the main collector takes a long time to attain its setpoint temperature value ("PC Calculado" in Figure 15), the second heat pump runs;
- 4. If both heat pumps are working, the second hydronic pump runs too, increasing the flow rate in the loop.

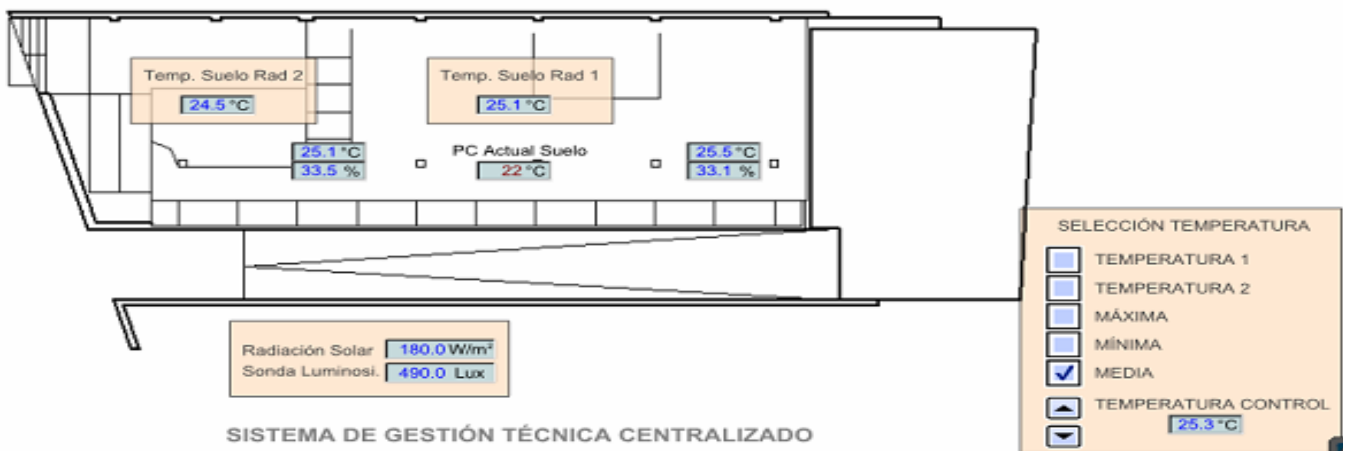


Figure 13: Ground Floor, Control System interface. Source: Apolonio Morales 29, Madrid, Control System, *Building Operation WorkStation (1.4.1.73)*.

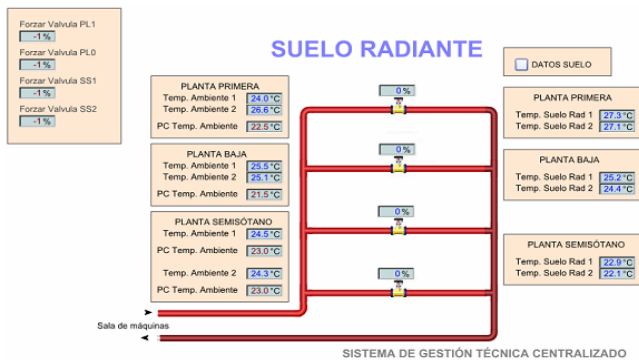


Figure 14: Radiant floor valves, Control System interface. Source: Apolonio Morales 29, Madrid, Control System, *Building Operation WorkStation (1.4.1.73)*.

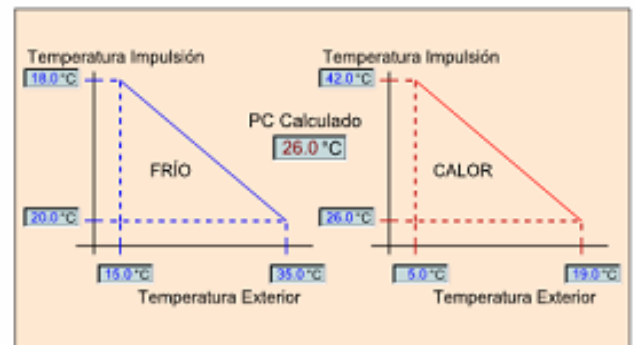


Figure 15: Heated floor Setpoint Manager: Supply Temperature Control, Control System interface. Source: Apolonio Morales 29, Madrid, Control System, *Building Operation WorkStation (1.4.1.73)*.

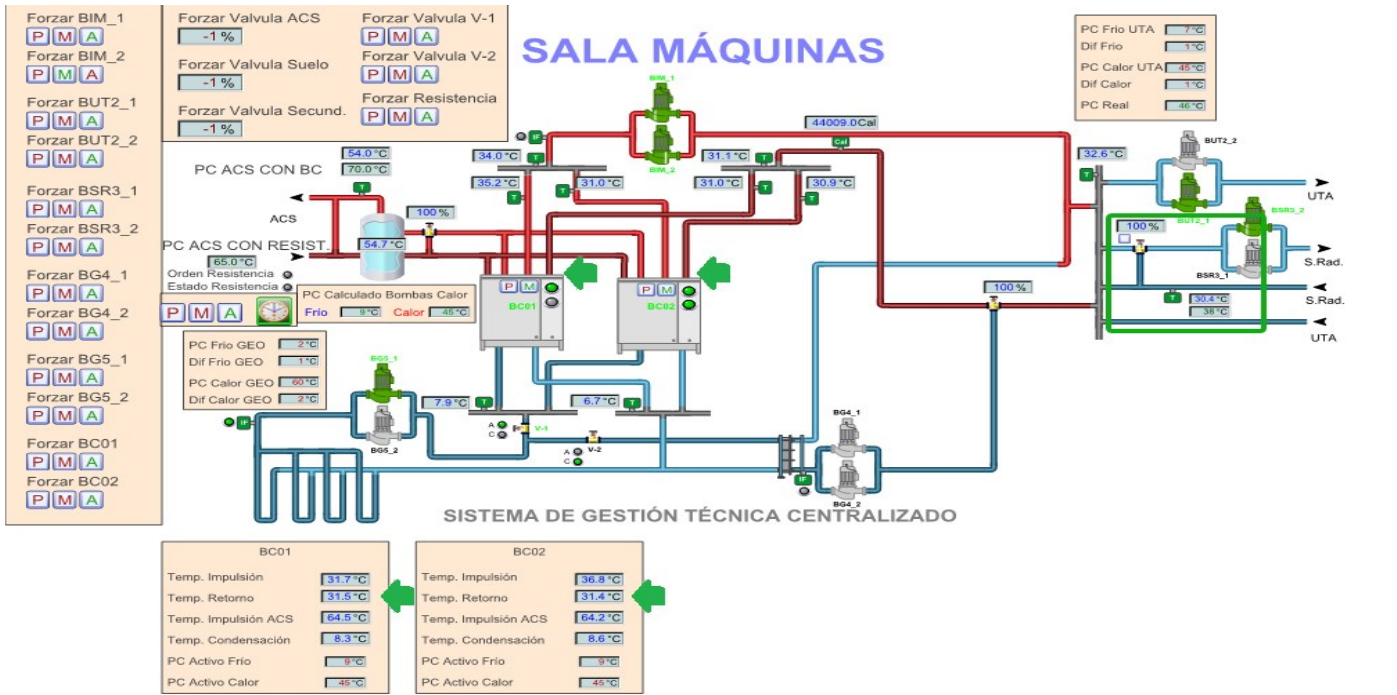


Figure 16: HVAL System Scheme, Control System interface.
Source: Apolonio Morales 29, Madrid, Control System, *Building Operation WorkStation (1.4.1.73)*.

The “PC Calculado” setpoint value (in Figure 15) affects the water temperature in a particular node of the plant loop – under the main collector – as marked in the green square in Figure 16. In contrast to the supply-water temperature, the return-water temperature contains information about the energy transfer from the water to the slab and thus indirectly from the slab to the room. For this reason, return-water temperature sensors are located in the heating and cooling circuit. The supply-water temperature is controlled via the mixing valve, shown in the same square. The role of this valve is to adjust the temperature in the radiant floor circuits, depending on the external temperatures. Indeed, the supply-water temperature in loops is obtained with a linear interpolation between the higher outdoor temperature and the lower one, according to the rule displayed in Figure 15. The heat pumps usually perform in an alternating way. When one of them is no longer capable of satisfying the demands, they run together. This type of operation is controlled based on a PID (Proportional-Integral-Derivative) controller, a control loop feedback mechanism, requiring continuously modulated control (it is calculated with a mathematical algorithm related to k-proportional, k-integral, k-derivative values, which are in turn adjustable).

The operational arrangements, as described above, will be more understandable in the analysis of the graphs set and generated by the BMS software, that are used in the monitoring phase (see paragraph 2.4 below).

2.4. Follow-up: report capabilities

The BMS enables the monitoring of operative parameters and the management of setpoints via a control interface. In line with the targets pursued by the LEED Rating System, a proper audit and maintenance procedure is applied, aiming at monitoring, optimizing and improving the building’s energy performance. This paper provides a specific focus on those aspects which characterize TABS operation and management. Indeed, the approach follows a well-defined process included in a comprehensive project, which also considers key stakeholders and valuable experience feedback [16].

The reporting capabilities of the control system include all facets of the building HVAC system. Reporting includes current weather conditions (temperature, humidity, solar radiation, solar lighting, atmospheric pressure, wind speed), alarms, heating/cooling system operational status (heat pump and pump status, supply/return temperatures, energy consumption), supply/exhaust fan status, floor-by-floor plans with thermostat sensor readings, AHU operational status (fan speed, temperatures, static pressure, damper position), etc

Conductive maintenance generally includes sensory inspections, reading parameters in the control system, reading parameters on-site (with local instrumentation), effective measurements and simple tasks for first level maintenance [20]. In practice, these tasks have been translated into a systematic protocol that includes:

- ◆ motoring of energy consumption;
- ◆ monitoring and storage of trend logs and trend charts through the control system interface;
- ◆ recording of events and detection of anomalies;

- ◆ measuring of comfort parameters;
- ◆ checking of the existence of alarm signals registered by the system, through its communication interface;
- ◆ adjusting operations and proposals aimed at improving the energy performance of the building and guaranteeing users' comfort;
- ◆ annotation of results, events, operation and adjustment in a daily register;
- ◆ building energy simulations;

The control system collects data and records it in a database. Through its interface, it allows the consultation of historical and real-time data. The energy manager can analyze it to draw conclusions and assess strategies already implanted, as well as to improve building management or the system itself. The control interface is provided by *Building Operation WorkStation (1.4.1.73)* software. This software enables reading real-time parameters thanks to a certain number of custom displays. Additionally, it allows the creation of "Trend Log Lists" and "Trend charts", that are required to be programmed, for reading historical data and assessing parameter time trends:

"Trend Log Lists" have been programmed with a 10-minute reporting interval for each parameter.

"Trend charts" have been programmed in order to combine and compare different parameters with the relevant setpoints.

The performance of each active and passive system of the building is described by the relevant chart, created by combining parameters characterized by mutual influence or connected by cause-and-effect relationships. They are updated in real time and are used for monitoring and checking the correct operational status of the systems and sensors, while analyzing the relationships between

parameters.

The most relevant data collected by the BMS is transferred by its acquisition interface. Logs, as well as annual, monthly, weekly, daily and hourly charts, can be viewed and downloaded at any time. Data can be organized and managed in specific spreadsheets, removing irrelevant values, in order to filter data ("Data filtering") [19]. The company is provided with an archiving system to archive monthly engineering logs on installed points. Charts are archived and analyzed weekly and monthly, comparing them with specific events or operations that are recorded in a dedicated register. The analysis of these charts enables action to be taken quickly, as well as faults to be identified and corrected, in response to thermo-higrometrical conditions, occupant comfort and consumption.

2.4.1 Energy consumption

Among the LEED credits, EA Credit 3.2- *Performance Measurement—System-Level Metering* (2 points) aims to provide a tool to acquire accurate energy-use information, to support energy management and to identify opportunities for additional energy-saving improvements. Metering must be continuous and data logged to allow for an analysis of time trends. It can be used to establish energy use baselines, which allow the monitoring and tracking of energy efficiency from improvements and upgrades over time [16]. Electrical energy and power consumption evolution of HVAC systems are analyzed annually, monthly and weekly, in order to assess the efficiency of TABS operation strategy and identify abnormal peaks or energy waste.

The graph in Figure 17, generated by the software, shows the evolution of HVAC energy consumed weekly, throughout the year, which in turn enables awareness of peak consumption periods, linking them to specific events or operations.

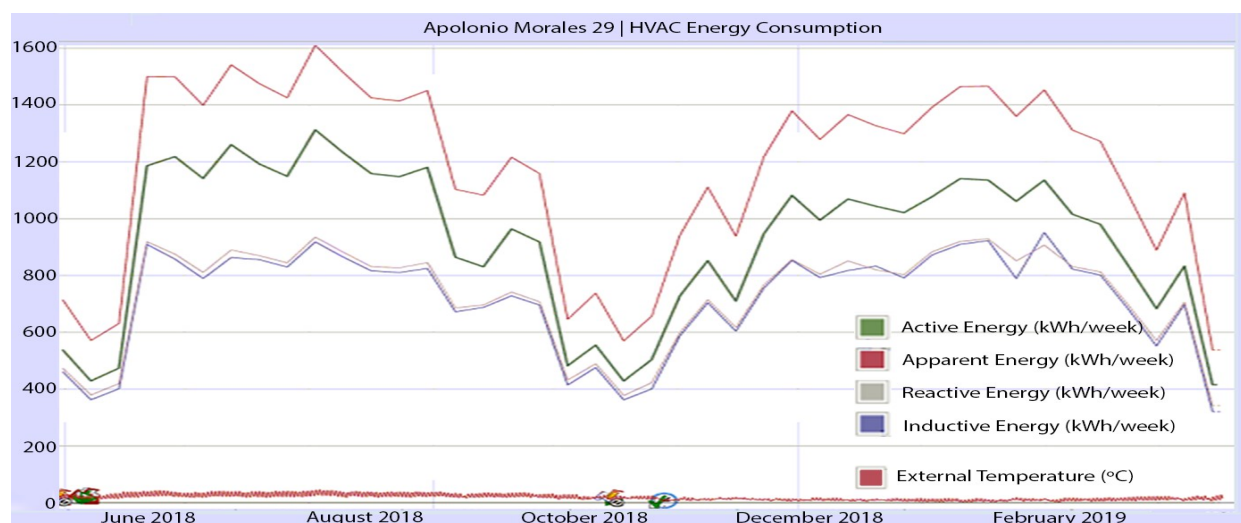


Figure 17: Energy consumption in HVAC. Period: June 2018 – March 2019. Source: Apolonio Morales 29, Madrid, Control System, Building Operation WorkStation (1.4.1.73). Self-elaboration.

Figures 18-19 depict some graphs which shows the external temperature (understood as “energy driver”), while analyzing the mutual effects between the operational status of the heat pumps [on/off], HVAC energy consumption by hours [kWh/h] and fluid temperature variation [°C] in the geothermal loop (source side) and the primary heating and cooling loop (building side).

According to a cause-and-effect relationship, it is possible to observe that the effects of the operational state of GHP, are reflected on energy consumption and on the fluid temperature in the geothermal loop. This last temperature decreases as the energy consumption increases: when heat pumps run, they

heat from the ground, reducing the fluid temperature in the geothermal loop. On the other hand, when there is no demand and the building does not need to be heated, fluid in the borehole heat exchangers, that are in contact with the ground, gets warmer. The phenomenon described above is reversed in summer: supply-water temperature in the geothermal loop increases in proportion to energy consumption for cooling. It means that when heat pumps run for reducing fluid temperature in the primary loop, they discharge heat to the ground (Figure 19).

The basis used for the energy analysis includes energy meters

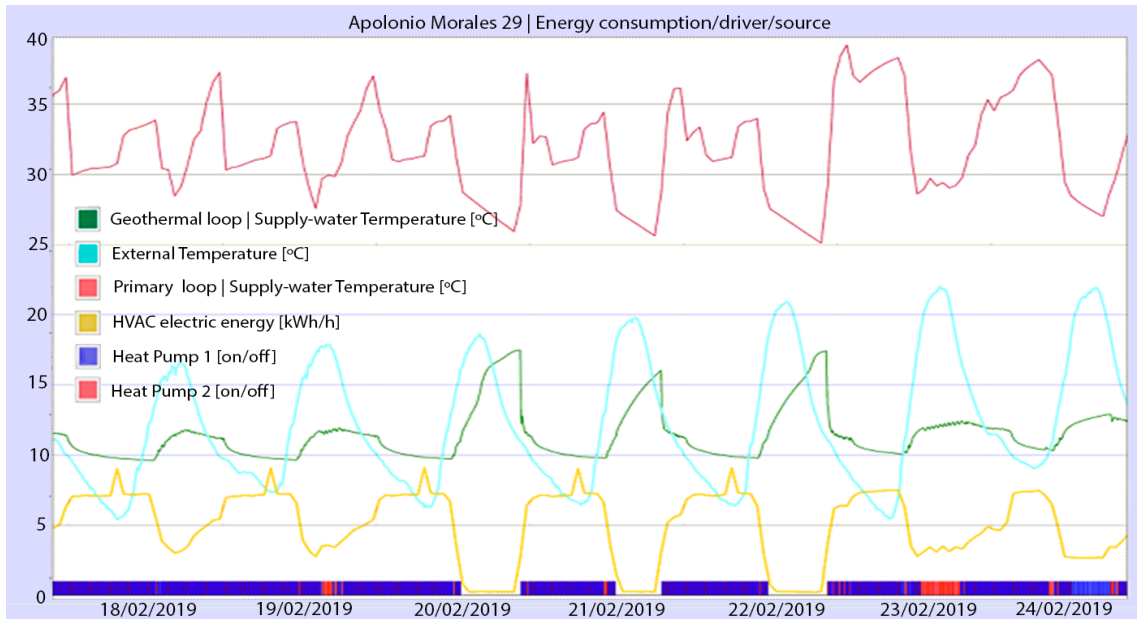


Figure 18: Energy consumption/driver/source control. Heating mode | Period: Monday, February 18, 2019 – Sunday, February 24, 2019. Source: Apolonio Morales 29, Madrid, Control System, *Building Operation WorkStation (1.4.1.73)*. Self-elaboration.

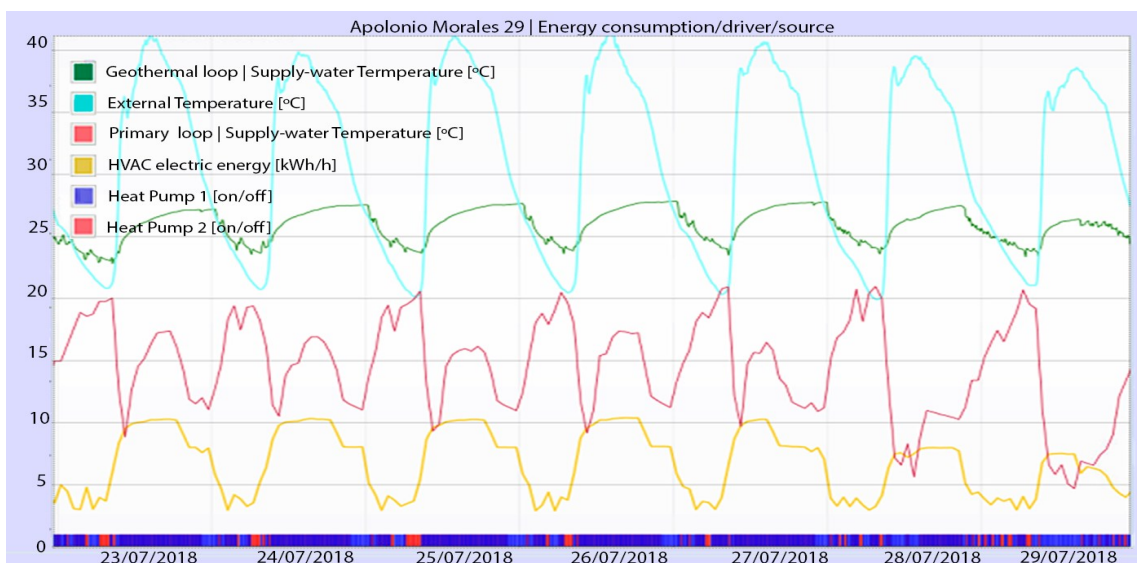


Figure 19: Energy consumption/driver/source/generation. Monday, July 23, 2018 – Sunday, July 29, 2018. Source: Apolonio Morales 29, Madrid, Control System, *Building Operation WorkStation (1.4.1.73)*. Self-elaboration.

(CVM MINI - Three Phase Power Analyzers). Moreover, energy bills are analyzed for the estimation of costs (€/kWh) for heating and cooling, over the year.

2.4.2. Thermal comfort

IEQ Credit 2.3. Occupant Comfort—Thermal Comfort Monitoring (1 point) aims to support the appropriate operations and maintenance of buildings and building systems so that they continue to meet target building performance goals over the long term and provide a comfortable thermal environment that supports the productivity and well-being of the building occupants [16]. The human body is considered a further load within a system whose primary objective is to maintain a homogeneous thermal environment inside the building envelope [21]. The requirements include the provision of a monitoring system to ensure ongoing building performance to the desired comfort criteria as determined by ASHRAE Standard 55-2004, *Thermal Comfort Conditions for Human Occupancy* [22]. Continuous monitoring of, at least, air temperature and humidity in occupied spaces, is required by the LEED Reference Guide [16], with a sampling interval that cannot exceed 15 minutes [16].

The graph in Figure 20, generated by the software, shows the time trend of the thermal comfort parameters (room temperature and relative humidity) on the first floor of the building. This graph confirms the statement that TABS are able to ensure uniform temperatures, thanks to their storage capability. The monitoring of thermal comfort parameters enables checking that the acceptable comfort ranges are normally respected.

Additionally, IEQ Credit 2.3 requires the provision of alarms for conditions that require system adjustments or repair. The control system enables the creation of an alarm system for any monitored parameter. With reference to the topic of thermal and hygrometric comfort, the set of alarms emit a warning

when the parameters of temperature and humidity are outside the acceptable ranges shown in Table 6:

In the case of observing the presence of any alarm, the

	Winter	Summer
Room Temperature	21°C – 23°C	23°C – 25°C
Internal Relative Humidity	30% – 55%	40% – 65%
Floor-surface temperature	23°C – 29°C	18°C – 23°C

Table 6: Thermo-hygrometrical comfort conditions, Apolonio Morales 29, Madrid (Spain), Control System.

equipment or the component emitting that alarm signal is checked, thus it is necessary to act in order to take the appropriate measures. The results of previous interventions are annotated in the daily register. Once the alarm situations have been solved, the energy manager or maintenance technician carries out the tasks of preventive maintenance, scheduled according to the protocols [23].

The graphs shown in Figures 21-22 represent the graphical transposition of the above-described overnight operation strategy. In Figure 21 the blue curve charts represent the variation of room temperature on the ground floor, throughout a winter week from November 26 to December 2, 2018. In Figure 22 the blue curve charts represent the variation of room temperature on the same floor, throughout a summer week from July 23 to 29, 2018. The red curve represents the time trend of the setpoint room temperature (“PC Actual”), for the ground floor, in winter (Figure 21) and in summer (Figure 22). It is constant during the day and variable during the night, depending on the external temperature (according to the linear dependence depicted in Figure 11).

These graphs show that in winter mode, during the first hours

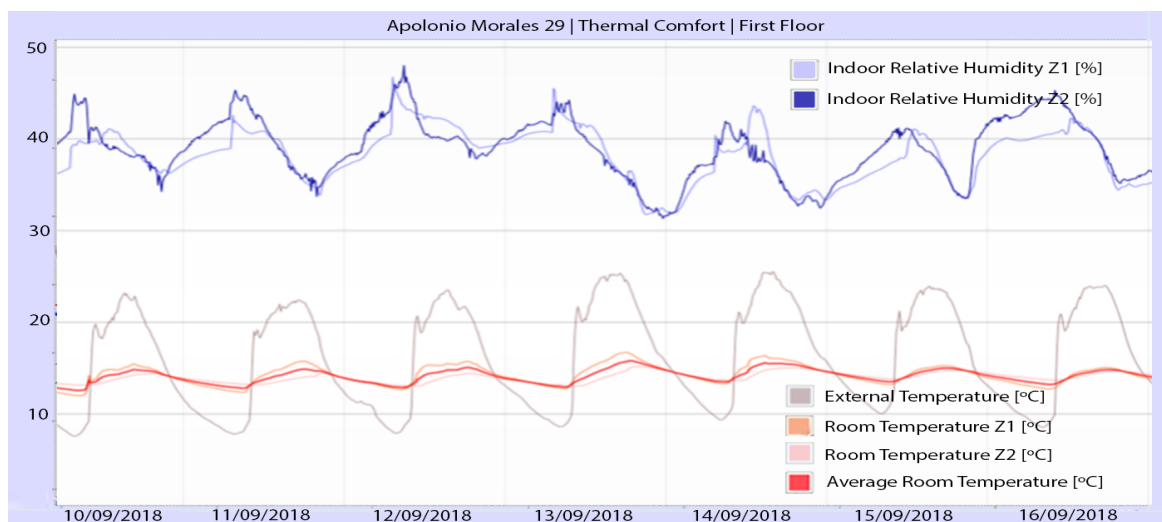


Figure 20: Thermal comfort control | First Floor. Period: Monday, September 10, 2018 – Sunday, September 16, 2018. Source: Apolonio Morales 29, Madrid, Control System, *Building Operation WorkStation (1.4.1.73)*. Self-elaboration.

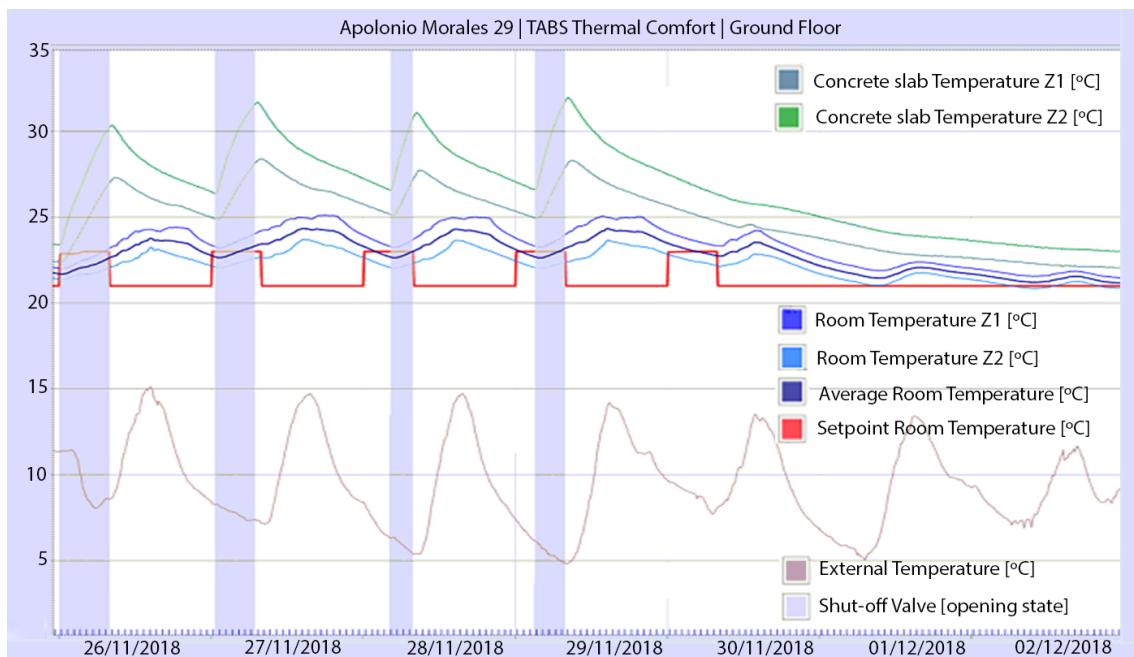


Figure 21: Room Temperature Control | Ground Floor. Heating mode | Period: Monday, November 26, 2018 – Sunday, December 2, 2018. Source: Apolonio Morales 29, Madrid, Control System, *Building Operation WorkStation (1.4.1.73)*. Self-elaboration.

of the day, TABS work with a higher setpoint to hold heat in floors and avoid ignition peaks during the morning. In summer, during the night, the setpoint is lower for pre-cooling floors. If the average room temperature value (blue curve) goes below (in winter) or above (in summer) the relevant setpoint room temperature (red curve), the shut-off valve opens (grey bars) to enable the circulation of water for (pre-)heating or (pre-)cooling floors. For the length of time during which the valve is open, floor temperature increases (or decreases) gradually and then the floors dissipate heat (in winter) or recharge (in summer) according to a time lag, characteristic of the inertial mass. The green curves show the temperature trend of the

floor slabs, measured in two points per floor: it is possible to distinguish the recharge and discharge phases, which coincide with the opening and closing of the valves (grey bars).

Those charts represent the main tool to check the smooth operation of TABS and its effectiveness, translating into energy consumption and thermal comfort terms. Corrective measures for TABS also integrate key stakeholders, users and valuable experience feedback. It enables the execution of the following adjustment operations, in response to any problems identified in thermal conditions by monitoring graphics or thanks to occupant feedback:

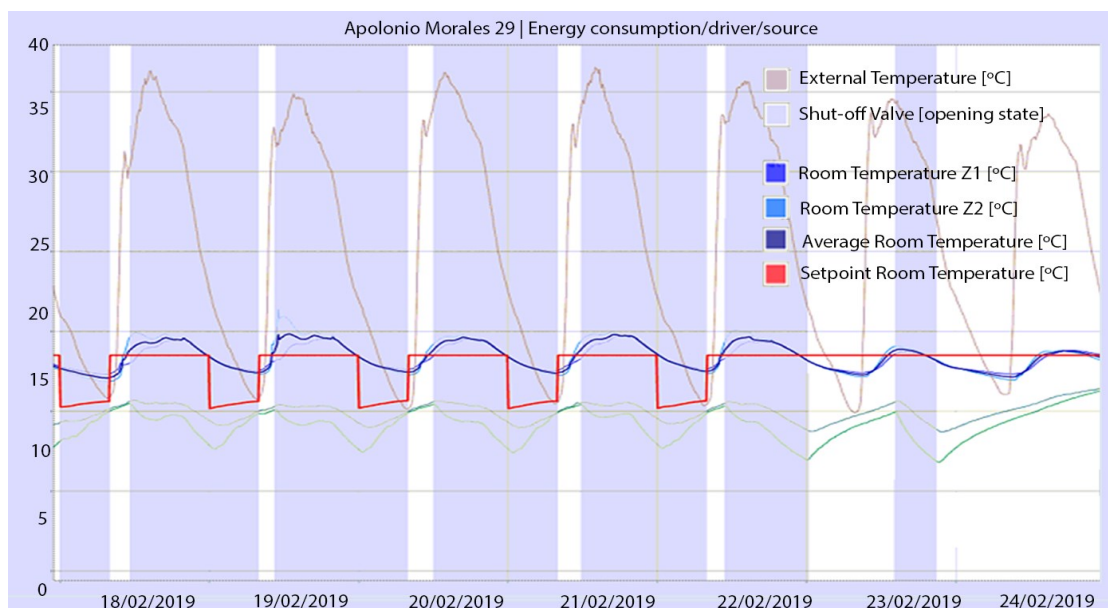


Figure 22: Room Temperature Control | Ground Floor. Cooling mode | Period: Monday, July 23, 2018 – Sunday, July 29, 2018. Source: Apolonio Morales 29, Madrid, Control System, *Building Operation WorkStation (1.4.1.73)*. Self-elaboration.

- manual switching between heating and cooling;
- forced opening or closing of valves;
- modulation of setpoint values, that affect:

Oroom temperature;

Osupply-water temperature (in radiant floor circuits or primary loop);

changes to the time scheduled for TABS operation (day and night setpoints).

2.5. Corrective action

This paragraph provides a practical demonstration of how all the strategies, sensors, parameters, tools and graphs described in this paper are used to track TABS behavior and assess their effects on thermal comfort and energy consumption.

Figure 23 represents a case of setpoint adjustments that were executed during the winter period, precisely on January 15, 2019. A lower external temperature during the weekend provoked cold thermal discomfort in users, which was solved by tuning the relevant “day setpoint” from 22°C to 24°C.

In this case, the graph shows how the heating operation went from an “overnight heating strategy” to a “24-hour heating strategy”. The control valve was open 100% of the time to ensure thermal comfort during the colder period.

The effects of the corrective measures on energy consumption are evident in Figure 24. The increment of the “day setpoint” to improve thermal comfort converts to an increase in energy consumption. After the adjustment, the electrical energy consumed by the heat pumps [kWh/h] generally remains

constant over the time, with a few peaks that coincide with the first hours of the morning, when demand is greater. An isolated case took place on January 16, between 3:00 p.m. and 7:00 p.m. It is evident that, during these hours, there was no thermal energy demand in the building, hence all zone valves were closed, and energy consumption was almost zero. Another solution might have been to increase the setpoint supply-fluid temperature. Thus, water temperature in circuits would have increased reducing the operating time of the heat pumps.

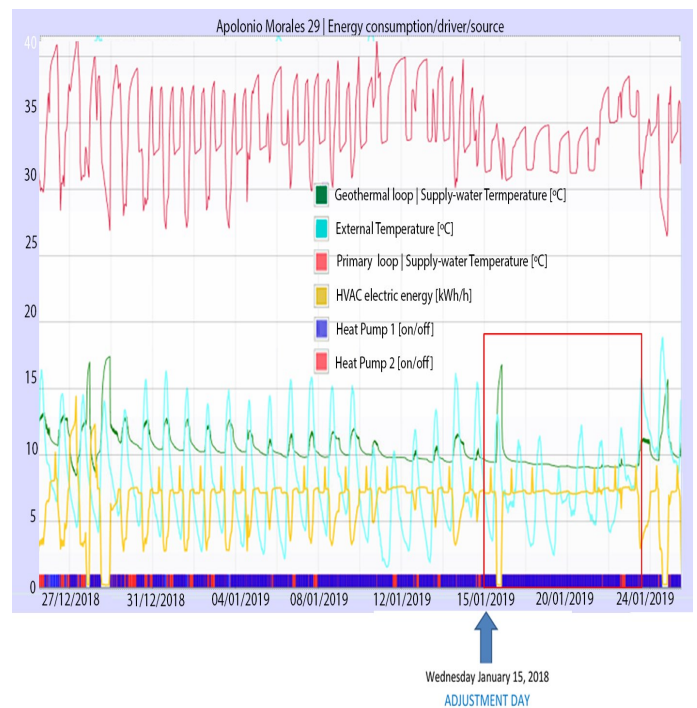


Figure 24: Energy consumption/driver/source/generation. Heating mode | Period: December 27, 2018—January 25, 2019. Source: Control System, Building Operation WorkStation (1.4.1.73). Self-elaboration.

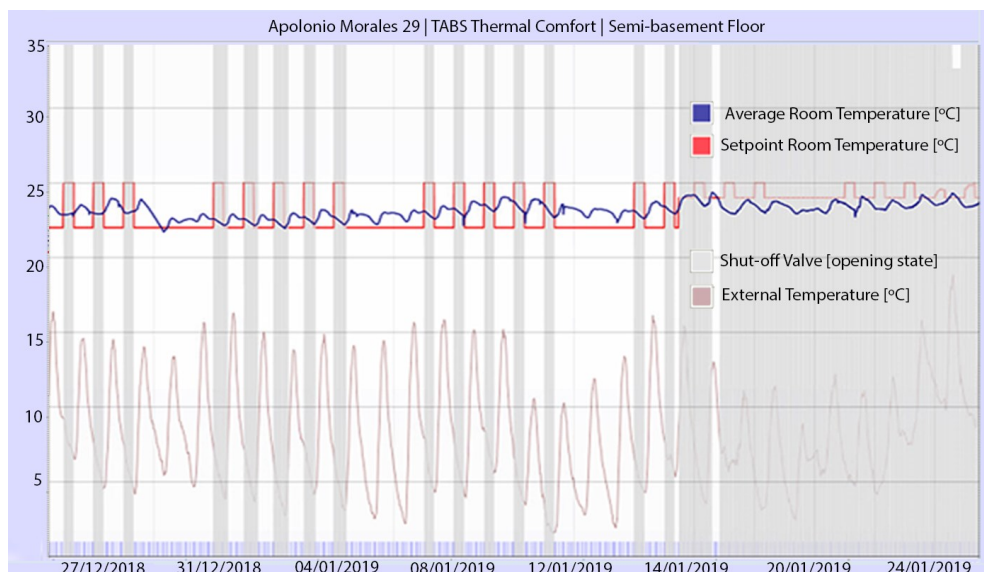


Figure 23: Room Temperature Control | Semi-basement Floor. Heating mode | Period: December 27, 2018—January 25, 2019. Source: Control System, Building Operation WorkStation (1.4.1.73). Self-elaboration.

3. CONCLUSIONS

This paper has revealed a number of parameters that need to be considered for describing, monitoring and tracking the thermal mass effect on the heating and cooling load and overall behavior of buildings. The monitoring of the electrical energy consumed per hour by the heat pumps is the key to take awareness of the moments of the day when consumption is most concentrated, in relation to the evolution of the other parameters and setpoints. In this sense, the trend of the energy consumed throughout the day is an index of the effectiveness of the overnight strategy for TABS.

In general, the operational strategies adopted for TABS take advantage of their thermal mass inertial properties in order to reduce peak heating and cooling loads, while sustaining a steadier overall thermal environment. The room temperature control described in this paper as a supplementary strategy for supply-water temperature control is a good strategy for buildings with zones characterized by different thermal demand and conditions. However, the need for manual switching between the heating and cooling modes, as well as the need for the manual tuning of parameters, sometimes reveals it is essential to reduce conflicts and cope with internal gains and boundary condition effects on TABS behavior.

Energy use of the building and thermal comfort of the occupants are terms that generally come into conflict [24]. TABS need to be designed, to the extent of their thermal inertia properties and operation control, from an integrated perspective, in which energy waste and thermal discomfort are the most common objectives to minimize. A well-structured follow-up approach can assist in reaching these aims.

As Gwerder et al. [12] claim in their research, room temperature feedback control can improve comfort if heating and cooling curves are placed incorrectly or if the intermittent zone pump operation is inaccurate due to modeling errors. Moreover, energy efficiency can be increased when room temperatures are controlled making full use of the room temperature comfort range.

This also leads to less frequent switching between heating and cooling demand of the zone. Additionally, commissioning and the adjusting effort can be reduced since the feedback control corrects settings that are wrong. However, the intermittent operation can lead to more switching between heating and cooling demand than necessary [25]. This can also contribute to reducing the achievable comfort level. During off-times, no heat is exchanged to the water circuit. This has to be compensated by higher (heating) or lower (cooling) supply water temperatures during on-times, respectively, which reduces the self-regulating effect.

Systematic control of TABS operation, which takes account of

their inertial response, occupant feedback, internal gains and boundary conditions, has positive effects on the indoor air environment during the summer and winter periods. The control, monitoring, auditing and managing of building systems are key to comprehensive, sustainable and energy efficient building operations. Therefore, it has been demonstrated that properly conducted optimizing operations after the commissioning of TABS are essential to minimize thermal discomfort and energy waste and to adapt the control parameters to the effective situation in buildings [26].

LEED Platinum rating is very comprehensive in applying IEQ-related measures and therefore should be viewed as providing greater productivity and health benefits.

The application of a "Plan-Do-Check-Act" approach, in line with the protocol pursued by the LEED rating system, is necessary to achieve high standards in terms of building energy performance. In the same way, following a systematic procedure for TABS that deliver prompt adjustments or repairs in response to problems identified, is positive for enhancing thermal comfort and achieving continual improvement of TABS energy performance. Furthermore, as is mentioned in the LEED Reference Guide [16], "verifying thermal comfort requires an investment to install and maintain a monitoring system; however, a reduction in thermal comfort complaints and increased occupant productivity can increase an organization's profitability". The approach adopted enables acquiring greater awareness of the operative parameters that are used to account for TABS, while catching cause-and-effect relationships which links one to the other. The monitoring of building performance is possible thanks to the availability of historical and real-time data, provided by a control system, which produces information and allows the adoption of strategies, with the aim to reduce the trade-off between energy savings and thermal comfort of the occupants.

Acknowledge: This paper is based on work carried out in the framework of an agreement between Eneres S.L. and the research group "Seminario de Construcción y Ecología (SCE)" of the Universidad Politécnica de Madrid (Spain), in collaboration with the Politecnico di Bari (Italy). It was supported by Eneres S.L.; "Best Erasmus Traineeships for Jobs"; and "TUCEP (Tiber Umbria Comett Education Programme)".

4. REFERENCES

- [1] L. de Pereda Fernández, "Integración de sistemas termoactivos para eficiencia. Principios y casos, in: Guía sobre estructuras termoactivas y sistemas inerciales en la climatización de edificios", Capítulo 5, pp. 107–145, Madrid 2014.
- [2] C.A. Balaras, "The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational methods", *Energy and Buildings* 24, pp. 1-10, 1996.

- [3] M. Schmelas, T. Feldmann, E. Bollin, "Savings through the use of adaptive predictive control of thermo-active building systems (TABS): A case study", *Applied Energy* 199, pp. 294–309, 2017.
- [4] E. Velasco Gómez, M. Andrés Chicote, F.J. Rey Martínez, A. Tejero González, "Thermal behaviour of an active slab: experimental study for TABs applications", 9th International Conference on Applied Energy, ICAE2017, 21-24 August 2017, Cardiff, UK, *Energy Procedia* 142 pp. 3326-3331, 2017.
- [5] A. Mirakhorli, B. Dong, "Occupancy behavior based model predictive control for building indoor climate. A critical review", *Energy and Buildings*, vol. 129, pp. 499–513, 2016.
- [6] I.C. Figueroa, J. Cigler, L. Helsen, "Model predictive control formulation: a review with focus on hybrid GEOTABS buildings", in: REHVA Annual Meeting Conference Low Carbon Technologies in HVAC, Belgium, April 23, 2018.
- [7] J. Roman'i, A. de Gracia, L.F. Cabeza, "Simulation and control of thermally activated building systems (TABS)", *Energy and Buildings*, vol. 127, pp. 22–42, 2016.
- [8] Tague, R. Nancy, "Plan—Do—Study—Act cycle". The quality toolbox (2nd ed.). Milwaukee: ASQ Quality Press. pp. 390–392, 2005. ISBN 978-0873896399. OCLC 57251077.
- [9] R.A. Meierhans, "Room air conditioning by means of overnight cooling of the concrete ceiling", *ASHRAE Trans V* 1996, vol. 102(1), pp. 693–7 (AT-96-08-2), 1996.
- [10] B.W. Olesen, "Radiant floor heating in theory and practice", *ASHRAE J*;44 (7):19, 2002.
- [11] J. Lim, Y.Y. Kim, M.S. Yeo, K.I. Kwang-Woo, "A comparative study on the control of the radiant floor cooling system", in: 7th REHVAVorld Congress and Clima; 2000.
- [12] M. Gwerder, J. Tödtli, B. Lehmann, F. Renggli, V. Dorer, "Control of Thermally Activated Building Systems", *Proceedings of Clima 2007 WellBeing Indoors*, 2007.
- [13] G.P. Henze, C. Felsmann, D.E. Kalz, S. Herkel, "Primary energy and comfort performance of ventilation assisted thermo-active building systems in continental climates". *Energy and Buildings* vol. 40(2), pp. 99–111, 2008.
- [14] B.W. Olesen, F.C. Dossi, "Operation and control of activated slab heating and cooling systems". In: CIB world building congress; 2004.
- [15] Boeing; et al. (2014), "LEED-ND and Livability Revisited", *Berkeley Planning Journal*, 27, pp. 31–55, Archived from the original on 2015-04-02, Retrieved 2015-04-15.
- [16] U.S. Green Building Council, "Green Building Operations and Maintenance", LEED Reference Guide for Green Building Operations and Maintenance, For the Operations and Maintenance of Commercial and Institutional Buildings, 2009 Edition (Updated April 2010).
- [17] J.H. Lim, J.H. Song, S.Y. Song, "Development of operational guidelines for thermally activated building system according to heating and cooling load characteristics", *Applied Energy*, vol. 126, pp.123–35, 2014.
- [18] J. Tödtli, M. Gwerder, B. Lehman, F. Renggli, V. Dorer, "TABS-control: Steuerung und regelung von thermoaktiven bauteilsystemem. Faktor Verlag Zurich, Switzerland 2009. ISBN: 978-3-905711-05-9.
- [19] V. Gavan, A. Pehinec, S. Agapoff, S. Derouineau, "Rule based Fault & Diagnosis for high performance buildings: application to a positive Energy and Buildingsing in France", 12th REHVA World Congress — CLIMA 2016, Aalborg, Denmark, May 2016.
- [20] S. García Garrido, (1991, May 10). "Mantenimiento conductivo" [Online]. Available: <http://mantenimiento.renovetec.com/>
- [21] L. de Pereda Fernández, "Type of action to improve energy efficiency in the full renovation of a small palace protected Administration office in Madrid. Geothermal and thermoactive structures", *Anales de Edificación* Vol. 1, N° 2, 1-9, 2015. ISSN: 2444-1309. Doi: 10.20868/ade.2015.3099.
- [22] ASHRAE Standard 55-2004, "Thermal Comfort Conditions for Human Occupancy", January 24, 2004.
- [23] IDAE, "Guía de mantenimiento Instalaciones Térmicas", Gobierno de España, Ministerio de industria, turismo y comercio, Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización, p. 130 Madrid February 2007.
- [24] I.C. Figueroa, J. Cigler, L. Helsen, "Model Predictive control formulation: a review with focus on hybrid geotabs buildings", *Proceedings of the REHVA Annual Meeting Conference Low Carbon Technologies in HVAC*, Brussels, 23 April 2018.
- [25] J. Pfaffertott, K. Doreen, R. Koenigsdorff, "Bauteilaktivierung: Einsatz — Praxiserfahrungen — Anforderungen", Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2015.
- [26] B. Lehmann, V. Dorer, M. Gwerder, F. Renggli, J. Tödtli, "Thermally activated building systems (TABS): Energy efficiency as a function of control strategy, hydronic circuit topology and (cold) generation system", *Applied Energy* 88, pp. 180–191, 2011.

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.

Phase change materials performance at radiant floor heating systems for building purposes study

Estudio del comportamiento de los materiales de cambio de fase en sistemas de calefacción por suelo radiante de aplicación en construcción

BEATRIZ CÁMARA-CALZAS

ETS de Ingeniería Civil. Universidad Politécnica de Madrid, España
b.camaracalzas@gmail.com

ALEJANDRO GÓMEZ-DELGADO

ETS de Ingeniería Civil. Universidad Politécnica de Madrid, España

ELENA CERRO-PRADA

ETS de Ingeniería Civil. Universidad Politécnica de Madrid, España.
elena.cerro@upm.es

ROSALÍA PACHECO-TORRES

ETS de Ingeniería Civil. Universidad Politécnica de Madrid, España
rosalia.pachecho@upm.es

Recent research in the field of building materials has led to focus on phase change materials (PCMs). These materials allow the adjustment between energy demand and supply of the climate control systems by storing. Experiments were carried out to investigate the feasibility of using heat storage materials (with PCM addition), placed as one of the flooring layers over radiant floor heating system. In this study, paraffin wax ASTM D 87 (mp 53-57°C) has been added directly during the mixing stage as a PCM, used in mixtures with various contents of paraffin (0.75%, 1.5%, 2.5% with respect to the weight of cement. It was also produced a none paraffin content specimen) and 0.45 water/cement ratio cement mortar. The experiments have been carried out inside of a completely isolated thermal box in which a heating system has been arranged and a measurement equipment for the temperature record. Every experiment consist on four stages that complete the full process of charging the energy storage mortar specimens, by heating the system fluid, and its subsequent progressive discharge after the heating source is off. While testing each specimen different temperatures have been collected: environment temperature outside the thermal box, indoor air temperature, surface temperature of each specimen with the corresponding PCM content, inlet and outlet fluid temperature inside heating system pipe. After carrying out every specimen test it is notice that PCM addition to cement mortar floor layer over the heating system is effective, the more proportion of paraffin added the most appropriate, since it takes a longer period of time to release storage heat during the phase change. Paraffin is an organic material easy to add to the cement mortar porous composition not adversely affecting material resistance, and it has the power to store energy as latent heat by phase changing.

Phase change materials; energy storage mortar; radiant floor heating system; thermal performance.

Las investigaciones en el campo de los materiales de construcción en los últimos años han llevado al estudio de materiales de cambio de fase (PCMs). Éstos permiten adaptar los periodos de suministro a los de demanda energética en sistemas de climatización, mediante la acumulación de energía. El objeto de los ensayos llevados a cabo en este trabajo es el estudio de la viabilidad del uso de materiales acumuladores de energía (mediante adición de PCM) como una de las capas de solado sobre los sistemas de calefacción por suelo radiante. En este estudio se trabaja con cera de parafina ASTM D 87 (mp 53-57°C) integrada en polvo de forma directa en diferentes proporciones (0.75%, 1.5%, 2.5% en peso de PCM y una probeta Control sin contenido de PCM) a una mezcla de mortero de cemento con relación agua/cemento 0.45, obteniendo cuatro probetas distintas a ensayar. Los experimentos se han llevado a cabo en el interior de una Casa térmica totalmente aislada en la que se instaló un sistema de calefacción por suelo radiante y un equipo de medida para el registro de la temperatura. Cada ensayo se compone de cuatro etapas que forman el proceso completo de carga del mortero acumulador de energía, calentando el fluido calefactor, y su posterior descarga progresiva una vez que la fuente de calor ha sido apagada. Durante los ensayos se recogieron temperaturas: en el exterior de la habitación, en el interior de la misma, sobre la superficie de cada probeta con la correspondiente proporción de PCM, y en el tubo de calefacción a la entrada y salida del agua. Tras llevar a cabo los ensayos sobre cada una de las probetas se observa que la adición de PCM al mortero de cemento formando parte del solado sobre el sistema de calefacción resulta eficaz, siendo la mayor proporción de parafina añadida la más adecuada, ya que desprende al ambiente más lentamente el calor acumulado durante el cambio de fase. La parafina es un compuesto orgánico que se puede impregnar en la estructura porosa de los materiales como el mortero de cemento, sin afectar a su resistencia, y tiene la capacidad de almacenar energía mediante su cambio de estado, en forma de calor latente.

Materiales de cambio de fase; mortero acumulador de energía; sistema de suelo radiante.

1. INTRODUCCIÓN

Los edificios, entendidos como construcciones para alojar y proteger al individuo del ambiente exterior, son uno de los sistemas de mayor consumo de energía y recursos, y como tal son objeto de la gestión para la eficiencia energética.

Los edificios de la Unión Europea son responsables del 40% de la demanda de energía primaria, del 60% de la demanda de electricidad, del 40% de las emisiones de CO₂ y del 50% del consumo de materias primas (Acciona Eficiencia Energética).

Concretamente en España el 55% aproximadamente de los edificios se construyeron con anterioridad al año 1980 y casi el 21% cuenta con más de 50 años. Esto significa que gran parte del parque edificado está obsoleto ante las nuevas y futuras prácticas para el ahorro de energía y reducción de emisiones, objeto de la actual construcción sostenible que *“se puede definir como aquella que teniendo especial respeto y compromiso con el medio ambiente, implica el uso eficiente de la energía y del agua, los recursos y materiales no perjudiciales para el medioambiente, resulta más saludable y se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales”* [1].

La construcción tradicional, que hasta ahora se ha venido practicando, está muy arraigada y es necesario, para introducir un cambio que nos lleve a reducir el consumo y las emisiones de nuestros edificios, un enfoque hacia nuevas prácticas eficientes respaldadas por un marco normativo tanto a nivel europeo como nacional y una aplicación de políticas activas.

La más reciente normativa desarrollada por la Unión Europea y España respectivamente introduce en el sector las novedades precisas para hacer efectiva la aplicación de prácticas respetuosas con el medio ambiente, para la nueva construcción y la necesaria rehabilitación y renovación energética de los edificios existentes [2][3].

Dichas prácticas pueden ser pasivas o activas en su aplicación a la edificación, esto es, actuando sobre factores influyentes en el diseño de las construcciones de modo que resulte idóneo para la reducción del consumo y las emisiones, o implementando sistemas directamente reductores.

La adición de Materiales de Cambio de Fase (PCM por sus siglas en inglés) a los materiales de construcción mejora el almacenamiento térmico de los elementos de construcción. La presencia de elementos de construcción con alta inercia térmica reduce las fluctuaciones de temperatura en el interior y favorece la comodidad del usuario [4]. En comparación con otros materiales de construcción comunes, como la piedra, los PCM almacenan de 4 a 15 veces más calor [5]

Los sistemas de calefacción por suelo radiante son una alternativa eficiente y económica a los sistemas de calefacción

comunes en los edificios. Además, combinados con materiales de almacenamiento térmico, brindan la oportunidad de mejorar la inercia térmica del pavimento y convertirse en una estrategia más eficiente en energía a la par que mejoran el confort térmico del usuario.

Años después de la celebración del Protocolo de Kioto, en 1990, que implantaba en la Unión Europea el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ un 5.2% por debajo de los niveles correspondientes a aquel año, fue redactada la Directiva 2002/91/CE que más tarde daría lugar a la actual Directiva 2012/27/UE de Eficiencia Energética cuyo objetivo principal es asegurar que los edificios de la Unión Europea alcancen un 20% de ahorro energético.

Eficiencia energética es “la obtención de los mismos bienes y servicios energéticos, pero con mucha menos energía, con la misma o mayor calidad de vida, con menos contaminación, a un precio inferior al actual, alargando la vida de los recursos y con menos conflicto” [6]. Dentro de los sistemas que promueven la eficiencia energética en el interior de las edificaciones, podemos situar la instalación de sistemas de calefacción por suelo radiante, una alternativa económica a largo plazo frente a los sistemas de calefacción comunes en los edificios.

En el campo de la ingeniería de materiales los PCM resultan de aplicación principalmente cuando se requiere reducir o suavizar cambios bruscos de temperatura interior. M. Domínguez et al [7], entre otros, analizaron las posibles aplicaciones de PCM en centros de telecomunicación y estratégicos que incrementarían la seguridad ante dichos cambios de temperatura.

Estos materiales también pueden incorporarse directamente a los aparatos eléctricos y así lo demostraron Dong-won Yoo y Yogendra K. Joshi [8]. Analizaron el rendimiento de dos tipos de disipadores de calor híbridos que incorporaban PCM, reproduciendo ciclos de energía periódicos para simular las cargas térmicas transitorias de los componentes electrónicos.

Sus resultados indicaron que los PCM pueden proporcionar potencialmente sendos ahorros de energía para dispositivos de gestión térmica, tales como ventiladores de refrigeración eléctrica, así como de tamaño de los dispositivos de control térmico, tales como disipadores de calor.

Mohammed M. Farid y Rafah M. Husian [9] desarrollaron de forma teórica y experimental un calentador de almacenamiento eléctrico mediante la incorporación de cera de parafina comercial, que trabajaba fuera de las horas pico, generalmente durante la noche. Analizaron el rendimiento del sistema, utilizando un modelo unidimensional, con el fin de reducir las cargas de trabajo de los sistemas tradicionales de calefacción, que funcionan con calor sensible. Izquierdo-Barrientos et al [10] estudiaron experimentalmente el comportamiento de PCM de un lecho fluido utilizando aire

como fluido calefactor.

El almacenamiento de calor por parte del PCM se comparó con el almacenamiento de energía sensible de un material tradicional como es la arena. El lecho fluido con PCM mostró eficiencias de carga mayores que la arena, y un alto índice de flujo másico de fluido calefactor redujo el tiempo de carga aunque de eficiencia al reducir las dimensiones del mismo.

Avci y Yazici [11] construyeron un modelo de unidad de almacenamiento térmico de carcasa y tubo horizontal y estudiaron experimentalmente los procesos de fusión y solidificación de parafina en el interior de la unidad para el almacenamiento de energía. También investigaron la influencia de la temperatura de entrada del flujo calefactor, en su caso agua, sobre la fusión y la solidificación que el proceso de fusión aumentó debido al efecto de convección natural, mientras que durante la solidificación este efecto fue suprimido por la conducción.

El almacenamiento de agua caliente sanitaria para su empleo en sistemas de energía solar y la reutilización del calor residual fue estudiado por H. Mehling et al [12]. Instalando módulos de PCM en la parte superior del tanque de almacenamiento demostraron teórica y experimentalmente que se trata de una técnica que proporciona al sistema mayor densidad de almacenamiento, permitiendo recalentar la capa de agua de transición después de una descarga parcial y compensar la pérdida de calor en la capa superior durante un tiempo considerable.

La combinación de un sistema de calefacción por suelo radiante con el empleo de materiales de almacenamiento térmico, como son los PCM, brinda la oportunidad de mejorar la inercia térmica del conjunto y convertirse en una estrategia más eficiente energéticamente a la par que mejoran el confort térmico del usuario.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El principal objetivo de este trabajo es estudiar sistemáticamente el rendimiento de PCM (en este caso, cera de parafina) en un sistema de calefacción por suelo radiante de uso doméstico en una vivienda residencial.

Se ha llevado a cabo un programa experimental para explorar la variación de la inercia térmica del pavimento de mortero con diferentes contenidos de PCM. La experimentación se ha realizado en una habitación térmica a escala de laboratorio en la que se instala un sistema de calefacción por suelo radiante, sobre la que se colocan probetas de mortero de cemento con contenido de parafina en diferentes proporciones.

Una vez puesto en marcha este sistema, se ha procedido a la recopilación de las diferentes temperaturas que facilitarán el posterior análisis del comportamiento de las probetas, con la finalidad de hallar el contenido más apropiado en parafina,

y posibilitar su modelización para aplicación en construcción.

2.1 EQUIPO EXPERIMENTAL

El equipo empleado para la realización del estudio se compone de:

- ◆ Casa térmica (PHYWE, Modelo 04507-93)
- ◆ Fuente de alimentación 0...12V DC/ 6V-12V AC (PHYWE)
- ◆ Circuito eléctrico de bloques (PHYWE)
- ◆ Bomba de aspiración de agua $Q_{\text{máx}} = 240 \text{ L/h}$, $H_{\text{máx}} = 300 \text{ cm}$
- ◆ Hornillo eléctrico 230 V (Severin)
- ◆ Vaso con camisa termostática ($V = 250 \text{ mL}$, $\varnothing_{\text{útil}} \times h_{\text{útil}} = 72 \times 68 \text{ mm}$)
- ◆ Tubo flexible unicapa PVC extruido $\varnothing_{\text{int}} = 4 \text{ mm}$
- ◆ Tubo flexible unicapa PVC extruido $\varnothing_{\text{int}} = 8 \text{ mm}$
- ◆ Tubo aislante FOAM
- ◆ Vaso de precipitados 400 mL, forma corta (DURAN)
- ◆ Probeta de mortero de cemento, relación a/c = 0.45 (fabricada en el laboratorio), en adelante Specimen 0: Control, S0
- ◆ Probeta de mortero de cemento, relación a/c = 0.45, contenido de parafina 0.75% (fabricada en el laboratorio), en adelante Specimen 1: 0.75% of PCM, S1
- ◆ Probeta de mortero de cemento, relación a/c = 0.45, contenido de parafina 1.5% (fabricada en el laboratorio), en adelante Specimen 2: 1.5% of PCM, S2
- ◆ Probeta de mortero de cemento, relación a/c = 0.45, contenido de parafina 2.5% (fabricada en el laboratorio), en adelante Specimen 3: 2.5% of PCM, S3
- ◆ Medidores digitales de temperatura (PHYWE)
- ◆ Termopares NiCr-Ni $T_{\text{máx}} = 500^{\circ}\text{C}$
- ◆ Termómetro de mercurio y termómetro de alcohol
- ◆ Cámara de video
- ◆ Cronómetro digital

A continuación se describen los elementos fundamentales.

- Casa térmica (PHYWE, Modelo 04507-93)

Consiste en una estructura compuesta por seis paneles desmontables conformando un prisma de dimensiones $400 \times 400 \times 400 \text{ mm}$. Cuatro de ellos disponen de una abertura cuadrada en el centro, de dimensiones $210 \times 210 \text{ mm}$, donde se sitúan las paredes a ensayar: apretadas con tornillos tensores las que se colocan desde el interior, y sujetas con presillas las que se colocan desde el exterior. En el caso de

este estudio se colocarán paneles de poliestireno expandido, tanto en el interior como en el exterior, de los que no ensayaremos su comportamiento.

Los dos paneles restantes son el suelo, aislado con una placa de poliestireno de 50 mm de espesor, y el techo aislado de la misma forma, con cuatro tornillos moleteados prisioneros que lo fijan a la estructura y permiten acceder a su contenido.

En el interior, la Casa térmica dispone de un portalámparas situado en el suelo para la instalación de calefacción por medio de una bombilla, en nuestro caso no lo utilizaremos.

Para la facilidad de montaje y desmontaje de los distintos elementos dentro de la Casa térmica, ésta se colocará de forma que el techo atornillado sea la pared frontal de la estructura.

Los paneles laterales de la estructura se atornillan mediante cuatro piezas auxiliares de madera, o angulares, situadas en las esquinas interiores de la Casa térmica.

Cada una de estas piezas está atravesada por un paso de diámetro $\varnothing = 9$ mm aislado con goma espuma para permitir la estanqueidad del interior. A través de dichos pasos introduciremos tanto los termopares como el tubo en serpentín para la instalación de calefacción.

- Vaso con camisa termostática ($V = 250$ ml, $\varnothing_{\text{útil}} \times h_{\text{útil}} = 72 \times 68$ mm)

Consiste en una pieza de vidrio de dimensiones $\varnothing_{\text{útil}} \times h_{\text{útil}} = 72 \times 68$ mm, que funciona como depósito de agua. Esta pieza cuenta con dos boquillas a diferentes alturas, a las que se conecta el tubo en serpentín de la instalación de calefacción; salida de agua caliente por la boquilla más baja, y entrada de agua que regresa cerrando el circuito por la boquilla más alta.

- Tubo flexible unicapa PVC extruido

Es el elemento que conduce el agua, impulsada por la bomba, de la instalación de calefacción, con un diámetro de $\varnothing_{\text{int}} = 8$ mm a la entrada y salida de la bomba de aspiración de agua, y de $\varnothing_{\text{int}} = 4$ mm a lo largo del serpentín. Sale del depósito de agua, al que se une mediante una pieza auxiliar, y entra en la Casa térmica por uno de los pasos aislados.

Una vez dentro, recorre el suelo anclado por remaches a un panel de madera de espesor $e = 9$ mm, dispuesto en forma de serpentín. Por último sale por el paso aislado opuesto y entra al depósito de agua cerrando así el circuito de calefacción.

A lo largo de su recorrido exterior, este tubo está recubierto de tubo aislante FOAM, de forma que la temperatura ambiente del laboratorio, en el exterior de la Casa térmica, no influya en la temperatura del agua de circulación. En los tramos de recorrido interior también se aísla el tubo del aire interior.

- Probetas de mortero cemento con adición de parafina

Se dispone de cuatro probetas, o specimens, para el estudio de dimensiones $210 \times 210 \times 20$ mm, sometidas a control normalizado, todas ellas compuestas por mortero de cemento en relación $a/c = 0.45$. La primera de ellas, S0, no contiene adición de parafina; la segunda S1, contiene una adición de parafina de 0.75%; la tercera, S2, contiene una adición de parafina de 1.50%; la cuarta, S3, contiene una adición de parafina de 2.50%. La parafina, añadida al mortero de cemento, es el material de cambio de fase, en adelante PCM, objeto de nuestro estudio.

Cada una de las probetas, según se disponga a lo largo del desarrollo del estudio, se colocará en el suelo sobre la placa de madera a la que está anclado el tubo en serpentín. Para ello se han fijado cuatro soportes a la placa de madera de forma que sustenten la probeta sin que ésta presione el tubo. Además, cada probeta se ha aislado en su perímetro con poliestireno expandido para asegurar la estanqueidad de la instalación de calefacción.

2.2 EQUIPO DE MEDIDA

◆ Termopares NiCr-Ni

Miden la variación de fuerza electromotriz en función de la temperatura y el medidor digital lo transforma a la unidad de temperatura, en el caso de este estudio grados Celsius, °C. Su denominación se debe a la composición de sus electrodos, el positivo con Ni+10%Cr, y el negativo con Ni+5%Si. Estos termopares, o sensores de temperatura, miden hasta una temperatura máxima de 500 °C, aunque el rango de temperaturas que se maneja en el estudio es mucho menor.

◆ Medidores digitales de temperatura

Para este estudio se dispone de dos medidores que conectados a los termopares NiCr-Ni reflejan la temperatura que éstos reciben en cada una de sus localizaciones. A cada medidor se pueden conectar dos termopares, o sensores de temperatura, de forma que las distintas temperaturas que ambos recogen se refleja en la pantalla líquida del medidor (de dimensiones 40×50 mm). Estos aparatos funcionan con una pila de 9 V y manejan las unidades Fahrenheit y Celsius.

2.3 MONTAJE DEL DISPOSITIVO DE ENSAYO

Con el fin de ensayar el comportamiento de la parafina como aditivo al mortero de cemento formando parte de las capas de solado, cualquiera que sea éste, sobre un sistema de calefacción de suelo radiante y poder modelizarlo para su aplicación como técnica de construcción sostenible, se reproduce una habitación a escala para testarla en el laboratorio.

2.3.1 CASA TÉRMICA PHYWE

El laboratorio en el que se desarrolla la fase experimental de este estudio pone a disposición a tal fin la Casa térmica PHYWE, Modelo 04507-93, como dispositivo fundamental para realizar los ensayos, anteriormente descrita. Este dispositivo alojará en su interior el sistema de suelo radiante objeto del experimento, y los sensores de temperatura que medirán el incremento de ésta durante el desarrollo de cada prueba.

2.3.2 CONJUNTO DE PAVIMENTACIÓN

En este estudio se ensayan cuatro probetas distintas, de dimensiones 210x210x20 mm, descritas detalladamente más adelante, de mortero de cemento con distinto contenido en parafina, material objeto del ensayo.

La probeta es la última capa de las que componen el conjunto de pavimentación (Figura 1) del estudio reproduciendo un solado tradicional en construcción de los utilizados sobre los sistemas de calefacción por suelo radiante.

Bajo la probeta se dispone el tubo de calefacción, de 205 cm de longitud total en contacto con ésta, por el que circula el fluido que cederá el calor a ésta. Este tubo se fija a la siguiente capa de solado formada por una tabla de madera de dimensiones 250x250x7 mm. Entre el tubo y la probeta no existe contacto directo ya que la sobre la capa de madera se disponen unas patillas de soporte sobre las que reposa la probeta sin que ésta ejerza presión sobre el tubo de calefacción.[Fig. 1]

2.3.3 HABITACIÓN A ESCALA DE LABORATORIO

El conjunto de pavimentación (1) se coloca en el interior de la Casa térmica (2), y bajo éste el sistema de calefacción. El tubo por el que circula el fluido calefactor (3), en este caso agua, se conecta a un depósito en el exterior (4) y una bomba de aspiración de agua (5) proporciona la potencia motriz necesaria para la circulación del fluido por todo el sistema.



Figura 1. Esquema de conjunto de pavimentación

Como se observa en la Figura 2, el tubo de calefacción, que contiene el agua de circulación, entra a la Casa térmica, por medio de un paso aislado situado en su base. En el interior de la misma se fija con grapas, a la tabla de madera anteriormente mencionada, el tubo recorriéndola en forma de serpentin para obtener mayor superficie de contacto con el pavimento que aumente la cesión de calor.

Sobre la misma tabla se colocan también cuatro patillas de soporte sobre los que descansa la probeta de pavimento de forma que ésta, por su peso, no ejerza presión sobre el tubo que pueda originar la obstrucción del mismo, actuando así de separadores. Cada probeta a ensayar se aísla en su perímetro con poliestireno expandido (6) de forma que el fragmento de tubo en serpentin instalado debajo no pierda calor en su cesión a la superficie de probeta. El tubo de calefacción sale de la Casa térmica por el paso aislado situado en el extremo opuesto de la base.

Dentro de la habitación se colocan cuatro termopares, o sensores de temperatura, dispuestos en los puntos clave para la toma de datos del estudio.

Estos puntos son: la entrada de agua, el sensor se introduce en el tubo realizando un pequeño orificio en éste y sellándolo después con pegamento bifásico en el punto de inicio del recorrido en serpentin; la salida de agua, el sensor se coloca de igual manera en el interior del tubo en el punto final del recorrido en serpentin, de forma que ambos queden en contacto directo con el agua; la superficie de suelo, el sensor se fija a una de las paredes en el interior de la habitación y se pone en contacto directo con la superficie de la probeta que se coloque en cada ensayo; el aire interior, el sensor se coloca en el centro geométrico de la habitación y se fija al techo. [Fig. 2]

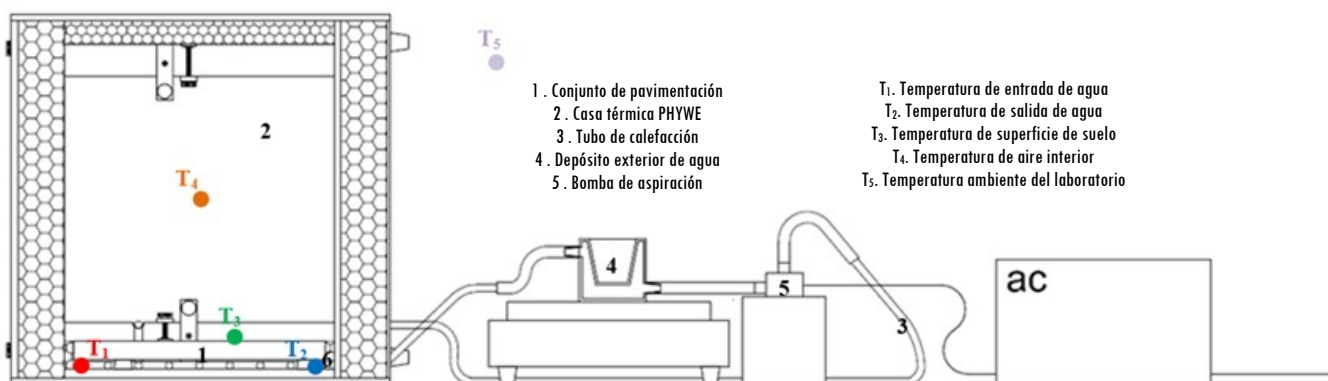


Figura 2. Esquema de habitación a escala de laboratorio

2.3.4 SISTEMA DE CALEFACCIÓN

En el exterior de la Casa térmica, el tubo de calefacción inicia su recorrido en el depósito que contiene el fluido calefactor, que como ya se ha mencionado, en este caso es agua. En el ensayo se emplea un vaso con camisa termostática, de 250 mL de volumen, como depósito.

Éste cuenta con un orificio inferior de salida al que se conecta el arranque del tubo, de 8 mm de diámetro interior, por el que comienza a circular el agua. A continuación el tubo se une a la bomba de aspiración, con una caudal máximo de $Q_{\text{máx}} = 240 \text{ m}^3/\text{s}$, que hace circular el agua por el circuito. Tras salir de la bomba el fluido continúa su recorrido por el tubo en el exterior, en el que su diámetro interior cambia a 4 mm por medio de empalme, y entra a la Casa térmica por el mencionado paso aislado.

Dentro de la habitación el agua recorre el tubo en forma de serpentín, reproduciendo un sistema de calefacción por suelo radiante como los empleados en construcción, cuya finalidad es incrementar la superficie de contacto entre el tubo y las capas de pavimento, en comparación con otros sistemas, obteniendo una mayor eficiencia térmica.

Saliendo por el paso aislado situado en el extremo opuesto, el tubo vuelve a conducir el agua al depósito, cambiando su diámetro interior de nuevo mediante empalme a 8 mm, y entra por el orificio superior de éste, cerrando así el circuito.

El sistema tiene un volumen total de 150 mL de agua circulando en su interior. Este agua se calienta colocando el depósito (1) sobre un hornillo eléctrico de temperatura regulable, conectado a la corriente.

De esta forma, cuando se conecta a la corriente la bomba de aspiración (2) ésta toma el agua del depósito, calentado previamente, que comienza a circular por el tubo (3), aislado del exterior en todo su recorrido mediante coquillas de FOAM para evitar cualquier pérdida de calor en la totalidad del sistema de calefacción.

A lo largo del serpentín (4) el agua va cediendo a la probeta de suelo el calor aportado por el hornillo, para calentar el interior de la habitación, por lo que ésta sale de la Casa

térmica a una temperatura menor que la de entrada.

El agua continua su recorrido, de nuevo por el exterior, por el tubo (5) aislado mediante coquillas y retorna al depósito (1) donde de nuevo se calienta cerrando el circuito de calefacción. El recorrido completo que hace el fluido calefactor se muestra en la Figura 3.

2.3.5 PROBETAS A ENSAYAR

Como se ha explicado con anterioridad, en el interior de la Casa térmica se coloca una probeta de mortero de cemento. Éste es un material empleado en construcción para una de las capas del conjunto que forma el solado sobre los sistemas de calefacción por suelo radiante, en este ensayo el solado estará compuesto únicamente por esta capa.

Esto se debe a que, además de ser la que se coloca sobre el tubo de calefacción en contacto directo con el mismo distribuyendo la energía, al ser el mortero una pasta heterogénea, se puede añadir a su composición cualquier aditivo con el fin de influir en sus propiedades, en este caso la parafina.

Por su parte, la parafina es un compuesto orgánico que habitualmente se presenta como nanomaterial, en microcápsulas que envuelven un núcleo de cera, lo que facilita su adición a materiales de estructura porosa como es el mortero de cemento, sin afectar sus propiedades.

Cada una de las cuatro probetas a ensayar fue fabricada siguiendo el mismo proceso obteniéndose una mezcla de mortero de cemento con una relación agua/cemento de 0.45, incrementado en un 20% las proporciones de material que corresponderían a un mortero de cemento normalizado.

En el caso de la probeta control, sin contenido en parafina, primeramente se tararon las cantidades de cada componente de la dosificación para obtener la relación agua/cemento de 0.45 citada (540 g de cemento, 1200 g de árido tamizado y 243 g de agua).

Posteriormente se llevó a cabo el amasado, durante 2 minutos en amasadora, de la mezcla añadiendo cada material en sucesivas etapas. Tras el reposo necesario de la mezcla, se

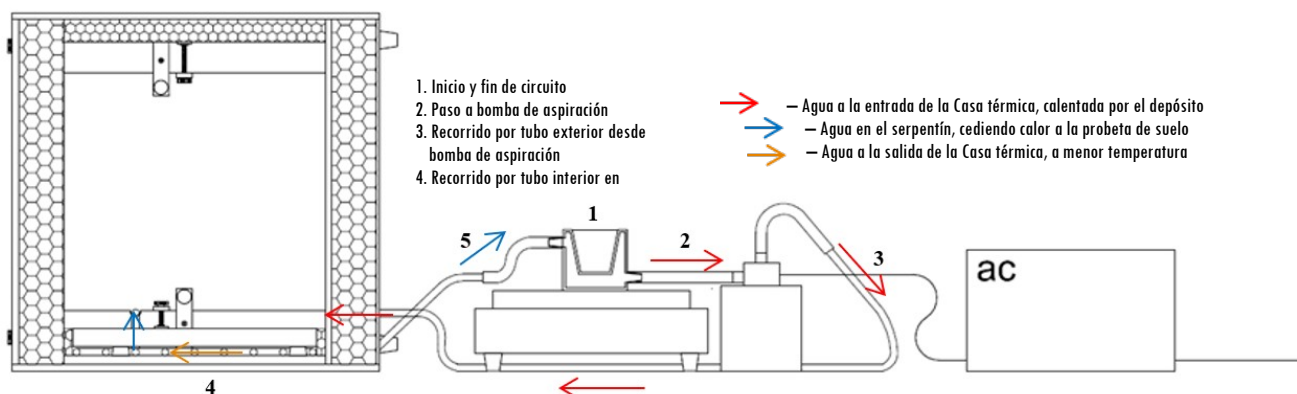


Figura 3. Esquema de recorrido del fluido calefactor

vertió la misma sobre un molde de silicona, se extendió y se compactó. Tras reposar el tiempo preciso, se desmoldó y se mantuvo la probeta resultante durante un periodo determinado en una cámara húmeda.

El mismo procedimiento fue llevado a cabo en las tres probetas restantes con contenido en parafina mp 53-57°C ASTM D 87 (Aldrich), la cual, una vez rallada, se añadió a su tiempo durante el amasado (en las distintas cantidades 48.57 g, 29.14 g y 9.71 g).

Así, las probetas sobre las que se realiza el estudio son:

- ♦ Probeta control, S0 (Specimen 0): compuesta únicamente por mortero de cemento con relación agua/cemento 0.45 (sin adición de parafina), de dimensiones 210x210x20 mm.
- ♦ Probeta 0.75% PCM, S1 (Specimen 1): compuesta por mortero de cemento con relación agua/cemento 0.45 y adición de parafina en un 0.75% sobre el peso total de mortero de cemento, de dimensiones 210x210x20 mm.
- ♦ Probeta 1.5% PCM, S2 (Specimen 2): compuesta por mortero de cemento con relación agua/cemento 0.45 y adición de parafina en un 1.5% sobre el peso total de mortero de cemento, de dimensiones 210x210x20 mm.
- ♦ Probeta 2.5% PCM, S3 (Specimen 3): compuesta por mortero de cemento con relación agua/cemento 0.45 y adición de parafina en un 2.5% sobre el peso total de mortero de cemento, de dimensiones 210x210x20 mm.

2.4 METODOLOGÍA DESARROLLADA

Los ensayos se llevan a cabo en el Laboratorio de Física de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica de Madrid, utilizando los medios a disposición anteriormente descritos.

Se controlan las condiciones ambientales en el interior del laboratorio de modo que se mantengan estables durante el desarrollo de cada ensayo y no resulten muy dispares entre cada uno de ellos, esto es, se mide la temperatura ambiente de laboratorio con termómetro de alcohol, room temperature T5, y se recurre a la ventilación del laboratorio si se observa que la temperatura se eleva. Para testear cada probeta se emplean 10 horas diarias, de modo que el total de los ensayos se desarrolla a lo largo de cuatro días diferentes.

Este rango de tiempo resulta adecuado para la recopilación de un amplio conjunto de datos que permite analizar detalladamente el comportamiento de cada probeta en función del tiempo, pasando por cada una de las etapas que conforman el ensayo. En total se suceden cuatro etapas, regidas por el estado de la bomba de aspiración de agua en cada momento, encendido "1" (on) o apagado "0" (off) como muestra la Figura 4.

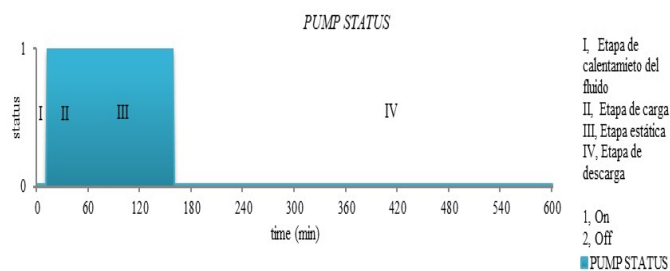


Figura 4. Estado de la bomba de aspiración en función del tiempo

La Etapa I transcurre durante el calentamiento del fluido, por medio de la fuente de calor, en el depósito hasta alcanzar 60°C con la bomba de aspiración de agua apagada "0"; seguidamente en la Etapa II empieza a circular el fluido por el tubo de calefacción una vez que la bomba está encendida "1", es decir, arranca el funcionamiento del sistema de calefacción y la probeta comienza a acumular el calor que le cede el tubo a en su recorrido; a continuación se da paso a la Etapa III, o estática, que tiene lugar una vez que la temperatura del aire interior de la Casa térmica, indoor air temperature T4, alcanza 25°C manteniéndola estable durante 120 min con la bomba encendida "1"; finalmente a lo largo de la Etapa IV la probeta descarga el calor acumulado hasta completar las 10 horas de duración del ensayo con la bomba de nuevo apagada "0".

2.4.1 CONDICIONES DE PARTIDA

De forma general, un ensayo comienza a primera hora de la mañana, con la Casa térmica abierta, de modo que la temperatura en el interior sea aproximadamente igual a la temperatura ambiente del laboratorio, y la probeta a ensayar colocada en su posición en el interior de la Casa térmica.

El interruptor que conecta el circuito de circulación del fluido en el interior del sistema de calefacción está abierto y la fuente de calor, el hornillo eléctrico de temperatura regulable, apagado.

2.4.2 ETAPA DE CALENTAMIENTO DEL FLUIDO, I

Con la Casa térmica cerrada, se enciende la fuente de calor, a la temperatura de trabajo más baja, y se coloca sobre ella el depósito de agua hasta alcanzar una temperatura aproximada de 60°C en su interior, medida con el termómetro de alcohol. A continuación se cierra el circuito eléctrico para que comience a circular el agua caliente por el interior del tubo de calefacción.

2.4.3 ETAPA DE CARGA, II

Iniciada la circulación del fluido calefactor, la temperatura media en el interior (entre las lecturas de temperatura en la

entrada de agua, inlet temperature T1, y en la salida de agua, outlet temperature T2) del tubo se estabiliza alrededor de 50°C.

Puesto que el volumen de agua circulando por el tubo de calefacción, 250 mL, es relativamente pequeño y por tanto sensible a la variación térmica, se controla que la temperatura del fluido se mantenga constante. Siguiendo este procedimiento, el agua a su paso por el tubo desprenderá el calor aportado y, ya que el sistema está completamente aislado y las pérdidas son despreciables, la probeta de mortero lo absorberá para después liberar una parte al ambiente, de forma que aumenta la temperatura en el interior de la Casa térmica.

Esta fase finaliza cuando la temperatura del aire interior de la Casa térmica, indoor air temperature T4, alcanza 25°C, una temperatura suficiente para que el descenso hasta la temperatura de partida se desarrolle durante el tiempo necesario para recopilar datos bastantes y analizar el comportamiento de la probeta. Durante el desarrollo de esta fase el material, además de liberar parte del calor absorbido al ambiente interior, almacena el resto de calor, el cual también liberará, aunque de forma progresiva y diferente según la composición de cada probeta.

2.4.4 ETAPA ESTÁTICA, III

Tras alcanzar la temperatura deseada en el aire interior de la Casa térmica, 25°C, se da paso a una fase en la que esta temperatura permanezca estática, procediendo de la misma forma expuesta en la fase anterior, siendo en este caso los intervalos de aporte de calor del doble de tiempo y aumentando progresivamente. En esta fase, si bien las temperaturas T1, T2, y T4 se mantienen estables en sus rangos, la temperatura de la superficie de suelo (o probeta), floor surface temperature T3, seguirá aumentando. Su duración se ha fijado en 120 minutos para todos los ensayos.

2.4.5 ETAPA DE DESCARGA, IV

Cuando finalizan los 120 minutos de la etapa estática se abre el circuito eléctrico, parando la bomba de aspiración, de forma que el agua deje de circular por el interior y se apaga la fuente de calor. De este modo, la probeta que ha ido almacenando el calor latente, comenzará a liberarlo al ambiente gradualmente hasta finalizar el tiempo de desarrollo del ensayo, fijado en 10 horas, aproximándose a la temperatura de partida en mayor o menor medida según la influencia del contenido de parafina en su comportamiento.

2.4.6 RECOPIACIÓN DE DATOS

A lo largo de cada ensayo se recolectan las lecturas que registran los medidores digitales de temperatura de las cuatro sondas colocadas en el interior de la Casa térmica.

Estas lecturas son: temperatura del agua en la entrada, inlet temperature T1; temperatura del agua en la salida, outlet temperature T2; temperatura de la superficie de suelo, floor surface temperature T3; temperatura del aire en el interior de la Casa térmica, indoor air temperature T4; todas indicadas anteriormente en la Figura 2. La recopilación se hace a intervalos de dos minutos a lo largo de las 10 horas de duración del ensayo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la totalidad de los ensayos se obtiene una vasta cantidad de datos que permite la consecución del objeto de este estudio, analizar el comportamiento de cada una de las probetas y la comparación entre ellas mediante distintos parámetros.

3.1 CONTENIDO DE PARAFINA

A la luz de los resultados de cada ensayo se observa que para semejantes condiciones de partida y a lo largo del ensayo, siguiendo la misma metodología, en función de su contenido en parafina las probetas muestran distinto comportamiento.

Para interpretar este comportamiento centramos el análisis en el registro de las temperaturas: temperatura del aire en el interior de la Casa térmica, indoor air temperature T4, y temperatura de suelo, floor surface temperature T3, es decir, en el intercambio de calor que existe entre el suelo y el aire interior de la habitación consecuencia del funcionamiento del sistema de calefacción.

Se desglosan a continuación los gráficos de representación del registro de datos, que muestran una ecuación temperatura-tiempo, en cada una de las etapas del ensayo y se estudia su pendiente, que relaciona el incremento o descenso de la temperatura con el tiempo.

◆ Comportamiento de probeta Control, S0

Durante la Etapa I de este ensayo (de 0 a 8 minutos), de calentamiento del fluido, la pendiente es horizontal para ambas ecuaciones de temperatura T3 y T4, ya que en este momento el fluido aún no ha comenzado a circular por el tubo de calefacción.

A continuación, en la Etapa II de este ensayo (de 10 a 42 minutos), de carga, la pendiente de la ecuación de temperatura T3 es 0.4294 y la de T4 es 0.2189, aproximadamente la mitad.

Seguidamente se sucede la Etapa III (de 44 a 162 minutos), estática, en la que las pendientes de las ecuaciones de temperatura T3 y T4 son respectivamente -0.0322 y -0.0012, sin relación destacable entre ellas. En la Etapa IV, la de mayor duración y recopilación de datos (de 164 a 600 minutos), de descarga, la pendiente de la ecuación de

temperatura T3 es -0.0204 y la de T4 es -0.0134, siendo la relación T3/T4 = 1.5. (Figura 5).

♦ Comportamiento probeta con adición de 0.75% PCM, S1

Durante la Etapa I de este ensayo (de 0 a 10 minutos), de calentamiento del fluido, la pendiente es horizontal para ambas ecuaciones de temperatura T3 y T4, ya que en este momento el fluido aún no ha comenzado a circular por el tubo de calefacción.

A continuación, en la Etapa II de este ensayo (de 12 a 42 minutos), de carga, la pendiente de la ecuación de

temperatura T3 es 0.4074 y la de T4 es 0.2022, aproximadamente la mitad.

Seguidamente se sucede la Etapa III (de 44 a 162 minutos), estática, en la que las pendientes de las ecuaciones de temperatura T3 y T4 son respectivamente -0.0274 y 0.0028, sin relación destacable entre ellas.

En la Etapa IV, la de mayor duración y recopilación de datos (de 164 a 600 minutos), de descarga, la pendiente de la ecuación de temperatura T3 es -0.0197 y la de T4 es -0.0117, siendo la relación T3/T4 = 1.7. (Figura 6)

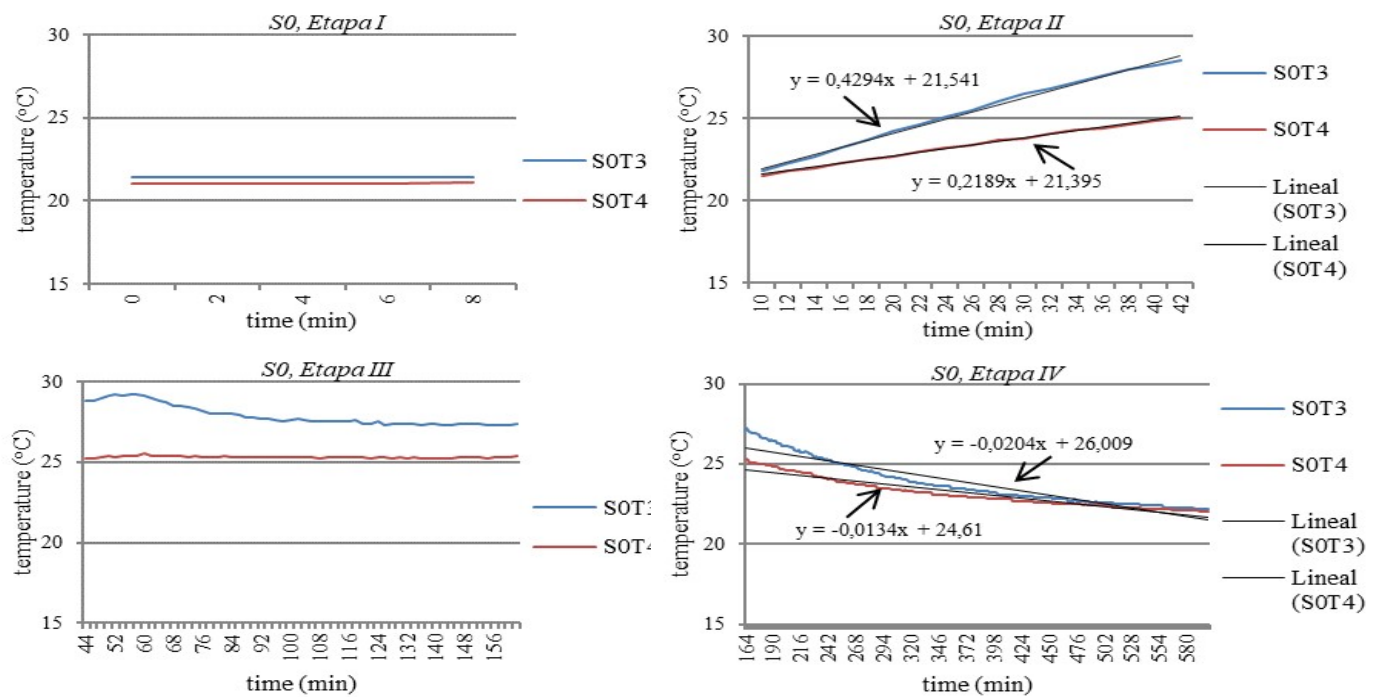


Figura 5. Comportamiento de probeta Control, S0, por etapas

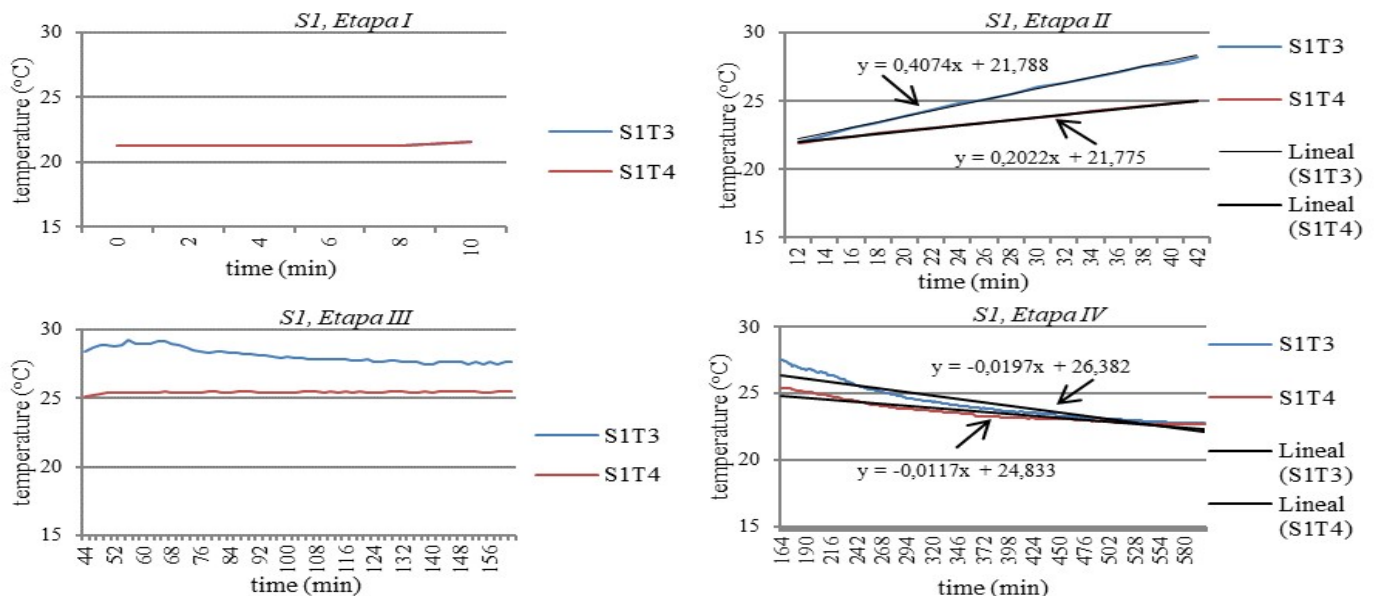


Figura 6. Comportamiento de probeta con adición de 0.75% PCM, S1, por etapas

◆ Comportamiento probeta con adición de 1.5% PCM, S2

Durante la Etapa I de este ensayo (de 0 a 8 minutos), de calentamiento del fluido, la pendiente es horizontal para ambas ecuaciones de temperatura T3 y T4, ya que en este momento el fluido aún no ha comenzado a circular por el tubo de calefacción. A continuación, en la Etapa II de este ensayo (de 10 a 34 minutos), de carga, la pendiente de la ecuación de temperatura T3 es 0.4198 y la de T4 es 0.1912, aproximadamente la mitad. Seguidamente se sucede la Etapa III (de 36 a 154 minutos), estática, en la que las pendientes de las ecuaciones de temperatura T3 y T4 son respectivamente -0.0315 y -0.0012, sin relación destacable entre ellas. En la Etapa IV, la de mayor duración y recopilación de datos (de 156 a 600 minutos), de descarga, la pendiente de la ecuación de temperatura T3 es -0.0179 y la de T4 es -0.0116, siendo la relación T3/T4 = 1.5. (Figura 7)

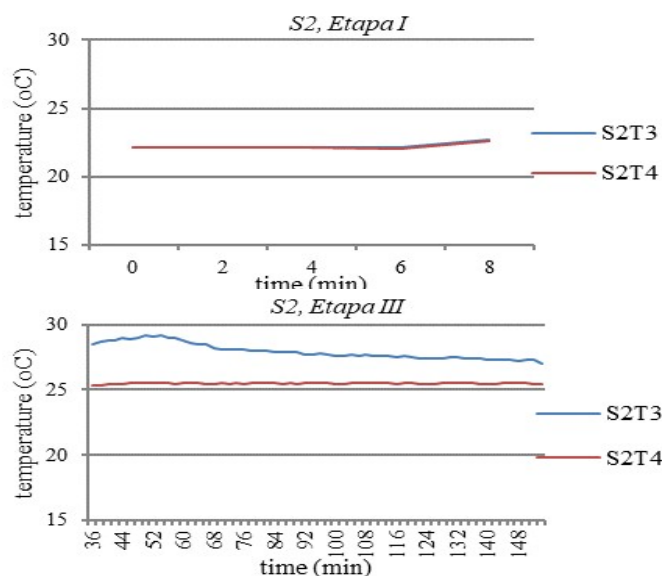


Figura 7. Comportamiento de probeta con adición de 1.5% PCM, S2, por etapas

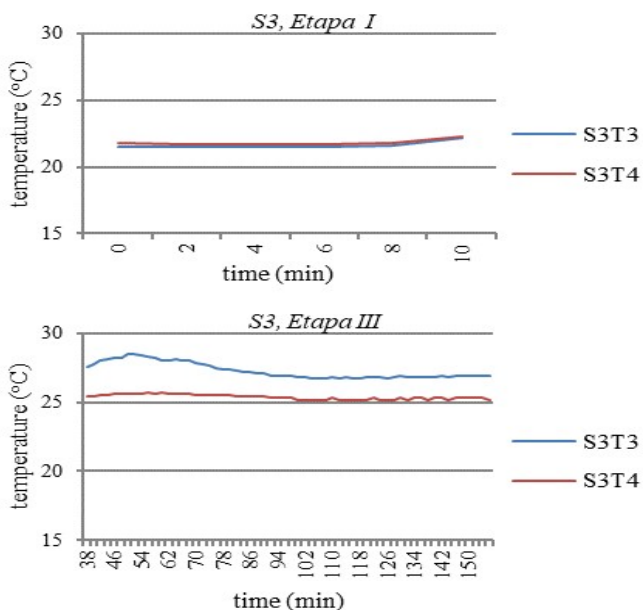
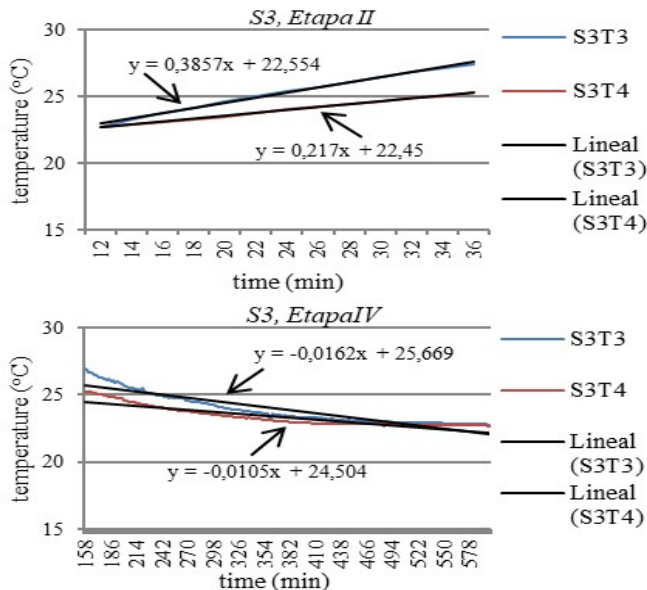
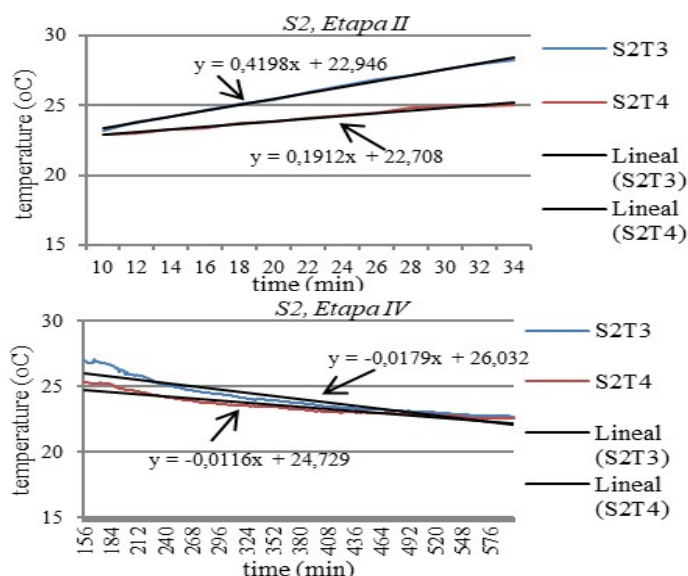


Figura 8. Comportamiento de probeta con adición de 2.5% PCM, S3, por etapas

◆ Comportamiento probeta con adición de 2.5% PCM, S3

Durante la Etapa I de este ensayo (de 0 a 10 minutos), de calentamiento del fluido, la pendiente es horizontal para ambas ecuaciones de temperatura T3 y T4, ya que en este momento el fluido aún no ha comenzado a circular por el tubo de calefacción. A continuación, en la Etapa II de este ensayo (de 12 a 36 minutos), de carga, la pendiente de la ecuación de temperatura T3 es 0.3857 y la de T4 es 0.217, aproximadamente la mitad. Seguidamente se sucede la Etapa III (de 38 a 156 minutos), estática, en la que las pendientes de las ecuaciones de temperatura T3 y T4 son respectivamente -0.0274 y -0.0067, sin relación destacable entre ellas. En la Etapa IV, la de mayor duración y recopilación de datos (de 158 a 600 minutos), de descarga, la pendiente de la ecuación de temperatura T3 es -0.0162 y la de T4 es -0.0105, siendo la relación T3/T4 = 1.5. (Figura 8)



Mediante las pendientes se observa (Tabla 1) que la Etapa II, de carga, no muestra a simple vista una relación determinante, aunque sí aproximadamente la misma en todos los ensayos siendo la temperatura de suelo el doble de la del aire, con las etapas posteriores en las que realmente se percibe una cesión de calor gradual.

Podríamos establecer que esta cesión inicia en la Etapa III, estática, puesto que es cuando el fluido calefactor alcanza una temperatura casi estable, sin embargo, no es demostrable puesto que destaca el, todavía, incremento de temperatura en la superficie de la probeta de suelo. De modo que se pone el foco en la Etapa IV, de descarga, que no sólo es aquella de mayor duración y registro de datos en la que se puede percibir de forma más evidente el comportamiento de la probeta, sino en efecto la que pone de manifiesto una clara relación entre las probetas y su distinta proporción de adición.

Probeta	Tª	Etapa	
		II	IV
S0	T3	0.4294	-0.0204
	T4	0.2189	-0.0134
S1	T3	0.4074	-0.0197
	T4	0.2022	-0.0117
S2	T3	0.4198	-0.0179
	T4	0.192	-0.0116
S3	T3	0.3857	-0.0162
	T4	0.217	-0.0105

Tabla 1. Relaciones destacables entre pendientes de cada probeta

Así, la probeta Control, S0, con contenido nulo en parafina, es la que, además de iniciar la Etapa IV a una temperatura mayor (por las particularidades que se dieran en el ensayo a pesar de seguir la metodología desarrollada) experimenta una mayor y más rápida caída de temperatura, siendo esta caída más notable en la temperatura del aire interior de la Casa térmica.

Ésta es la probeta que finaliza el ensayo a la menor temperatura puesto que la cesión de calor al aire interior se produce aceleradamente una vez que se apaga la fuente de calor. Las probetas S1 y S2 evidencian un comportamiento muy parecido entre ellas, que podríamos asociar al contenido de parafina, 0.75% y 1.5% respectivamente, muy próximo entre ambas. No obstante, la probeta S1 sí muestra un comportamiento mejor al de la probeta S0, y a su vez peor al de la probeta S2. Esto es, la temperatura en la superficie de la probeta S1 cae menos aceleradamente, al igual que la temperatura en el aire interior de la Casa térmica, que la probeta S0, y lo mismo ocurre con la probeta S2, con la que se disminuye también esa caída respecto a S1.

La probeta S3, la de mayor contenido en parafina, presenta la caída de temperatura, tanto en la superficie de suelo como en el aire interior, más suave y gradual. Ésta es la probeta que a lo largo de la Etapa IV descarga el calor acumulado de forma más mantenida en el tiempo, al final del ensayo la temperatura alcanzada es más alta en relación al resto de probetas, ya que se ha conservado constante por más horas en su cesión al aire interior de la Casa térmica.

Traduciendo este análisis a términos porcentuales, y poniendo el foco en la temperatura del aire interior, objeto final a calefatar, ésta cae un 14% y un 15% más lento empleando las probetas S1 y S2 respectivamente en comparación con el empleo de la probeta S0. En el caso de la probeta S3, la temperatura del aire interior desciende un 27% más gradual en relación al descenso que experimenta esta temperatura estudiando la probeta S0.

Por consiguiente, del estudio de las pendientes obtenidas de la ecuación que relaciona la temperatura, en la superficie de la probeta y en el aire interior de la Casa térmica, y el tiempo, de cada una de las probetas, evidencia que el mejor comportamiento de probeta de suelo se obtiene para el mayor contenido en parafina y el peor comportamiento para el contenido nulo en parafina. Además, contrastando únicamente los ensayos sobre las probetas de mayor y nulo contenido en parafina se revela una considerable diferencia de comportamiento entre las dos, asociable a sus contrapuestos contenidos en parafina.

4. CONCLUSIONES

Las conclusiones más importantes de este estudio se detallan a continuación:

- ♦ Se observa que el mayor contenido de parafina en la composición del mortero de cemento resulta óptimo para el almacenamiento de energía durante la etapa de carga del pavimento recibiendo el calor cedido por el sistema de calefacción por suelo radiante.
- ♦ La temperatura en la superficie de la probeta con mayor contenido en parafina desciende 4.2°C a lo largo de la etapa de descarga, de 444 minutos de duración, mientras que la probeta de contenido nulo en parafina desciende 1°C más durante esta etapa.
- ♦ El uso de PCM en capas de pavimento sobre suelo radiante mejora la inercia térmica del conjunto, acumula el calor mientras éste es cedido por el sistema de calefacción y cuando la cesión finaliza el material comienza a descargar progresivamente el calor. Su aplicación como técnica de construcción permitiría el uso del sistema de calefacción por menos tiempo, ahorrando en coste y emisiones a la atmósfera, para mantener el calor durante un periodo más prolongado en la estancia a calefatar a una temperatura idónea.

- ♦ El sistema de experimentación propuesto ha demostrado ser útil para verificar el comportamiento de cada probeta con distintos contenidos de PCM y ha permitido realizar un análisis de regresión para cada probeta ensayada.

En este estudio, al aumentar el contenido en parafina se observa una mejora en el comportamiento del material compuesto por mortero de cemento y el material de cambio de fase. Futuras líneas de investigación deberían explorar la eficiencia del sistema mediante el empleo de un mayor contenido de parafina, e incluso con un menor punto de fusión que pueda evidenciar de forma más consistente la mejora en el comportamiento del material compuesto. Además, resulta interesante explorar la posible existencia de una relación entre la distribución del material de cambio de fase en el interior de la estructura del mortero de cemento y la eficiencia del material compuesto.

Se propone el empleo de parafina en partículas de mayor tamaño a las obtenidas mediante el rallado de la cera, de manera que puedan distribuirse fácilmente de forma manual a la hora de fabricar la probeta de mortero de cemento, y estudiar la distribución más eficiente para absorber y ceder el calor uniformemente.

5. REFERENCIAS

- [1] A. Ramírez, "La construcción sostenible". Física y sociedad, Monográfico energía. ISSN-e 1131-8953, N.º 13 (2002) 30–33.
- [2] Parlamento Europeo. "Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética". Octubre 2012.
- [3] Ministerio de la Presidencia. "Real Decreto 235/2013, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios". Abril 2013.
- [4] K. Lin, Y. Zhang, X. Xu, H. Di, R. Yang, P. Qin, "Modeling and simulation of under-floor electric heating system with shape-stabilized PCM plates", *Build. Environ.* 39 (2004) 1427–1434. doi:10.1016/j.buildenv.2004.04.005.
- [5] J. Jeon, J.H. Lee, J. Seo, S.G. Jeong, S. Kim, "Application of PCM thermal energy storage system to reduce building energy consumption", *J. Therm. Anal. Calorim.* 111 (2013) 279–288. doi:10.1007/s10973-012-2291-9.
- [6] AEDENAT, CODA, CS de CCOO & UGT, *Ante el cambio climático, menos CO2*, 1998.
- [7] M. Domínguez, J. Culubret, D. García, C. García y A. Soto, «Posibilidades de los acumuladores de cambio de fase en la climatización.», *El instalador*, pp. 5-10, 2000.
- [8] D. Yoo y Y. Joshi, «Energy efficient thermal management of electronic components using solid-liquid phase change materials,» *IEEE Transactions on device and materials reliability*, vol. 4, n.º 4, 2004.
- [9] M. Farid y R. Husian, «An electrical storage heater using the phase-change method of heat storage,» *Energy Conversion and Management*, vol. 30, n.º 3, pp. 219-230, 1990.
- [10] M. Izquierdo-Barrientos, C. Sobrino y J. Almendros-Ibáñez, «Thermal energy storage in a fluidized bed of PCM,» *Chemical Engineering Journal*, vol. 230, pp. 573-583, 2013.
- [11] M. Avci y M. Yazici, «Experimental study of thermal energy storage characteristics of a paraffin in a horizontal tube-in-shell storage unit,» *Energy Conversion and Management*, vol. 73, pp. 271-277, 2013.
- [12] H. Mehling, L. Cabeza, S. Hippiel y S. Hiebler, «PCM-module to improve hot water heat stores with stratification,» *Renewable Energy*, vol. 28, n.º 5, pp. 699-711, 2003.

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.

Energy study of the envelope in metal containers for building

Estudio energético de la envolvente en contenedores metálicos para edificación

ANTONIO PÉREZ ARANDA

Graduado en Edificación. Jefe de sector en expansión de Bricomart.
Perezaranda89@gmail.com

JULIÁN ARCO DÍAZ

Doctor del Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería. Universidad de Granada. juliann@ugr.es

DAVID HIDALGO GARCÍA

Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería.
Universidad de Granada. dhidalgo@ugr.es

Currently, construction has undergone a change motivated by the crisis in the sector and by the new construction and comfort parameters that focus on lower-cost housing and energy consumption and greater sustainability. One of the solutions that stands out most in recent years within this approach to sustainability, cost and energy efficiency are prefabricated homes. Inside this sphere of possibilities, the use of maritime containers as a basis for a residential construction system is becoming a reality. However, it is necessary to establish intervention criteria on its envelope that allow interior conditions or comfort at a minimum cost. Complementing the envelope of the container with thermal and acoustic insulation and establishing a system of air conditioning by radiation become fundamental activities to reach the goal of achieving the habitability of this element. The objective of this article is to compare several constructive solutions on the envelope of a maritime container in order to establish the best solution to achieve its habitability through the optimal relationship between efficiency and economic cost. The methodology carried out has consisted in the study, through energy efficiency programs, of the most suitable location both of the insulation and of the different paraments to be radiated by means of a geothermal air conditioning system. The results obtained indicate that the placement of the insulation on the outer face of the container improves the demand for heating by 104.09% and the demand for cooling by 114.89%, while the radiation by floor, walls and ceiling allows the elimination of complementary air conditioning systems to reach comfort temperatures.

Comfort; containers; envelope; habitability; prefabricated homes.

En la actualidad, la construcción está experimentando un cambio motivado por la crisis del sector y por los nuevos parámetros de construcción y confort que se enfocan hacia viviendas de menor coste y consumo energético y mayor sostenibilidad. Una de las soluciones que más está destacando en los últimos años dentro de este enfoque de sostenibilidad, coste y eficiencia energética son las viviendas prefabricadas. Dentro de esta esfera de posibilidades, el uso de contenedores marítimos como base para un sistema de construcción residencial se está convirtiendo en una realidad. Para ello, es necesario establecer unos criterios de intervención sobre su envolvente que permitan unas condiciones interiores de confort a un mínimo coste. Complementar la envolvente del contenedor con aislamiento térmico y establecer un sistema de climatización por radiación se convierten en actividades fundamentales para llegar a conseguir el objetivo de habitabilidad en estos elementos. Este artículo tiene como objetivo comparar varias propuestas constructivas sobre la envolvente de un contenedor marítimo, y así establecer la mejor solución que permita conseguir su habitabilidad mediante la óptima relación entre la eficiencia y el coste económico. La metodología llevada a cabo ha consistido en el estudio, mediante programas de eficiencia energética, de la ubicación más adecuada tanto del aislamiento como de los distintos paramentos a radiar mediante un sistema de climatización por geotermia. Los resultados obtenidos indican que la colocación del aislamiento por la cara exterior del container mejora en un 104,09% la demanda en calefacción y en un 114,89% la demanda en refrigeración, mientras que la radiación por suelo, paredes y techo permite la eliminación de los sistemas complementarios de climatización para alcanzar temperaturas de confort.

Confort; contenedores; envolvente; habitabilidad; viviendas prefabricadas.

1. INTRODUCCIÓN

Hasta la década de los años 50 no comenzó a utilizarse el contenedor como elemento de transporte marítimo. Su llegada supuso una completa revolución dentro del mercado del almacenamiento y transporte de mercancías, siendo una de las mejores innovaciones para el comercio mundial [1].

En líneas generales, un contenedor es un depósito estanco de carga principalmente para el transporte marítimo aunque también es compatible con el transporte terrestre: ferrocarril y camión. Protegen las mercancías de la climatología y la normativa que regula su proceso de fabricación es la ISO-668. Su estructura es capaz de soportar fuertes acciones exteriores al mínimo precio posible. Las bases son rígidas y resistentes ya que están realizadas con un entramado de perfiles metálicos [2]. La envolvente se encuentra constituida por perfiles tubulares cuadrados y chapa metálica plegada. Esta última se encuentra soldada a los perfiles con el objetivo de conseguir mayor resistencia del elemento. De esta forma, los contenedores cuentan con una gran resistencia a las acciones de compresión, tracción, flexión, flexo-tracción y flexo-compresión [3]. Por su interior, cuenta con una capa de recubrimiento especial anti-humedad para garantizar la estanqueidad de la mercancía transportada [4].

El gran éxito que ha proporcionado el contenedor marítimo a los sistemas de transporte ha permitido que el mismo se establezca dentro de otros ámbitos, entre los cuales se encuentra la construcción.

La decisión de cambiar el uso para el que se creó el contenedor al de vivienda la comenta el autor Luis de Garrido: "lo más importante es que se da la curiosa coincidencia que, con ciertos matices, los espacios que han sido proyectados para almacenar y transportar mercancías, tienen una escala humana adecuada. Es decir, son muy válidos para proyectar espacios habitables" [5].

La utilización de contenedores marítimos dentro del ámbito de la construcción de edificaciones no se llevó cabo hasta la década de los años 70 debido a la necesidad de manipular y almacenar materiales en el Ártico, (véase fig. 1).

La puesta en marcha de esta idea fue obra de la empresa *Steadman Industries*. Posteriormente, en el año 1987, el autor Philip Clarck, presentó una patente indicada como "método para convertir uno o más contenedores metálicos marítimos en un edificio habitable en el lugar de construcción y el producto que de ellos resulta" [6]. La patente fue concedida en 1989 y constituyó uno de los primeros ejemplos de uso del contenedor con fines distintos para el que se había inventado.

Durante la Guerra del Golfo Pérsico en el año 1991, y debido a sus características resistentes, las tropas estadounidenses empezaron a utilizarlos como refugios. Para

ello, se protegieron las paredes del container con sacos de arena, de tal forma que se convertían en un elemento de protección suficiente contra el impacto de armamento.

A día de hoy, a parte de su uso original, podemos encontrar contenedores como módulos de oficinas, herramientas publicitarias y sobre todo como viviendas sostenibles. Esta circunstancia es debida fundamentalmente a su multifuncionalidad, a la capacidad resistente que ofrece y a la existencia de una gran cantidad de container que han quedado desechados como consecuencia de la crisis que se está viviendo en el sector del transporte en los últimos años [7].



Figura 1: Primera edificación mediante contenedores metálicos marítimos. Fuente: Sustainable architecture containers. L. Garrido.

Se exponen a continuación algunos de los ejemplos más referentes del uso del container como viviendas [8], [9] y [10]:

1. Vivienda Filthex. En el año 1995, el estudio *MMW architecs* diseñó y construyó una vivienda mediante container completamente autosuficiente con instalación solar y depósitos de agua. El único requisito para su construcción fue la de disponer de un solar para su montaje.
2. Mobile Dwelling unit. Apartamento del año 2003 cuya característica principal es que las paredes laterales permiten deslizarse hacia el exterior para ampliar el espacio, y a su vez, permiten guardarse en caso de necesitar ser transportado.
3. Redondo Beach House. Constituye la primera vivienda con dos plantas de altura construida en el año 2006.
4. R4 House. Esta vivienda está considerada como un referente internacional de sostenibilidad ya que cumple todos los aspectos relacionados con la eficiencia energética y la sostenibilidad. (Véase fig.2).
5. Container Guest House. La edificación se usa como casa de huéspedes y cuenta con todas las instalaciones de una vivienda normal. El contenedor que alberga esta vivienda

es de 12 metros de largo.

6. Six Oaks. Vivienda unifamiliar diseñada como refugio en Felton, (California). Se compone de 6 container de 6 metros de largo cada uno de ellos otorgando una superficie construida total de 112 m². Esta vivienda presta mucha atención a la integración de los módulos en la naturaleza de forma que se entrelazan.
7. Container City I. Ubicado en los alrededores de la ciudad de Londres es un edificio destinado a viviendas. Se su diseño se encargó el estudio Nicholas Lacey&Partners de Londres. En la figura 3 se puede observar que consta de 4 plantas de altura y alberga un total de 15 viviendas. Tras pasar un año desde su construcción, y debido al éxito obtenido con el anterior, se construyó otro edificio igual anexo al anterior.



Figura 2: R4 House. Fuente: Sustainable architecture containers. L. Garrido.

Los ejemplos mostrados demuestran que este tipo de construcciones son completamente viables y su repercusión dentro del ámbito residencial empieza a tomar cierta importancia [11] y [12].

En la actualidad, y como consecuencia del aumento de la población mundial, se está produciendo un incremento de la superficie edificada y de la demanda energética para llevarla a cabo y abastecerla [13]. Según datos de la Unión Europea se estima un crecimiento de la superficie edificada de 230.000 millones de metros cuadrados en los próximos 40 años [14] lo que equivale a valores inimaginables de emisiones de CO₂ asociadas al sector. Estas circunstancias unidas a la escasez de suelo y al incremento considerable del precio de la vivienda tradicional está promoviendo el uso de viviendas prefabricadas de menor coste y consumo energético y mayor sostenibilidad [15]. Tómese como referencia las noticias publicadas durante el mes de Junio de 2018 en diversos medios de comunicación en relación a la utilización de este tipo de edificaciones para uso residencial por parte de los Ayuntamientos de Barcelona y Tokio. En España y según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), en los tres últimos años, (2015-2018), se ha triplicado el uso de ese tipo de viviendas situándose en torno a las 9.000 en el año 2018

[16].

En la bibliografía actual es habitual encontrar referencias en relación al estudio de la eficiencia energética que genera la colocación de aislamientos en fachadas de viviendas tradicionales. Así, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) indica que una fachada con aislamiento permite ahorrar entre un 30 y un 60% de energía, y a su vez, contribuye a la reducción en un 30% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmosfera [17].

El importante aumento de viviendas prefabricadas dentro del sector de la construcción hace necesario el estudio de la eficiencia energética de su envolvente al objeto de conseguir la habitabilidad del mismo. Esta se consigue mediante la colocación de un aislamiento térmico y la instalación de un sistema de climatización radiante que permita la obtención de



Figura 3: Container City I. Fuente: www.construible.com. Fecha de consulta: 28/03/2018.

temperaturas de confort. Posiblemente, esta intervención conlleve la mayor inversión económica para su adaptación a uso residencial. Por tanto, un estudio detallado de las diversas opciones constructivas permitiría establecer, previa a la intervención, el sistema más adecuado para conseguir una óptima relación entre la eficiencia y el coste económico.

2. METODOLOGIA

El sistema constructivo para conseguir espacios habitables con contenedores marítimos ha ido evolucionando con el paso del tiempo. La metodología seguida en esta investigación va a consistir en establecer una serie de premisas y soluciones constructivas previas para posteriormente comprobar que funcionan adecuadamente y cumplen con las indicaciones y requisitos establecidos en el Código Técnico de la Edificación (CTE) [18].

La presente investigación se centra en el estudio, mediante programas de eficiencia energética, de la envolvente del container por tratarse de un elemento fundamental en el cumplimiento del objetivo de habitabilidad. Para ello, es

necesario complementar la envolvente del contenedor con aislamiento térmico y establecer un sistema de climatización. Se incluye un estudio económico comparativo con el objetivo de determinar cuáles son las más adecuadas teniendo en cuenta la relación eficiencia-rentabilidad.

Las medidas previamente establecidas para el análisis sostenible de la envolvente del contenedor son las siguientes [19], [20], [21]:

1. Estudio del lugar apropiado para la ubicación del aislamiento térmico mediante paneles de corcho natural de densidad 100 kg/m² y conductividad térmica de 0.037 W/m*K de la marca comercial Barnacork. Como premisa se establecen tres opciones: sin aislamiento, aislamiento ubicado en el interior de la envolvente del contenedor o ubicado en el exterior.
2. Estudio del sistema de climatización eficiente mediante instalación de geotermia para geocooling a partir de sondas helicoidales con tres opciones de radiación: solo en suelo, en suelo y techo y por último, en suelo, techo y paredes.

Para poder marcar los requisitos y características a cumplir en la normativa, es necesario establecer los aspectos condicionantes que van a delimitar los umbrales para su cumplimiento. Estos, se pueden observar en la tabla 1:

El cálculo de los elementos y sistemas constructivos para comprobar el cumplimiento de la normativa se ha realizado mediante herramientas informáticas apoyando su desarrollo

Emplazamiento	Granada
Zona Climática CTE	C3
Superficie útil	27,96 m ² .
Volumen recinto	76,14 m ³ .
Caudal renovación aire	48 m ³ /hora
Valor límite demanda calefacción	55,80 kWh/(m ² x año)
Valor límite demanda refrigeración	15,00 kWh/(m ² x año)
Temperatura confort anual	24°C

Tabla 1: Datos de partida. Fuente: Elaboración propia.

en base a cálculos teóricos. Estas herramientas han sido: Cype (versión Campus 2018) y Lider-Calener (versión 1.0.1564.1124, de 03 de marzo de 2017). Con el primero se ha elaborado la maqueta virtual y se ha sometido a cálculo para dimensionar la envolvente térmica y la instalación de climatización radiante en base al cumplimiento del Código Técnico de la Edificación [18]. Posteriormente, con Lider-Calener se ha realizado la calificación energética de las

hipótesis planteadas al objeto de poder establecer comparativas de resultados.

En base a lo indicado, el primer paso consiste en el estudio del lugar apropiado para la colocación del aislamiento térmico en la envolvente del contenedor. Tal y como se ha indicado, se estudian tres opciones previas: sin aislamiento, con aislamiento por el interior de la envolvente del contenedor y por último, mediante aislamiento ubicado en el exterior.

En el caso de viviendas tradicionales existen estudios que afirman que la utilización de aislamientos por la cara exterior del paramento permite ahorros energéticos superiores, (3-5% de ahorro) en comparación con la utilización del aislamiento por la cara interior del cerramiento o inyectado en la cámara interna. Esto es debido a la influencia que tiene la inercia térmica en el interior del cerramiento [22].

No obstante, y al objeto de corroborar si los porcentajes obtenidos en las viviendas tradicionales varían con respecto a la utilización de container para viviendas se exponen los datos de la maqueta virtual obtenida mediante el programa Cype y en base a las tres hipótesis de cálculo planteadas:

Hipótesis 1: Contenedor original sin aislamiento.

En la Tabla 2 se puede observar como la solución de no disponer de aislamiento en la envolvente no permite cumplir con los requisitos de limitación de la demanda de energía establecidos en el Código Técnico de la Edificación, Documento Básico- Ahorro de Energía 1, (CTE-DB-HE 1 (versión Junio de 2017)), tanto de calefacción como de refrigeración. Las potencias necesarias son excesivas y las amplitudes de temperatura muy extremas no siendo aptas para la habitabilidad en el interior del recinto.

$D_{cal, edificio} = 380,63 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{año}) > 55,80 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{año})$.

$D_{ref, edificio} = 39,24 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{año}) > 15,00 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{año})$.

En base a los datos obtenidos y según el CTE-DB-HE 0 y HE-1 (versión Junio de 2017), el container presenta una calificación energética global de energía primaria no renovable de 419,87, (letra G) kWh/(m²/año). La calificación energética global en emisiones es de 104,58 kgCO₂/m² año, (letra G). Por último, la calificación parcial de la demanda energética de calefacción y refrigeración es de 380,63, (letra G) kWh/(m²/año) y 39,24, (letra F) kWh/(m²/año) respectivamente.

Hipótesis 2: Contenedor original con aislamiento por el interior.

Con esta hipótesis, (véase tabla 3) se cumplen los requisitos de limitación de demanda de energía establecidos en el CTE-DB-HE 1, tanto de calefacción como de refrigeración. Las potencias necesarias son adecuadas y las amplitudes de

Hipótesis 1 - Container Original					
Demanda	Demanda Calefacción	Existente	380,63		kWh/(m ² /año)
		Límite	48,70		
	Demanda Refrigeración	Existente	39,24		
		Límite	15,00		
Potencia	Potencia Total/superficie	Calefacción	621,40		W/m ²
		Refrigeración	210,80		
	Potencia Total	Calefacción	21.686,80		W
		Refrigeración	7.355,50		
	Potencia pico/mes	Calefacción	Enero	2.509,90	kWh/mes
		Refrigeración	Agosto	453,40	
	Potencia pico/día	Calefacción	140,00		W/m ²
		Refrigeración	88,00		
Potencia típica	Calefacción	74,59		W/m ²	
	Refrigeración	51,97			
Demanda Típica	Demanda típica por día activo	Calefacción	1,57		kWh/m ²
		Refrigeración	0,34		
Actividad necesaria climatización	Nº Días activos	Calefacción	243,00		Días
		Refrigeración	117,00		
	Nº horas activas/actividad	Calefacción	21,00		Horas
		Refrigeración	6,00		
	Total horas activas	Calefacción	5.103,00		Horas
		Refrigeración	702,00		
Variación Temperaturas	Tª Interior	Máxima	39,00		°C
		Mínima	7,00		
		Amplitud	32,00		
	Tª Exterior	Máxima	30,00		
		Mínima	3,00		
		Amplitud	27,00		

Tabla 2: Estudio de envolventes térmicas mediante los datos de la Hipótesis 1. Fuente: Elaboración propia.

temperatura podrían ser consideradas aptas para la habitabilidad en el interior del recinto. Destacar que con esta solución, y en relación a la hipótesis anterior, se reduce en 2.848 horas al año, (5.103-2.255) la necesidad de calefacción y en 93 horas, (702-609) las de refrigeración.

Dcal, edificio= 39,24 kWh/(m² x año) < 55,80 kWh/(m² x año).

Dref, edificio= 11,61 kWh/(m² x año) < 15,00 kWh/(m² x año).

En base a los datos obtenidos y según el CTE-DB-HE 0 y HE-1, el container presenta una calificación energética global de energía primaria no renovable de 50,85, (letra B) kWh/(m²/año). La calificación energética global en emisiones es de

Hipótesis 2 - Contenedor con aislamiento por el interior					
Demanda	Demanda Calefacción	Existente	39,24		kWh/(m ² /año)
		Límite	51,80		
	Demanda Refrigeración	Existente	11,61		
		Límite	15,00		
Potencia	Potencia Total/superficie	Calefacción	63,80		W/m ²
		Refrigeración	29,60		
	Potencia Total	Calefacción	2.003,50		W
		Refrigeración	928,50		
	Potencia pico/mes	Calefacción	Enero	297,00	kWh/mes
		Refrigeración	Julio	130,50	
	Potencia pico/día	Calefacción	44,00		W/m ²
		Refrigeración	26,00		
Potencia típica	Calefacción	16,21		W/m ²	
	Refrigeración	18,46			
Demanda Típica	Demanda típica por día activo	Calefacción	0,19		kWh/m ²
		Refrigeración	0,13		
Actividad necesaria climatización	Nº Días activos	Calefacción	205,00		Días
		Refrigeración	87,00		
	Nº horas activas/actividad	Calefacción	11,00		Horas
		Refrigeración	7,00		
	Total horas activas	Calefacción	2.255,00		Horas
		Refrigeración	609,00		
Variación Temperaturas	Tª Interior	Máxima	30,00		°C
		Mínima	14,00		
		Amplitud	16,00		
	Tª Exterior	Máxima	30,00		
		Mínima	3,00		
		Amplitud	27,00		

Tabla 3: Estudio de envolventes térmicas mediante los datos de la Hipótesis 2. Fuente: Elaboración propia.

12,48 kgCO₂/m² año, (letra B). Por último, la calificación parcial de la demanda energética de calefacción y refrigeración es de 39,24, (letra C) kWh/(m²/año) y 11,61, (letra B) kWh/(m²/año).

Hipótesis 3: Contenedor original con aislamiento por el exterior.

Con esta hipótesis, (véase tabla 4) se cumplen los requisitos de limitación de demanda de energía establecidos en el CTE-DB-HE 1, tanto de calefacción como de refrigeración. Las

Hipótesis 3 - Contenedor con aislamiento por el exterior						
Demanda	Demanda Calefacción	Existente	42,23		kWh/ (m ² / año)	
		Límite	55,80			
	Demanda Refrigeración	Existente	11,39			
		Límite	15,00			
Potencia	Potencia Total/superficie	Calefacción	65,90		W/m ²	
		Refrigeración	27,70			
	Potencia Total	Calefacción	1.845,80		W	
		Refrigeración	774,50			
	Potencia pico/mes	Calefacción	Enero	285,00		kWh/ mes
		Refrigeración	Julio	115,50		
	Potencia pico/día	Calefacción	47,00		W/m ²	
		Refrigeración	26,00			
Actividad necesaria climatización	Nº Días activos	Calefacción	204,00		Días	
		Refrigeración	83,00			
	Nº horas activas/actividad	Calefacción	11,00		Horas	
		Refrigeración	7,00			
	Total horas activas	Calefacción	2.244,00		Horas	
		Refrigeración	581,00			
Variación Temperaturas	Tª Interior	Máxima	29,00		°C	
		Mínima	14,50			
		Amplitud	14,50			
	Tª Exterior	Máxima	30			
		Mínima	3,00			
		Amplitud	27,00			

Tabla 4: Estudio de envoltantes térmicas mediante los datos de la Hipótesis 3. Fuente: Elaboración propia.

potencias necesarias son adecuadas y las amplitudes de temperatura podrían ser consideradas aptas para la habitabilidad en el interior del recinto. Destacar que con esta solución, y en relación a la anterior, se reduce en 11 horas al año, (2.255-2.244) la necesidad de calefacción y en 28 horas, (609-581) las de refrigeración.

$D_{cal, edificio} = 42,23 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{año}) < 55,80 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{año})$.

$D_{ref, edificio} = 11,39 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{año}) < 15,00 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{año})$.

En base a los datos obtenidos y según el CTE-DB-HE 0 y HE-1, el container presenta una calificación energética global de energía primaria no renovable de 53,62, (letra B) kWh/(m²/año). La calificación energética global en emisiones es de 14,95 kgCo₂/m² año, (letra C). Por último, la calificación parcial de la demanda energética de calefacción y refrigeración es de 42,23, (letra C) kWh/(m²/año) y 11,39, (letra B) kWh/(m²/año).

A continuación, se procede al estudio de la instalación de

climatización propuesta a partir de distintas hipótesis de cálculo: climatización por suelo radiante, climatización por suelo y techo radiante y por último, climatización por suelo, techo y pared radiante. El objetivo es poder comparar el rendimiento y los resultados obtenidos mediante cálculos físicos con los obtenidos mediante el programa de cálculo Cype. De esta forma, se podrá demostrar la relación existente entre la superficie radiante de los paramentos del recinto y la temperatura interior del mismo. Esta última se ha fijado en una temperatura de confort de 24°C a lo largo de todo el año [23].

Hipótesis 1: Climatización por suelo radiante.

Observando la gráfica de la figura 4, obtenida a partir de los datos de cálculo de la tabla 5, se obtiene los siguientes resultados:

La temperatura del aire interior se encuentra entre los 14,5°C y los 29°C, presentando una oscilación térmica de 14,5°C.

La temperatura de las superficies de climatización radiante oscilan entre los 115°C y -22°C teniendo una amplitud de 137°C. Es necesario indicar que estos datos se han estudiado en régimen estático, por tanto, los valores obtenidos pueden ser considerados como temperaturas excesivas [24].

En esta solución se precisan temperaturas superficiales muy altas, (como muestra la elevada pendiente que presenta la recta de la gráfica), por lo que presenta una demanda

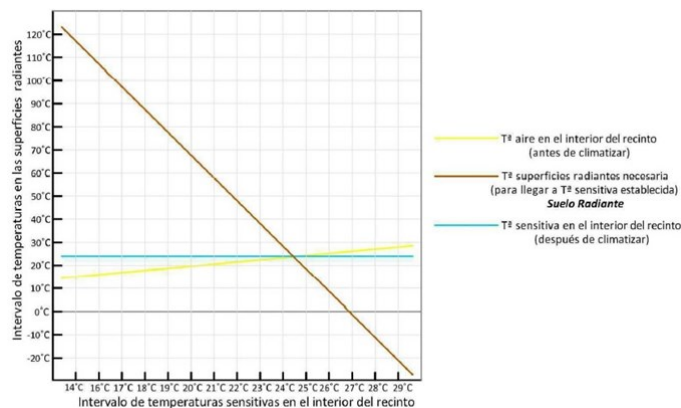


Figura 4: Gráfica de temperaturas radiantes en hipótesis 1. Fuente: Elaboración propia

energética muy alta para conseguir el objetivo de habitabilidad y confort planteado.

Hipótesis 2: climatización con suelo radiante por suelo y techo.

Observando la gráfica de la figura 5, obtenida a partir de los datos de cálculo establecidos en la tabla 6, se obtiene los siguientes resultados:

La temperatura del aire interior oscila entre los 14,5°C y los 29°C, presentando una oscilación térmica de 14,5°C.

La temperatura de las superficies de climatización radiante oscilan entre los 63,6 °C y 3,89°C teniendo una amplitud de

Superficies	Dim. A (m)	Dim. B (m)	Uds Parámetro	Hueco (A x B) (m)		Uds Hueco	Total Superficie (m ²)	Superficies Radiantes (m ²)	Superficies no Radiantes (m ²)	Superficies Ventanas (m ²)
Suelo	12	2,35	1				28,2	28,2		
Techo	12	2,35	1				28,2		28,2	
Pared lateral sin ventana	12	2,7	1				32,4		32,4	
Pared lateral con ventana	12	2,7	1	3	1	1	29,9		29,9	
Ventanas traseras	2,35	2,7	2				12,69			12,69
Ventana lateral	2,5	1	1				2,5			2,5
Sup total							133,89	28,2	90,5	15,19
Amplitud de T ^a en el recinto	T ^a Sensitiva deseada (°C)		T ^a Aire Interior (°C)			T ^a Superficies no radiantes (°C)		T ^a Huecos (Cristal) (°C)		T ^a Superficies radiantes (°C)
	24		Min. 14,5	Max. 29		Min. 12	Max. 30	Min. 10	Max. 30	Dato objeto de cálculo

Tabla 5: Datos utilizados para el cálculo de temperaturas radiantes en hipótesis 1. Fuente: Elaboración propia.

Superficies	Dim. A (m)	Dim. B (m)	Uds Parámetro	Hueco (A x B) (m)		Uds Hueco	Total Superficie (m ²)	Superficies Radiantes (m ²)	Superficies no Radiantes (m ²)	Superficies Ventanas (m ²)
Suelo	12	2,35	1				28,2	28,2		
Techo	12	2,35	1				28,2	28,2		
Pared lateral sin ventana	12	2,7	1				32,4		32,4	
Pared lateral con ventana	12	2,7	1	2,5	1	1	29,9		29,9	
Ventanas traseras	2,35	2,7	2				12,69			12,69
Ventana lateral	2,5	1	1				2,5			2,5
Sup total							133,89	56,4	62,3	15,19

Amplitud de T ^a en el recinto	T ^a Sensitiva deseada (°C)	T ^a Aire Interior (°C)		T ^a Superficies no radiantes (°C)		T ^a Huecos (Cristal) (°C)		T ^a Superficies radiantes (°C)
		24	Min. 14,5	Max. 29	Min. 12	Max. 30	Min. 10	Max. 30

Tabla 6: Datos utilizados para el cálculo de temperaturas radiantes en hipótesis 2. Fuente: Elaboración propia.

59,71°C. Es necesario indicar que estos datos se han estudiado en régimen estático, por tanto, se siguen obteniendo temperaturas excesivas.

Se observa como al incrementar la superficie radiante de

climatización, (refrigeración y calefacción) disminuye de forma considerable la temperatura necesaria para cumplir con las condiciones de confort y habitabilidad. No obstante, se siguen necesitando unas temperaturas muy altas para

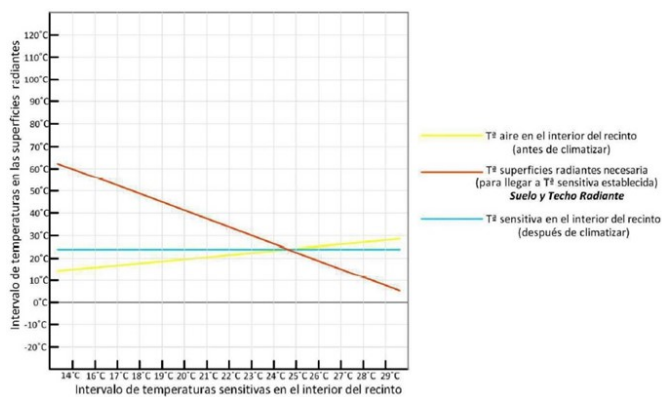


Figura 5: Gráfica de temperaturas radiantes en hipótesis 2. Fuente: Elaboración propia.

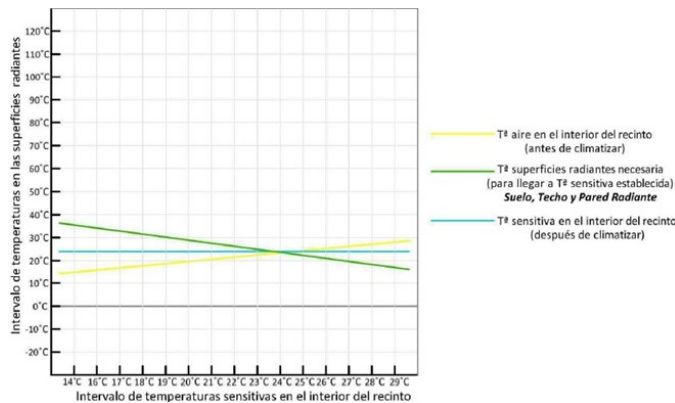


Figura 6: Gráfica de temperaturas radiantes en hipótesis 3. Fuente: Elaboración propia.

conseguir el objetivo de temperatura interior marcado en 24°C.

Hipótesis 3: Climatización por suelo, techo y paredes radiantes:

Observando la gráfica de la figura 6, obtenida a partir de los datos de cálculo establecidos en la tabla 7, se obtiene los siguientes resultados:

La temperatura del aire interior oscila entre los 14,5 y los 29°C, presentando una oscilación térmica de 14,5 °C.

La temperatura de las superficies de climatización radiante oscilan entre los 36,5 °C y 17,6°C teniendo una amplitud de 18,9 °C. Es necesario indicar que estos datos se han estudiado en régimen estático, por tanto, se obtienen temperaturas excesivas.

En esta hipótesis se observa como al aumentar al máximo la superficie radiante de climatización, (refrigeración y calefacción), disminuye de forma considerable la temperatura necesaria. De esta forma, se puede abastecer el sistema de

energía con mayor facilidad ya que la demanda es más baja.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tras el estudio de las hipótesis planteadas en relación a las posibles soluciones sobre la envolvente del container al objeto de adaptarlo a uso residencial, se exponen los resultados obtenidos al objeto de proceder a la discusión de los mismos. Con respecto a la posición del aislamiento, en la tabla 8 se presenta el resumen de los resultados obtenidos.

Como se puede observar, la reducción en el consumo de energía tanto para calefacción como para refrigeración se produce mediante la utilización del aislamiento indicado. Sin la utilización de este se considera impensable la posibilidad de utilizar el container con fines residenciales. Su ubicación, tanto en el interior como en el exterior, permite cumplir los requisitos de limitación de la demanda de energía establecida en el CTE-DB-HE-1 ya que las potencias son adecuadas y las temperaturas se encuentran dentro de los límites de confort térmico.

Superficies	Dim. A (m)	Dim. B (m)	Uds Param o	Hueco (A x B) (m)	Uds Hueco	Total Superficie (m ²)	Superficies Radiantes (m ²)	Superficies no Radiantes (m ²)	Superficies Ventanas (m ²)
Suelo	12	2,35	1			28,2	28,2		
Techo	12	2,35	1			28,2	28,2		
Pared lateral sin ventana	12	2,7	1			32,4	32,4		
Pared lateral con ventana	12	2,7	1	2,5	1	29,9	29,9		
Ventanas traseras	2,35	2,7	2			12,69			12,69
Ventana lateral	2,5	1	1			2,5			2,5
Sup total						133,89	118,7	0	15,19

Amplitud de Tª en el recinto	Tª Sensitiva deseada (°C)	Tª Aire Interior (°C)		Tª Superficies no radiantes (°C)		Tª Huecos (Cristal) (°C)		Tª Superficies radiantes (°C)
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
	24	14,5	29	12	30	10	30	Dato objeto de cálculo

Tabla 7: Datos utilizados para el cálculo de temperaturas radiantes en hipótesis 3. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 9 se reflejan los datos comparativos entre la hipótesis 2: container con aislamiento interior y la hipótesis 3: container con aislamiento exterior. Se aprecia que ambas no presentan grandes diferencias con respecto a la demanda de calefacción y refrigeración pero la hipótesis 3 obtiene mayor porcentaje de eficiencia. El motivo es que al situar el aislamiento en la cara exterior de la envolvente colabora de forma más adecuada en el confort del recinto ya que se ubica en el interior el material que dispone de mayor inercia térmica, (véase fig. 8). Esta circunstancia ya ha sido indicada con anterioridad como algo habitual en las viviendas construidas con sistemas tradicionales [22].

Otra cuestión importante a tener en cuenta es la diferencia de precio entre ambas soluciones. La hipótesis 3 requeriría disponer de una fachada ventilada que proteja el aislamiento de las condiciones climáticas. En ambas opciones se estima necesaria la utilización de un sistema interior de trasdosado auto portante de placas de fibra de madera tipo OSB. Según precios de mercado, la solución constructiva de la hipótesis 2 tendría un coste económico de 61,54 €/m². Por tanto, el importe total de la intervención sería de 5.263 €. En el caso de la hipótesis 3, el coste económico sería de 128,95 €/m², suponiendo un importe total de 10.227 €. No obstante, la hipótesis 2 cuenta con un inconveniente importante y es la reducción de la superficie útil del container en un espacio ya pequeño de partida.

En relación a la calificación energética del container, indicar que según los cálculos realizados con el programa líder-calener, ambas soluciones obtendrían una letra B con respecto a la energía primaria consumida, permitiendo reducciones del 87,40 % para la hipótesis 2 y del 87,85% para la hipótesis

Demanda	Margen hasta el límite de cumplimiento	Calefacción	Mejora	0,31%
		Refrigeración	Mejora	0,90%
Potencia	Reducción de potencia Total/superficie	Calefacción	Empeora	1,66%
		Refrigeración	Mejora	0,90%
	Reducción de potencia Total	Calefacción	Mejora	0,73%
		Refrigeración	Mejora	2,09%
	Reducción de potencia pico/mes	Calefacción	Mejora	0,47%
		Refrigeración	Mejora	3,31%
Reducción de potencia pico/día	Calefacción	Empeora	-2,14%	
	Refrigeración	Mejora	0,00%	
Potencia típica	Calefacción	Empeora	-1,53%	
	Refrigeración	Empeora	-2,25%	
Actividad necesaria climatización	Reducción Nº Días activos	Calefacción	Mejora	0,41%
		Refrigeración	Mejora	3,42%
	Reducción Nº horas activas/actividad	Calefacción	Mejora	0,00%
		Refrigeración	Mejora	0,00%
Reducción Total horas activas	Calefacción	Mejora	0,22%	
	Refrigeración	Mejora	3,99%	
Variación Temperaturas	Reducción Tª Interior	Máxima	Mejora	1,00 °C
		Mínima	Mejora	0,50 °C
		Amplitud	Mejora	1,00 °C
	Reducción Tª Exterior	Máxima	No varía	
		Mínima	No varía	
		Amplitud	No varía	

Dato		1. Container Original		2. Container con aislamiento interior		3. Container con aislamiento exterior	
Demanda	Margen hasta el límite de cumplimiento	Calefacción	-331,93	12,56	Mejora 103,78%	13,57	Mejora 104,09%
		Refrigeración	-24,24	3,39	Mejora 113,99%	3,61	Mejora 114,89%
Potencia	Reducción de potencia	Calefacción	0	557,60	Mejora 89,73%	555,50	Mejora 89,39%
		Refrigeración	0	181,20	Mejora 85,96%	183,10	Mejora 86,86%
	Reducción de potencia Total	Calefacción	0	19683,30	Mejora 90,76%	19841,00	Mejora 91,49%
		Refrigeración	0	6427,00	Mejora 87,38%	6581,00	Mejora 89,47%
	Reducción de potencia pico/mes	Calefacción	0	2212,90	Mejora 88,17%	2224,90	Mejora 88,64%
		Refrigeración	0	322,90	Mejora 71,22%	337,90	Mejora 74,53%
Reducción de potencia pico/día	Calefacción	0	96,00	Mejora 68,57%	93,00	Mejora 66,43%	
	Refrigeración	0	62,00	Mejora 70,45%	62,00	Mejora 70,45%	
Actividad necesaria climatización	Reducción Nº Días activos	Calefacción	0	38,00	Mejora 15,64%	39,00	Mejora 16,05%
		Refrigeración	0	30,00	Mejora 25,64%	34,00	Mejora 29,06%
	Reducción Nº horas activas/actividad	Calefacción	0	10,00	Mejora 47,62%	10,00	Mejora 47,62%
		Refrigeración	0	-1,00	Empeora -16,67%	-1,00	Empeora -16,67%
Reducción Total horas activas	Calefacción	0	2848,00	Mejora 55,81%	2859,00	Mejora 56,03%	
	Refrigeración	0	93,00	Mejora 13,25%	121,00	Mejora 17,24%	
Variación Temperaturas	Reducción Tª Interior	Máxima	0	9,00	Mejora 9,00 °C	10,00	Mejora 10,00 °C
		Mínima	0	7,00	Mejora 7,00 °C	7,50	Mejora 7,50 °C
		Amplitud	0	16,00	Mejora 16,00 °C	17,50	Mejora 17,50 °C
	Reducción Tª Exterior	Máxima	0	0,00	No varía	0,00	No varía
		Mínima	0	0,00	No varía	0,00	No varía
		Amplitud	0	0,00	No varía	0,00	No varía

Tabla 8: Estudio de envolventes térmicas mediante los datos de la Hipótesis. Fuente: Elaboración propia

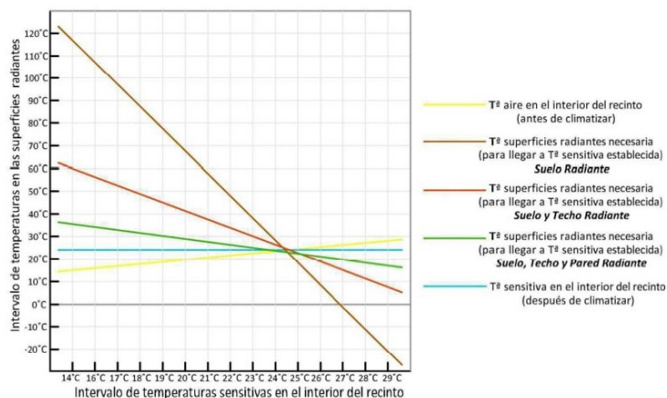


Figura 7: Gráfica comparativa de temperaturas radiantes en hipótesis del sistema de climatización. Fuente: Elaboración propia.

climatización lo que implica una disminución de la demanda energética del container [26].

En relación a los precios que presentan las tres soluciones planteadas para el sistema de climatización, indicar que según precios de mercado, la solución de suelo radiante tendría un coste de 14.622 €. La solución de suelo y techo radiante tendría un coste económico de 15.756 € y por último, la solución de suelo, techo y paredes radiantes, un coste de 17.842 €.

Según los datos obtenidos en los cálculos, la solución establecida como más idónea consistiría en la colocación de un aislamiento por el exterior de la envolvente del container y

Dato		1. Container Original		2. Container con aislamiento interior		3. Container con aislamiento exterior					
Demanda	Calefacción	-331,93	kWh/ (m2/año)	12,56	kWh/ (m2/año)	Mejora 103,78%		13,57	Mejora 104,09%		
	Refrigeración	-24,24		3,39		Mejora 113,99%		3,61	Mejora 114,89%		
Coste intervención	Aislamiento	2565	€	5263	€	Incremento 205%		10227	Incremento 398,71%		
	Climatización	14622		15756		Incremento 107,70%		17842	€	Incremento 119,52%	
	Total	14622		21019		Incremento 143,75%		28069	Incremento 191,91%		
Coste Energía		2535	€/año	580	€/año	Reducción 77,12%		0	€/año	Reducción 100%	
Plazo Amortización				4 años			11 años				
Calificación energética	Energía Primaria	G		B		Reducción 87,40%		B		Reducción 87,85%	
	Emisiones Co2	G		C		Reducción 85,75%		B		Reducción 88,06%	

Tabla resumen - Hipótesis 1 con respecto a 2 y 3 (soluciones constructivas sobre contenedor)

3. En relación a las emisiones de dióxido de carbono, la hipótesis 2 obtendría una valoración de C mientras que la hipótesis 3 una valoración de B, lo que supone una reducción del 85,75% y del 88,06% respectivamente.

En la gráfica de la figura 7 se representan las distintas hipótesis planteadas con respecto al sistema de climatización. Resulta evidente que el aumento de superficies radiantes disminuye considerablemente la necesidad de temperaturas para abastecer el sistema, por lo que la demanda es menor. Esta circunstancia se refleja en la pendiente de las rectas de temperatura radiante. De esta forma, se puede confirmar que el rendimiento es mejor cuanto mayor es la superficie de

un sistema de climatización radiante por suelo, techo y paredes. Esta solución tendría un coste económico total de 28.069 €.

Eliminando las hipótesis que no cumplen con las condiciones de habitabilidad establecidas en el Código Técnico de la Edificación, es decir, ausencia de aislamiento y la de climatización solo por suelo radiante, se puede establecer como solución alternativa la de aislamiento interior y climatización por sistema de suelo y techo radiante. Esta tendría un coste económico de implantación de 21.019 €, lo que supone 7.050 € menos que la solución considerada como ideal.

No obstante, esta requiere de la instalación de un sistema de

climatización complementario que permitiera establecer puntualmente temperaturas de confort dentro del container. Este sistema tendría un coste aproximado de instalación de 800 € y los consumos indicados por Cype rondarían los 96 kWh/año, suponiendo un coste energético de 580 €/ año [27].

En la tabla 10 se han reflejado los resultados finales obtenidos para cada hipótesis en relación a la demanda de energía, coste del sistema de climatización, coste de la energía anual, plazo de amortización y calificación energética en base al consumo de energía primaria y las emisiones de CO₂.

La solución de aislamiento por el exterior de la envolvente según detalle de la figura 8 y climatización por radiación de todos los paramentos según detalle de la figura 9, (véase hipótesis 3 de la tabla 10), tendría un coste de 7.050 € más que la establecida en la hipótesis 2 y de 13.477 € más que la establecida en la hipótesis 1. No obstante, y debido al coste anual de energía complementaria necesaria en las hipótesis 1 y 2, el plazo estimado de amortización de las medidas planteadas sería de 4 y 11 años aproximadamente para las hipótesis 2 y 3.

El coste de adaptación global de un container para uso residencial con las soluciones establecidas sobre su envolvente rondaría un importe de 41.200 Euros. Teniendo en cuenta que el container dispone de una superficie construida de 27,75 m², se determina una repercusión de 1.484,06 €/m² para este tipo de construcción [12]. Este precio resulta inferior al precio medio de construcción de una vivienda con sistemas constructivos tradicionales, cuya repercusión puede oscilar en torno a los 1.600 €/m².

Otro dato de gran importancia que es necesario añadir es que la realización de un proyecto a partir de varios contenedores haría disminuir el precio por m², es decir, mientras mayor sea el número de contenedores del proyecto, más barato será el precio del m² construido. Además, hay que

tener en cuenta que el beneficio de este tipo de construcciones no solo va en sentido económico y constructivo, sino también, en un mayor beneficio medioambiental ya que minimiza el consumo energético, disminuye las emisiones de CO₂ a la atmosfera debidas al proceso de construcción y ayuda a la reutilización de un elemento que puede haber terminado su vida útil [28].

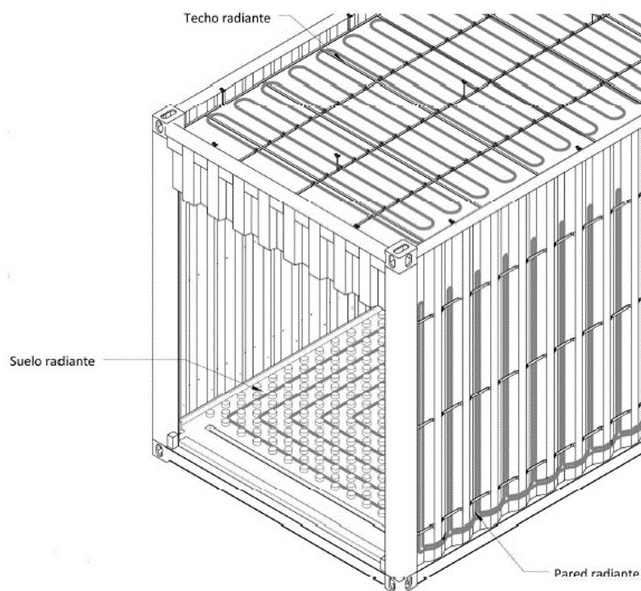


Figura 9: Detalle constructivo de climatización radiante en todos los paramentos según solución adoptada. Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

La escasez de suelo que están sufriendo las ciudades, el aumento de la demanda de viviendas motivada por el aumento de la población junto al alto coste económico de la vivienda tradicional, está transformando el sector hacia viviendas más pequeñas, económicas y sostenibles [26]. Así, en los últimos años, la construcción de viviendas prefabricadas en España está aumentando de forma considerable. Dentro de estas, la construcción de viviendas mediante contenedores marítimos de transporte supone una solución rápida, económica y ecológica que se está implantando a gran velocidad. Todo ello se ve incrementado por la falta de regulación dentro del sector del transporte sobre el sistema de reciclaje y deshecho de los contenedores tras su periodo de vida útil. Circunstancia que está generando la existencia de un stock importante de estos que pueden ser usados para viviendas tras un proceso de adaptación. En esta transformación, los trabajos realizados sobre su envolvente suponen una de las tareas más importantes ya que su ausencia impediría la habitabilidad del mismo. En este sentido, los trabajos de colocación de un aislamiento térmico en los cerramientos y la búsqueda de un sistema de climatización eficiente y sostenible suponen un elemento fundamental en el proceso de reutilización de container para viviendas.

No obstante, y en base a los resultados obtenidos en la

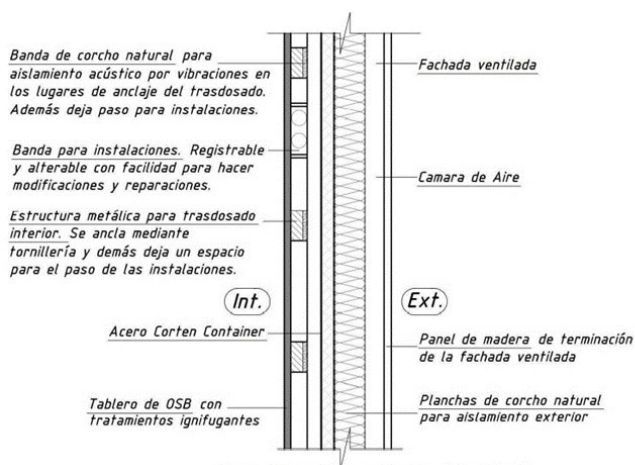


Figura 8: Detalle constructivo de aislamiento por cara exterior según solución adoptada. Fuente: Elaboración propia.

investigación llevada a cabo, la utilización de un aislamiento mediante paneles de corcho ubicado en la cara exterior de la envolvente supone la mejor opción en relación a la demanda de calefacción y de refrigeración. Esto es debido a que el material que dispone de mayor inercia térmica se ubica en el interior mejorando el comportamiento térmico del conjunto de los materiales utilizados en la envolvente. No obstante, es necesario indicar que las demandas calculadas permiten unos ahorros inferiores a los indicados por algunos autores para las mismas hipótesis pero en viviendas construidas con sistemas tradicionales [22]. Circunstancia que viene motivada por la afección del resto de elementos constructivos integrantes de la envolvente.

Con respecto al sistema de climatización y al objeto de conseguir una temperatura interior de confort en torno a los 24°C se ha optado por la instalación de un sistema de climatización radiante mediante geotermia para geocooling a partir de 2 sondas helicoidales de 40 metros de profundidad. La opción de radiación sobre todos los elementos de la envolvente del contenedor es la única opción que permite disponer de temperaturas de confort adecuadas durante todo el año sin necesidad de utilizar otros sistemas energéticos complementarios que generarían un coste económico. Esta opción permite a su vez disminuir de forma considerable tanto el consumo de energía primaria como las emisiones de CO₂ vertidas a la atmósfera obteniendo una calificación energética global B.

Por tanto, la solución constructiva considerada como idónea cumple con las indicaciones establecidas en el Código Técnico de la Edificación, y por tanto, con los requisitos de habitabilidad, seguridad y confort establecidos para edificaciones de uso residencial. A esto, se une que la repercusión económica de ejecución por m² de la solución planteada se encuentra por debajo de la habitual en viviendas tradicionales.

Por todo ello, se puede concluir que la utilización de contenedor como viviendas prefabricadas con los sistemas e instalaciones descritas en esta investigación puede ser considerada una solución viable, eficiente y sostenible como nuevas formas constructivas para uso residencial.

5. REFERENCIAS

- [1] L. Garrido, "Sustainable architecture containers. Volumen 1". Editorial Monsa, Barcelona, 2011.
- [2] L. Garrido, "Sustainable architecture containers. Volumen 2". Editorial Monsa, Barcelona, 2011.
- [3] N.A., "Soluciones residenciales en contenedores de carga marítimos", *Arte y cemento: revista de la construcción y su entorno*, 2047, pp. 90, 2007.
- [4] N.A., "Contenedores marítimos para edificación residencial y terciaria". *Arte y cemento: revista de la construcción y su entorno*, 2044, pp. 70, 2006.
- [5] L. Garrido, "Arquitectura para la felicidad". Editorial Monsa, Barcelona, 2013.
- [6] J. Minguet, "Container and prefab houses". Editorial Monsa, Barcelona, 2015.
- [7] L. Garrido, "Un nuevo paradigma en arquitectura: naturalezas artificiales 2001-2012". Editorial Monsa, Barcelona, 2012.
- [8] D. Santos, "Small eco houses= mini casas ecológicas". Editorial Monsa, Barcelona, 2009.
- [9] P. Bris S. Nuere, F. Bendito y M. Saint- Exupéry, "Construcción de viviendas mediante contenedores de obra". *Jornadas internacionales de investigación en construcción*, volumen 1, 2013. Recuperado de: <https://www.ietcc.csic.es/wp-content/uploads/2013/11/jornadas-internacionales-de-investigacion-en-construccion.pdf>
- [10] C. Nogry, "Ampliación de vivienda con contenedores en Nantes". *Detail, revista de arquitectura y detalles constructivo*, número 1, pp. 36-38, 2013.
- [11] J.V. Guillén, J.S. Álvaro, A. Perea, L. López, Et al, "Concurso con contenedores marítimos para residencia intergeneracional solidaria", *TC: Tribuna de la construcción*, 113, pp. 193-210, 2014.
- [12] N.A., "Proyecto singular. Contenhuse, construcción modular a partir de contenedores marítimos". *CIC, publicación mensual sobre arquitectura y construcción*, número 491, pp. 58, 2011.
- [13] N.A., "Building a common home. Building sector. A global vision report". *Global Status Report*, 2014. Recuperado de: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27140/Global_Status_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [14] T. Abergel, B. Dean and J. Dulac, "UN Environment and International Energy Agency (2017): Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector". *Global Status Report 2017*.
- [15] L. Garrido, "Arquitectura bioclimática extrema". Editorial Monsa, Barcelona, 2014.
- [14] Unión Europea, Directiva (UE) 2012/27 del Consejo, de 25 de Octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética de los edificios. *Diario Oficial de la Unión Europea L 315*, 25 de Octubre de 2012, pp. 1-56.
- [15] F.J. Neila, "Acondicionamiento ambiental y habitabilidad del espacio arquitectónico". Editorial Munilla-Lerúa, Madrid, 2013.
- [16] Instituto Nacional de Estadística. Recuperado de: <http://www.ine.es/dynt3/inebase/index.htm?path=/t20/e244/viviendas/p01/>. Fecha de consulta: 29/02/2018.
- [17] C. Ruiz, "Ejecución de rehabilitación energética de la envolvente en el edificio de viviendas "Óscar" en Avda. Castilla y León, 15 – 27". Instituto para la diversificación y ahorro de energía. Recuperado de: <https://www.idae.es/articulos/ejecucion-de-rehabilitacion-energetica-de-la-envolvente-en-el-edificio-de-viviendas-oscar>.
- [18] Código Técnico de la Edificación. Documento básico de ahorro de energía. 2017.
- [19] F. Jourda, "Pequeño manual del proyecto sostenible". Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 2012.
- [20] S. Costa. "La Casa ecológica: ideas para un hogar ecológico y saludable". Editorial Loft, Barcelona, 2011.

- [21] S. Costa. "Diseño de exteriores: guía práctica de materiales, revestimientos cubiertas, cerramientos y fachadas". Editorial Loft, Barcelona, 2012.
- [22] E. Cuerda y F.J. Neila. "Procedimiento de análisis y evaluación para la rehabilitación térmica de cerramientos de fachada en edificios residenciales. Caso de estudio en el barrio Pinar del Rey, Madrid". En: "CONAMA 2012. Congreso Nacional de Medio Ambiente", 26-30/11/2012, Madrid, España.
- [23] A. Creus. "Energía geotérmica de baja temperatura". Editorial Cano Pina, Madrid, 2008.
- [24] M y A Ortega. "Calefacción y refrescamiento por superficies radiantes". Editorial Parainfo, Madrid, 2014.
- [25] Asociación técnica española de climatización y refrigeración. "Guía técnica para el diseño de intercambio geotérmico de circuito cerrado". Instituto para la diversidad y ahorro de la energía, Madrid, 2012.
- [26] J. Minguet. "Low cost architecture". Editorial Monsa, Barcelona, 2016.
- [27] P. y J. García, "Towards sustainable housing: ABS industrialized passive buildings". Building & Management, volumen 2(2), pp. 53-65, 2018
- [28] J. Suarez. "Sostenibilidad y Eficiencia energética en la arquitectura- construcción?" Revista Ambienta, volumen 96, pp. 64-67, 2011.

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.

Vernacular architecture en algeria "M'zab"

Arquitectura vernacula en algeria "M'zab"

MOHAMED EL AMINE RAIS

Université de Mostaganem, Master d'architecture
Disciplina académica Architecture, Argel, Argelia
amine.rais@alumnos.upm.es

RICARDO TINTERO CABALLERO

Departamento de construcciones arquitectónicas. E.T.S.E.M.
Universidad Politécnica de Madrid, Spain
ricardo.tintero@upm.es

The present work focuses on the bioclimatic aspect in vernacular construction through a study of the traditional architecture of M'zab. The question posed is how this architecture could be useful and what techniques and strategies are adopted to result in such energy performance in a delicate area of its climate? Can we adopt the same principles to build a contemporary building as energetically efficient? It is a question of studying the solutions proposed in this architecture. To achieve this goal, we will look the characteristics of the M'Zab area, and what tools and approaches are being mobilized to ensure thermal comfort without the help of technology.

BEP; BIM; Integración; Project Management.

El presente trabajo se centra en el aspecto bioclimático en la construcción vernácula a través de un estudio de la arquitectura tradicional de M'zab. La pregunta planteada es cómo esta arquitectura podría ser útil y qué técnicas y estrategias están adaptadas para dar como resultado un rendimiento energético tan delicado en un área delicada de su clima. ¿podemos adoptar los mismos principios para construir un edificio contemporáneo como energéticamente eficiente? Se trata de estudiar las soluciones propuestas en esta arquitectura. Para lograr este objetivo, veremos las características del área de M'Zab, y qué herramientas y enfoques se están movilizando para asegurar el confort térmico sin la ayuda de la tecnología.

BEP; BIM; Integración; Project Management.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de formas arquitectónicas obedece a un largo y complejo proceso que da como resultado el modelado físico. El modelo productivo está impregnado por diferentes aspectos que actúan de forma individual o colectiva en el objeto del producto (aspectos técnicos, económicos, climáticos, sociológicos y religiosos).

Parece relevante hoy dejar de ver en "arquitectura de lo sagrado" sólo una "arquitectura de la espontaneidad" sin regla ni modelo. Esta producción resulta ser el resultado de una planificación rigurosa y de otra manera más compleja en el sentido que se ha tomado en consideración, no sólo lo racional, sino más y más importante, lo que algunos perciben como irracional: lo espiritual.

1.1 ARQUITECTURA TRADICIONAL EN ARGELIA

La casa de Magreb es específica y constituye y posee un

estilo arquitectónico único desarrollado a través de siglos de conocimientos ancestrales, según este estudio se pueden determinar tres componentes de la casa Magreb (argelina) (1):

La entrada: Es el elemento que separa la casa del exterior, siempre tiene una puerta y un espacio de transición entre el espacio público y el privado llamado "Sqifa" que es usualmente cubierto por un tejado abovedado (su unción y sus dimensiones cambian dependiendo del tamaño de la casa y del número de residentes)

El patio: El elemento principal de la arquitectura árabe tiene varias denominaciones que se le llama la "Wast de dar" (centro de la casa) ... Es el corazón de la casa y el centro de las actividades (cocinar, comer, lavar la ropa...) enmarcado por galerías y cada rincón está reservado a una actividad particular, se puede deducir que es el espacio habitable especialmente para las mujeres.

Los cuartos: Ya que el patio es el centro de la casa, todas las habitaciones y los cuartos están dispuestos alrededor para tener acceso directo a este patio y se extienden en longitud

en lugar de extenderse en profundidad, estos cuartos se dividen en 3 partes se puede tomar "el Iwan" que es la parte central de la habitación y a menudo coronado por una cúpula, el espacio más utilizado de la habitación es a menudo el más decorado y obtiene una buena iluminación. La habitación puede cambiar la imagen o la función simplemente cambiando su mobiliario.

Se puede decir que el uso de la casa argelina tiene un sistema complejo e incluye también muchos lugares cuya asignación simbólica o funcional es constante que no cambia, como por ejemplo el baño, a pesar del hecho de que el hábitat Mediterráneo es Más conocido sobre el nomadismo, es decir, el uso de los espacios de acuerdo con la variada utilidad del residente.

2. M'ZAB

El Mzab es una región habitada por el Mozabites por los siglos 3000 a.c., es Berbers de Znatlia, su lengua es tamazight. Tienen una arquitectura vernácula. Construyeron sus casas con medios muy sencillos (arquitectura sin arquitectos), se desafían a la naturaleza ya que viven en el desierto. Le Corbusier dijo "donde la naturaleza dice que no los Mozabites dicen sí" (2). El principio de construcción en la ciudad es construir la mezquita en la suma de un cerro luego se construyeron las casas alrededor de la Mezquita (centralidad), sus callejuelas son muy estrechas permitiéndonos tener una aireación confortable.

2.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA DE M'ZAB

El M'ZAB se encuentra a 600 kilómetros de Argel o más exactamente a 32°30' de latitud norte y 3045' de longitud este. Esta área se extiende sobre un valle desierto, seco y árido. Se llama Chebkha del M'Zab, porque se ve una meseta rocosa quebrada por los ríos "Chebkha de Piedra" y una altitud media de 500 metros.

2.2. LA CIUDAD DE GHARDAIA:

En las figuras 2 y 3, muestran que la mezquita es el punto más alto "representa el centro de culto", luego rodean las viviendas, y el mercado "representa, el centro económico".

Y las murallas para proteger las ciudades. Encontramos un orden arquitectónico particular en las ciudades del M'Zab, por la sucesión de los horizontales, proporcionados por las terrazas, lo que lo hace visualmente muy satisfactorio, pero es probablemente porque obedecen las leyes igualitarias del vecindario y por dejar entrar al sol a todos.

El valle de M'zab ha sido parte del patrimonio mundial desde 1982, como un ejemplo intacto del hábitat humano tradicional perfectamente adaptado al medio ambiente.

2.3. LOS PLANOS DE LAS CASAS DE M'ZAB:

Planta Baja: En la figura 5, La entrada se hace por una única apertura que se presenta como un agujero rectangular en la fachada, especialmente por el umbral de albañil. Si la perforación es baja cerca de 1.7 m en altura, la anchura es bastante grande 1.10/1.20m, la puerta estaba por lo menos generalmente abierta. La Chicana (Sattar/taskift) interpone sus pantallas con la penetración de la mirada en el corazón de la casa. A veces el Sattar da directamente a una sala de estar para los hombres o en una escalera que conduce a la misma sala de estar, pero situada en el suelo (el Laali).

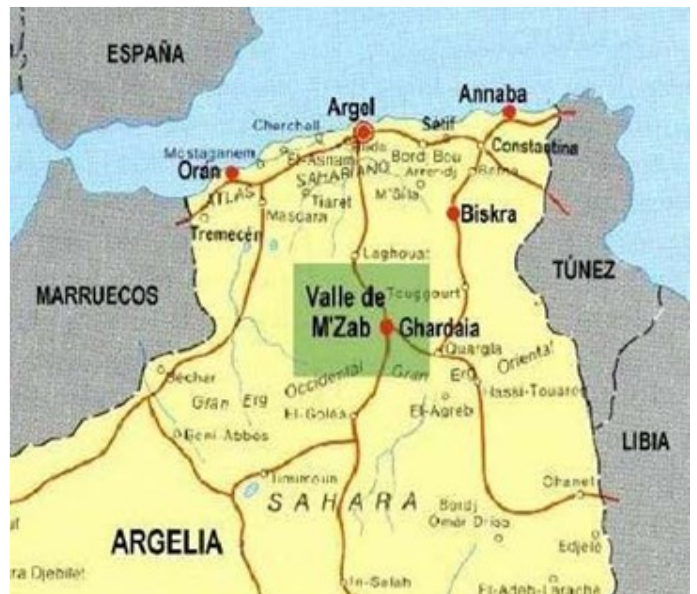


Figura 1: Situación geográfica de Mzab (Ghardaia Blog)

Primera Planta: En la primera planta, nos encontramos con los mismos principios: todo los espacios se organizan alrededor del patio central que se convierte a una terraza dejando una apertura para la planta baja (Figura 7)

La casa del M'Zab se caracteriza por su sencillez y su funcionalidad.



Figura 2: Plan general de la ciudad (Arquitectura de Ghardaia; Debili Sarah)



Figura 3: vista aérea de la ciudad (Fuente: Centro nacional de la investigación arqueológica)

Incluso la construcción de casas estaba sujeta a dos reglas:

- a. Urbana: la orientación y la altura, no debería ser posible ver a los vecinos y no se le permitió traerlo la sombra

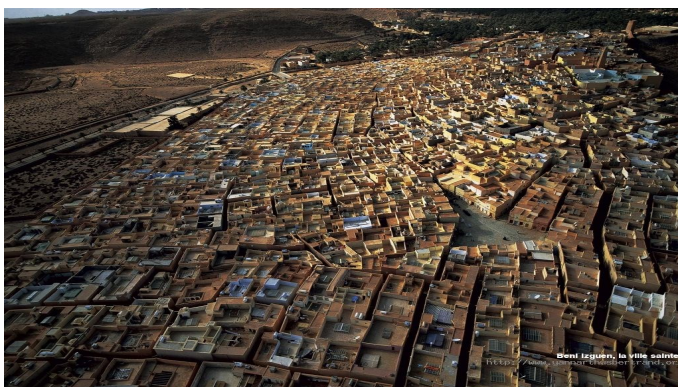


Figura 4: vista aérea del conjunto de viviendas (Centro nacional de la investigación arqueológica - Argelia)

- b. religiosa: las casas no tuvieron que mostrar nada al exterior como lo muestra la figura 9, el rico no había machacado a pobres

2.4. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE LOS EDIFICIOS DE M'ZAB

Piedra: Es guijarros sin tallar, ni herramientas ni opciones. Originalmente, no había extracción, la recogida se llevó a cabo cerca de los astilleros.

Yeso: viene de un depósito de yeso, abundante en el sitio, tiene la particularidad de tomar rápidamente, manejado sin herramientas, con las manos desnudas.

Enfoscado: hecho de una mezcla de la tierra y de la paja.

La palma: La madera se utiliza en la carpintería y las costillas

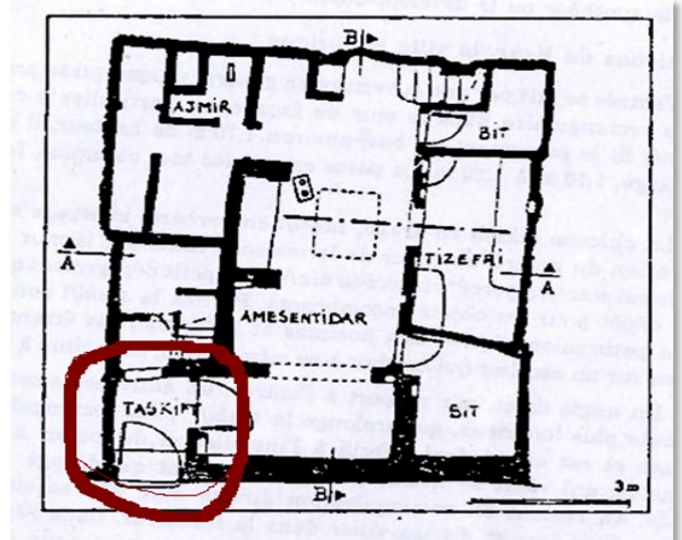


Figura 5: Planta baja "Entrada principal" (Habitat Mozabite en M'zab: Christian Bousquet)

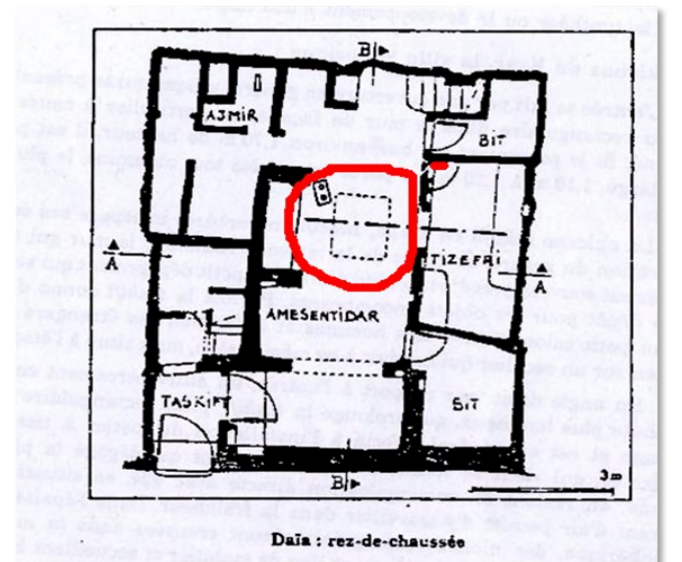


Figura 6: Planta baja "Patio central" (Habitat Mozabite en M'zab: Christian Bousquet)

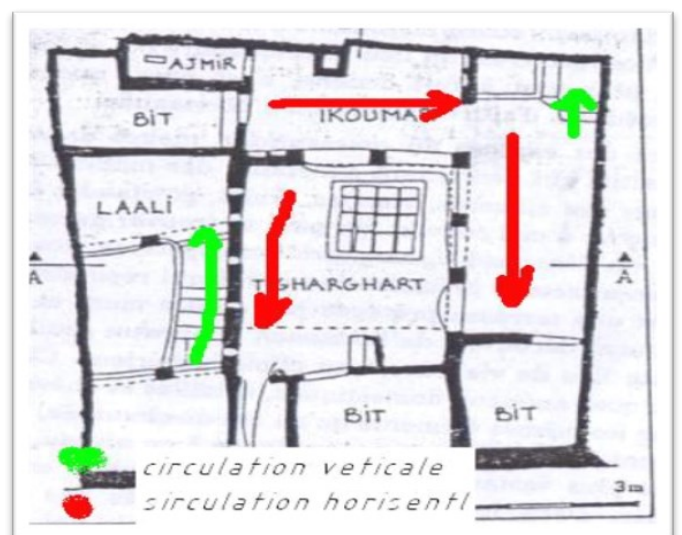


Figura 7: Primera planta con las circulaciones (Habitat Mozabite en M'zab: Christian Bousquet)

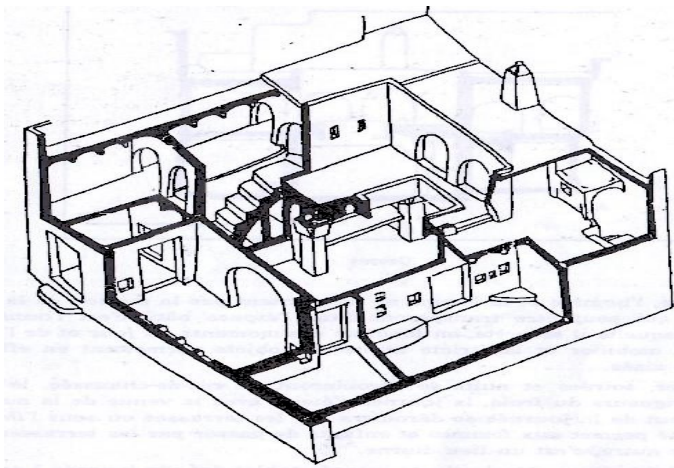


Figura 8: Perspectiva de las vivienda "Patio central" (Habitat Mozabite en M'zab: Christian Bousquet)

de las Palmas se utilizan en varias operaciones tales como encofrado y la realización de los arcos famosos del M'Zab.

2.5. ESTRUCTURA SOCIAL DE M'ZAB

El plan de la ciudad sugiere la estructura de la sociedad Mozabite. La "cultura" de Mozabite se caracteriza por la integración extremadamente fuerte de la familia extendida (Yasir), un elemento simple e indivisible, la piedra angular del edificio social.

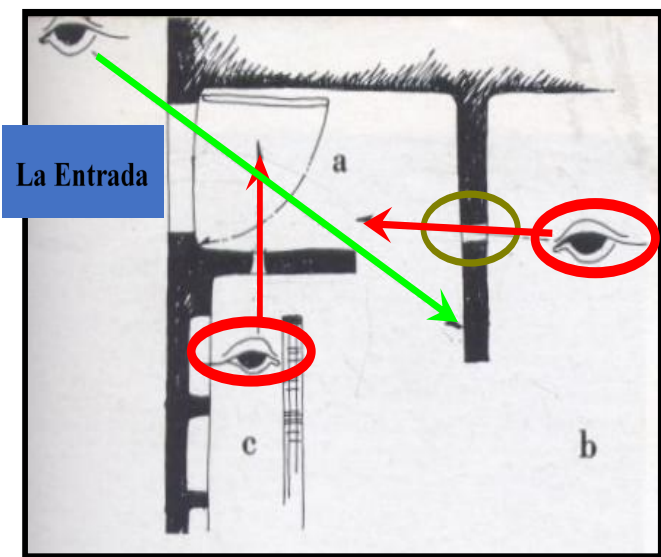


Figura 9: Principio de bloquear la vista hacia el interior de la casa (Arquitectura vernacula argelina: Reziga Bouzid)

El "clan" o fracción (Quebila), agrupando varias familias por lo general tiene su propio barrio, su cementerio, su héroe homónimo y su herencia que defiende duramente. Algunos de estos clanes reúnen no varias familias, sino varios grupos ya constituidos por familias.

Finalmente, la tribu (Arch) reúne a varios clanes. Así la tribu de Ghardaia comprende dos complejos "clanes" (compuestos por varios grupos de familias) que permanecen muy distintos, aunque la inmigración de nuevas fracciones trastorna los



Figura 10: Revestimiento de techo con yeso (Fuente: exposé du mزاب)



Figura 11: Revestimiento de muros exteriores con tierra y paja (Fuente: Exposé du mزاب)

límites que los antiguos se habían asignado hasta que Desaparecer (3)

Ghardaia presenta la forma de una elipse: en el punto más alto, la mezquita; Calles que piso en la ladera en circunvoluciones concéntricas, se cortan en calles perpendiculares que descienden en los rayos hacia la base; Al pie de la colina y en la periferia, la Plaza del mercado, atravesada en su longitud por una arteria; Más allá, una muralla poligonal con ángulos muy abiertos. Por todas partes, cementerios y páramos. La mezquita, la historia lo confirma, parece, así como el centro alrededor del cual se creó la ciudad. A

El mismo tiempo castillo, un edificio religioso y en algunos casos tienda, como el guelaà, asegura la protección moral y material de la ciudad que vive a su sombra. Las localidades de Mzab, como la vida Mozabite, tienen dos "casas" distintas: la mezquita y el mercado. La mezquita, hogar de la vida religiosa ha empujado el mercado, hogar de la vida económica y de la actividad secular: las casas se amontonan como un conjunto de cubos y están arriba, atraídos, arrebatados por la mezquita que extiende su ímpetu desde su minarete erigido al cielo. Además, la ciudad secular es tan estrecha entre la mezquita y estas inmensas necrópolis que



Figura 12: Vigas en madera de palma (Exposé du mzab)

rodean los pueblos de Mzab, campos de tumbas anónimas donde se levantan los oratorios y santuarios, donde se celebran solemnidades públicas y donde incluso el Corte como para afirmar la solidaridad de los vivos y los muertos.

El cementerio, una inmensa sombra de la ciudad viva, es indudablemente, como más generalmente en el norte de África, la Fundación y símbolo del accesorio irreducible que une al hombre a su suelo. Sabemos que los Abadhites están obligados a ser enterrados en el Mzab. Cada fracción tiene su cementerio distinto cuyo nombre es tomado del antepasado que, según la tradición, está enterrado allí.

En Resumen, la estructura social de la región se basa en dos principios fundamentales: la religión de la cual toda la población tiene la misma religión, el respeto de los valores traídos por la religión son normas indiscutibles, la mezquita es el lugar de encuentro de los habitantes, los niños empiezan a tener su primera enseñanza ahí, incluso antes de entrar al colegio, y también se refleja en el principio de la igualdad, nadie es superior a otro, cada uno vive con el mismo modo de vida, se ocupan de los mismos deberes sociales, y aprovechar los mismos derechos, y esto está perfectamente notado en la altura de las casas donde nadie puede construir más alto que su vecino, el único edificio alto es el minarete de la mezquita en el sentido que la religión es la más importante de los valores de este Región.

En segundo lugar: La familia. Los hombres deben cuidar las necesidades de sus familias, la mujer, de su parte, es responsable del trabajo dentro de la casa, este último es un espacio muy privado, no se puede entrar cualquiera allí, ni ver, lo que explica la pequeña pared que existe en todas las entradas de casas para cortar la vista desde el exterior hasta el interior sabiendo que a menudo las puertas se dejan abiertas a la vía pública (4).

3. CLIMA DE LA CIUDAD DE GHARDAIA "M'ZAB"

La región de Ghardaia se caracteriza por un clima árido saharauí, pero la presencia de abundante vegetación puede cambiar las condiciones climáticas localmente.

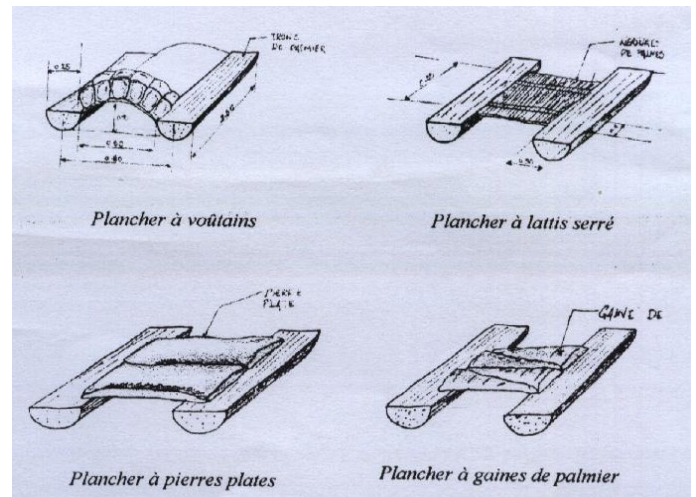


Figura 13: detalles constructivos con madera de palma (Exposé du mzab)

Precipitación: A Ghardaia, la precipitación es muy baja e irregular, varía entre T3 y 68 mm en una duración media de 15 días (T5 días/año). (Atlas de Ghardaia, Zoo4)

Temperatura: es muy diferente entre el día y la noche en verano e invierno. El período cálido comienza en mayo hasta septiembre (Tabla 1)

Vientos: durante ciertas épocas del año, generalmente en marzo y abril, hay verdaderas tormentas de arena.

Los vientos del verano que prevalecen son fuertes y calientes mientras que los inviernos son fríos y húmedos. Los vientos de arena son muy comunes en la región, especialmente durante la primavera, los meses de abril, mayo y junio.

3.1. ESTADO MEDIOAMBIENTAL DE LA CIUDAD DE GHARDAIA

Podemos deducir que: Entre Noviembre hasta febrero: Zona 3 y 4 "CALEFACCION POR GANANCIAS INTERNAS Y CALEFACCION SOLAR PASIVA"

El periodo de marzo hasta mayo: en gran parte, se encuentran en la zona de confort

De junio hasta agosto: Zona 9 "REFRIGERACION POR ALTA MASA TERMICA"

El periodo de septiembre y octubre: Zoa 1 y 12 "ZONA DE CONFORT Y REFRIGERACION POR VENTILACION NATURAL Y MECANICA"

3.2. ESTRATEGIAS ENERGÉTICAS DE LOS EDIFICIOS DE M'ZAB

La ciudad tiene una forma de radio céntrica que la permite protegerse de los vientos imperantes y los vientos de arena, las casas son contiguas y ocupan toda la parcela ya que el espacio exterior se encuentra en el centro de las casas, esta forma urbana compacta conduce a una introversión del espacio habitado y hace la vivienda protegida de cualquier insolación o molestia climática.

La casa se abre hacia adentro en lugar de tener varias

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura	Temperaturas medias Max °c	18.3	18.4	25	27.8	32.6	36.8	41.1	38	35.2	32.9	21.1	15.2
	Temperaturas medias Min °c	7.2	6.9	12.3	15.1	18.5	23.2	27.9	25.9	23.4	20.5	11.4	6.5
	Temperaturas medias anuales °c	12.7	12.6	18.6	21.4	25.6	30	32.9	31.9	29.3	26.7	16.2	10.8
Humedad	Humedad relativa media Max %	79.1	69.5	63.8	52.7	51.8	46.2	41.5	46.3	58.6	61.5	73.3	79.2
	Humedad relativa media Min %	39	29.4	24.9	20.7	20.6	17.6	16	17.8	25.7	29.8	36.1	40.5
	Humedad relativa media anual %	48.7	37.3	34.5	33.3	28.8	26.6	24.6	30.5	38.2	35.3	44.8	64.1
Viento medio (m/s)		10.3	18.5	15.9	18	16.6	18.1	14.4	13.6	14.3	10.4	14.4	12.5
Precipitaciones (mm)		0.5	0.0	5.08	3.05	0.51	0.00	0.00	3.05	6.34	2.28	15.2	26.2

Tabla 1: Media de temperaturas y humedad en la ciudad de Ghardaia (Fuente: elaboración propia)

fachadas que estarán expuestas a las condiciones climáticas externas, esto garantiza una iluminación a todas las habitaciones ya que todas dan en el patio central. Esta composición arquitectónica horizontal e introvertida está diseñada para adaptarse a las duras condiciones climáticas.

El hábitat de la Mzab representa el rendimiento climático y la comodidad térmica garantizada a lo largo del año (la temperatura ambiente interior raramente excede los 30 °C en verano, y no cae por debajo de los 15 °C en pleno

invierno), todo ello sin tecnología pero con la implantación de algunos dispositivos pasivos y una adecuada organización espacial para una buena distribución climática dentro de la casa:

Las aperturas: las casas de las ciudades Mozabites tienen la particularidad de promover el sistema de ventilación advertido de la apertura del centro de la casa, las fachadas exteriores tienen pocas aberturas, por otro lado el patio central es el espacio dominante y asegura la Penetración del sol durante todo el día, esto garantiza una máxima recepción de radiación solar en invierno.

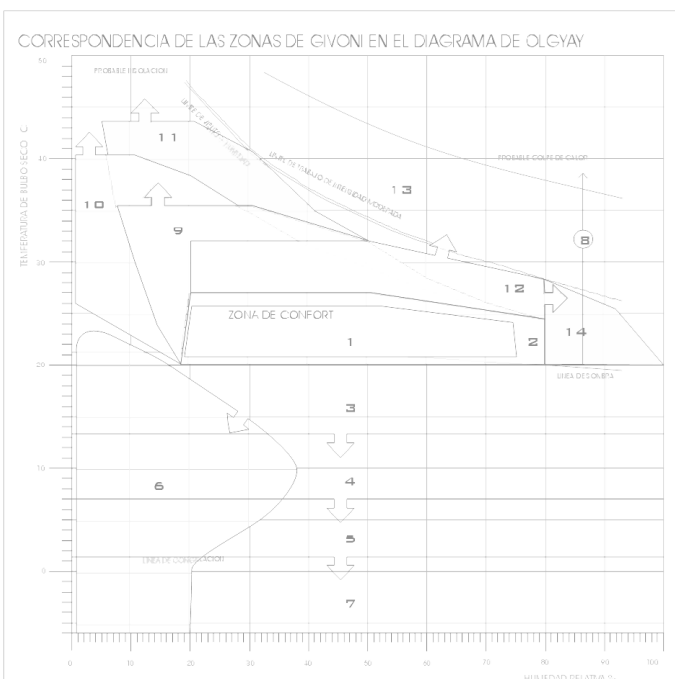


Diagrama 1: Definición de las zonas según el diagrama de Olgay (Elaboración propia)

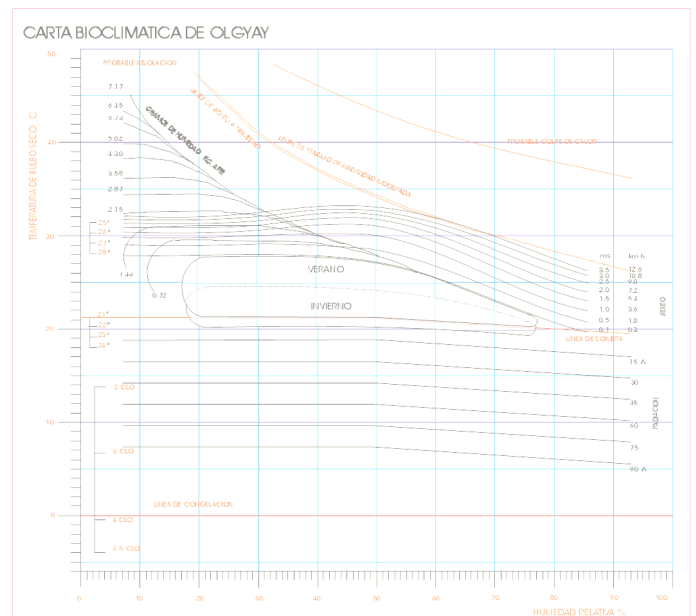


Diagrama 2 : Carta bioclimática de OLGAY (elaboración propia)

Sin embargo, en verano, este mismo patio tiene la posibilidad de cerrarse para bloquear el paso de la radiación sin eliminar la iluminación.(5)

La otra apertura más grande de la casa es la puerta, a menudo se deja abierta para asegurar la ventilación.

La forma del edificio: un principio clave en la estrategia climática de las casas de Mzab: minimizar el contacto con el espacio exterior.

La disminución de la superficie del sobre reduce sistemáticamente la cantidad del intercambio. La casa Mozabite tiene poco contacto con el exterior, yendo en el principio de densificación, se tiene la impresión de que se cierra sobre sí misma, las casas no exceden el 100m² de superficie, no tienen fachada exterior aparte de la de la entrada, este limita las fluctuaciones del confort interior (6). Además, el control de la pérdida de calor en invierno y la frescura en verano es también debido al principio de la consolidación implantada que reduce la superficie de la penetración.

Ventilación natural: en una región cálida como Mzab, la ventilación es de importancia crucial, ya que participa en el refresco del interior de las casas. La circulación de aire se activa gracias a la ingeniosa disposición de las aberturas así como de sus dimensiones. "las aberturas deben estar opuestas y la entrada de aire debe ser menor que la salida" (7).

Una vez que la noche ha caído al Mzab, la temperatura del aire exterior es inferior a la de la casa, entonces es suficiente para abrir el "chebeq" (la tapa) del patio y las pocas aberturas perforadas en la pared para asegurar la circulación de aire por efecto termosifón de calor (8). La posición del "chebeq" en el punto más alto permite la evacuación rápida del aire caliente pues tiende a levantarse contrariamente al aire frío que baja. El patio permanece así el lugar más fresco dentro de la casa (9). El otro interés de la ventilación es la descarga de la energía acumulada en las paredes, este último de alta inercia térmica, se indica para ventilarlos especialmente durante la noche cuando la temperatura es relativamente baja.

el patio

la casa Mozabite es el resultado de su anterior "casa Isedraten". Estas casas todavía estaban diseñadas bajo el modelo Mediterráneo con un patio al aire libre como el de Fez y las medinas del norte. Pero fue sólo en el Mzab que se hizo realmente en el desierto (10). La innovación que se lleva a cabo es cubrir el patio con el "Chebeq" para disminuir así la intensidad de los rayos solares y de los ruidos usados y el espesor de las paredes. Esta inercia "ralentiza la entrada del calor durante el día y la rinde por la noche, cuando es beneficiosa", "también hace la ventilación más eficiente"(11).

Los Mozabites han podido utilizar esta característica para mantener una temperatura media diaria y para despejar

fluctuaciones climáticas extremas. Gracias al diseño de muros que podrían absorber el calor máximo durante el día y evitar el calentamiento de la atmósfera interior. Por la noche favoreciendo la ventilación por el "chebeq", las paredes se refrescan y recargan su frescura restaurando este calor o más frío (12).

Una vez levantado el día la frescura queda atrapada en su interior gracias a la alta inercia. Las paredes sirven como acumuladores y la transferencia de energía entre el día y la noche limitando las variaciones de temperatura del aire ambiente. Por esta razón, la planta baja y la bodega son las más frescas durante el día, porque no sólo se benefician de la inercia de las paredes, sino también de la de la tierra.

Materiales de construcción: los materiales utilizados son todos sacados del sitio, lo que les da dos características. Por un lado, "aseguran la integración de la forma construida a su sitio a través de la armonía crómico", ya que son extraídas en el lugar. Esto implica un acuerdo general entre el edificio y su ubicación, así como el paisaje general (13). Por otro lado, garantizan una concordancia entre el clima del lugar y las "propiedades termo-físicas" del material. Son un elemento fundamental de la comodidad térmica, ya que permiten que el material "transmita la ola de calor con una amortiguación significativa y varias horas más tarde cuando la temperatura exterior ha descendido".

Además, los materiales extraídos del sitio no requieren ninguna energía para su extracción, transporte, e implementación. No entran en ningún proceso de transformación industrial para que no contengan contaminantes, garantizando así que no sean nocivos para la salud durante todas las etapas; Fabricación, uso e implementación.

Una vez demolida la casa, gran parte de los materiales como piedra, madera (vigas y viguetas) se recuperan y se reutilizan de manera reciclable. Esto implica un coste total mínimo y ningún impacto medioambiental.

4. UNA ARQUITECTURA QUE INSPIRA A LOS GRANDES ARQUITECTOS

Son muchos los que han quedado fascinados por esta arquitectura despojada, funcional, perfectamente adaptada al medio ambiente y a la forma de vida de la población local. De François Pouillon, a André Ravéreau, a través de Ricardo Bofill, Frank Lloyd Wright o incluso Charles-Edouard Jeanneret-Gris, conocido como le Corbusier. Confesarán, cada vez que se presenta la oportunidad, cómo la arquitectura de Mzab ejerció una influencia sobre su trabajo y su diseño urbano. Le Corbusier era muy aficionado a las construcciones de la capital de Mzab, Ghardaia. Fue en 1955 que el arquitecto francés descubrió el Pentapolis. Una vez que el choque de este descubrimiento pasó, y después de un período de incubación que le permitió humanizar su acercamiento metodológico, él creó la capilla de Ronchamp, inaugurada en 1955. (14)



Figura 14. La capilla de Ronchamp, Le Corbusier (Fuente : Jean Yves Fotografia)

Un edificio compacto: En esta obra, Le Corbusier le otorga una especial importancia a los muros del edificio, pues son ellos los que le dan el carácter escultórico a la obra. Las paredes gruesas, y de suave curvatura, son construidas mediante hormigón y mampostería. Con un sistema constructivo relativamente simple, el arquitecto aprovecha el diseño, estructural, estética y funcionalmente. Las altas paredes, actúan como amplificadores acústicos, que proyectan el sonido hacia todo el lugar. El conjunto da un producto compacto implantado en el condición ya existente del sitio.

un volumen orgánico de paredes blancas, acercándose al aspecto etéreo de la arquitectura moderna. Con el ingreso de la luz, las pequeñas ventanas de color, cambian inmediatamente el interior del espacio, dotándolo de vida y simbolismo (15)

Pequeñas aberturas: la pared sur de Notre Dame de la parte superior resuena con un color brillante de nuevo transformado, en lugar de frescos o vidrieras que tienen la ventana pintada a mano de la simplicidad encantadora de Notre Dame desde la parte superior, esto parece aberturas En la arquitectura Mozabite.

las esporádicas ventanas perforan los muros. Las perforaciones son profundas, y con un ángulo que permite que la luz entre de forma directa.

Cada ventana ilumina de forma distinta debido a su tamaño, posición en el muro y color del vidrio. La luz ingresa creando



Figura 16. La fachada de capilla de Ronchamp (2012) (fuente: BESAC)

un patrón moteado, similar a lo que ocurre cuando se miran las estrellas. Gran parte de la iluminación del recinto, no se genera gracias a estas ventanas, si no a la separación de 10 cm entre el techo y el muro.

Materiales de construcción del sitio

La capilla se construyó con las piedras del salvamento de la capilla destruida durante las guerras 1944. Llenan la estructura de hormigón. Las paredes están cubiertas de hormigón proyectado recubierto con cal blanca. La carcasa de hormigón que forma la cubierta se construyó con un encofrado de madera recuperado del lugar.

Sólo el bastidor de hormigón lleva este techo que no toca el relleno de piedra; Así, unos pocos centímetros de vacío permiten que la luz pase entre el techo y la pared. También permite a los gorriones entrar en la capilla (figura 17).

4.1. EJEMPLO DE ARQUITECTURA CONTEMPORÁNEA: CASA DEL INFINITO, CADIZ

La casa del infinito, ejemplo de la arquitectura minimalista con líneas infinitas que nos ofrece el arquitecto español Alberto Campo Baeza, en la que encontramos los tres elementos fundamentales de su sistema arquitectónico: la idea, el espacio y la luz.



Figura 15. La Capilla de Ronchamp, Le Corbusier (Fuente : Jean Yves Fotografia)

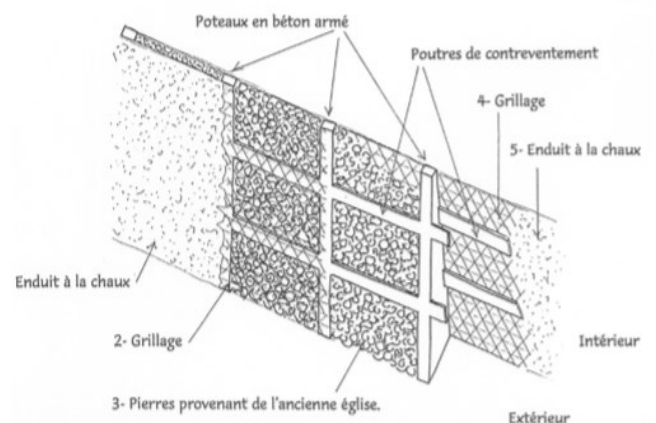


Figura 17. Detalles constructivo de la pared de la iglesia (Vitruax: Jean-Yves Cordier)

Situada en Cádiz, en el suroeste de España, la casa se presenta como un bloc de piedra extendido hacia océano, con sus líneas dirigidas y su terraza orientada, Campo Baeza explica que su voluntad era integrar los elementos que definen el terreno en lo cual está construida la casa que son: roca y agua como se ve en la figura 17, cuyo el objetivo era de unir estos elementos en un proyecto.

En su reciente libro "la idea construida", Alberto campo Baeza dijo que quería conseguir "una arquitectura que dibuja desde la idea su origen, donde la luz será su materia prima, en el espacio esencial su voluntad de sacar el máximo con lo mínimo". Estos principios permiten entender el significado de las elecciones subyacentes a la casa del infinito de Cádiz.

La casa del infinto se presenta como un volumen potente de 20 metros de ancho por 36 metros de profundidad (12 de los cuales se excavan en la roca como muestra la figura 18). Está coronado por una planta horizontal, una verdadera plataforma que sobresale sobre el océano. La idea era de dejar todo atrás: el paisaje, la ciudad, las otras casas que permanecen más allá de un portal desde el que se accede al suelo del tejado, una superficie de piedra que nada se separa del mar.



Figura 17. Casa del infinito, Cadiz (Fuente: campobaeza.com)

Larga banda de travertino (homenaje al cercano yacimiento arqueológico romano de Baelo Claudia, un pueblo pesquero fundado en el siglo II a.c.), etéreo y frente al océano, la superficie es interrumpida sólo por la huella de la piscina y un Escalera central descendiendo hacia los apartamentos. Este es el significado del "Plan infinito", un invento (o idea como campo Baeza preferiría llamarlo) que transforma el papel de la vivienda en una función más elevada de Belvedere, ennobleda por una memoria histórica traducida a la forma contemporánea.

La luz, por lo que es aún más plano y horizontal el piso de techo, se refleja en todo desde este último mediante la creación de un fenómeno "metafísico" de luz en la luz, una situación que tal vez sólo el océano puede hacer posible. La gravedad-para utilizar otra expresión querida a campo Baeza-de la geometría del volumen es precisamente derrotada por la luz, la que penetra la estructura gracias al

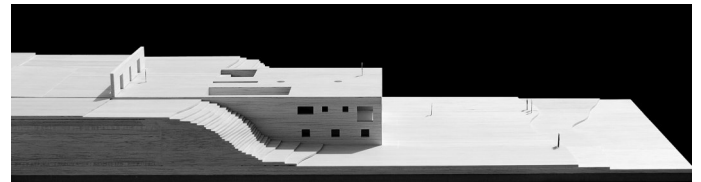


Figura 18. Maqueta de Casa del infinito (Fuente: campobaeza.com)

ritmo regular de las etapas verticales delimitando el edificio a través de las seis aberturas dispuestas A cada lado y las aberturas frontales frente a la orilla. Aberturas que no son ventanas pero, como se debe llamar, grandes portales inaccesibles aparte para el sol. En las figuras 20, 21 y 22 se pueden observar los planos de la vivienda.

5. CONCLUSIONES:

La arquitectura tradicional siempre ha llevado una filosofía de construcción adaptándose a las circunstancias culturales, sociales, económicas y bioclimáticas, desarrolladas en un contexto de fuertes restricciones, cuyo objetivo era satisfacer las necesidades de su comunidad mediante la aplicación de métodos constructivos simples y eficaces.



Figura 19. Casa del infinito, Cadiz (Fuente: campobaeza.com)

Por su parte, la arquitectura contemporánea siempre ha tratado de adoptar la lógica de la aplicación de la arquitectura vernácula, en términos de uso económico de los recursos, la interpretación espacial del contexto social y su capacidad de adaptarse a un ambiente natural y humano bien resuelto.

El hábitat Mozabite es un caso revelador de la adaptación de las arquitecturas tradicionales, un ingenio que le ha permitido sobrevivir mil años con la misma rentabilidad funcional, explotando en el mejor de los casos lo que está disponible localmente, para llegar a la Máxima comodidad posible.

Ofrece una lección arquitectónica y una reserva de soluciones efectivas que merece ser revisitada y mejor estudiada para tener la oportunidad de corregir algunos problemas que surgen en la era contemporánea, este patrimonio gana de Interés y puede ser un ejemplo de la solución que se ofrece a los problemas contemporáneos.

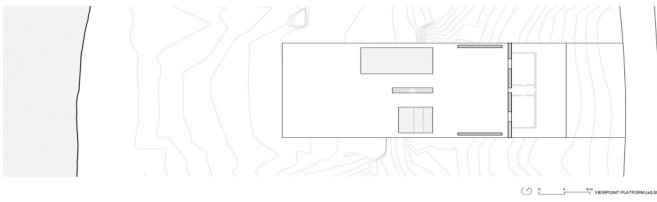


Figura 20. Plante Baja (campobaeza.com)

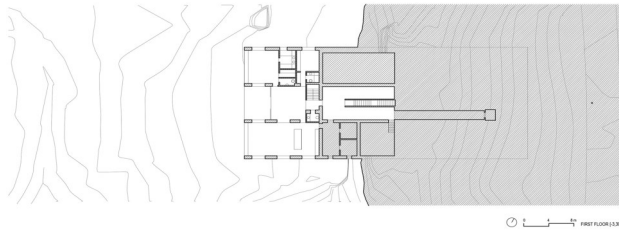


Figura 21. Planta sótano -1 (campobaeza.com)

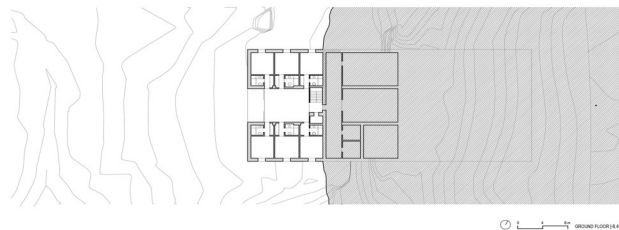


Figura 22. Planta sótano -2 (campobaeza.com)

Sin embargo, las personas para las que se pretendía la arquitectura tradicional no son las mismas que las de hoy en día, el contexto ya no es el mismo, el espíritu de la arquitectura tradicional no ofrece en ningún caso soluciones listas para ser utilizadas en nuestros días. No es posible considerar las técnicas y soluciones traídas por la arquitectura tradicional como un catálogo de referencia listo para ser duplicado de la misma manera.

El ritmo del desarrollo y el modo de vida está cambiando constantemente, la arquitectura tradicional puede ser considerada como una referencia histórica y una herencia reinterpretada y readaptada, porque los medios disponibles nos permiten aplicar algunos principios Utilizando nuevos procesos que deben ser confrontados con estos principios.

6. BIBLIOGRAFÍA:

- [1] Des influences traditionnelles et patrimoniales sur les architectures du Maghreb contemporain, Myriam Bacha
- [2] Le Corbusier et le mirage de l'orient
- [3] L'habitat mozabite au mzab, Christian Bousquet
- [4] http://alger-roi.fr/Alger/documents_algeriens/monographies/P23
- [5] André Ravereau : Le M'Zab une leçon d'architecture, Ed. Actes Sud- Sindbad, Arles 2003, p. 139.
- [6] Mohammed Chabi : Le Ksar de Tafilelt dans la vallée du M'Zab, une expérience urbaine entre tradition et modernité.
- [7] Plemenka Supic : L'aspect bioclimatique de l'habitat vernaculaire, p. 33.

[8] Pierre Fernandez et Pierre Lavigne : op. cit., p. 263.

[9] Armand Dutreix : op. cit., p. 28.

[10] André Ravereau : op. cit., p. 97

[11] Pierre Fernandez et Pierre Lavigne : op. cit., p. 342

[12] Armand Dutreix : op. cit., p. 28.

[13] Brahim Benyoucef : Le M'Zab espace et société, IBD, Alger 1992, p. 136

[14] Le Corbusier et le mirage de l'Orient, Alex Gerber

[15] www.archdaily.com/84988/ad-classics-ronchamp-le-corbusier

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.

The use of BIM technology in spatial economy on the example of multi-family building project at Czestochowska street in Bialystok

El uso de la tecnología BIM en la economía espacial en el ejemplo de proyecto de construcción multifamiliar en la calle Czestochowska en Bialystok

SŁAWOMIR WOJTKIEWICZ

Faculty of Civil and Environmental Engineering, Bialystok University of Technology. s.wojtkiewicz@pb.edu.pl

DAMIAN CITKO

Faculty of Civil and Environmental Engineering, Bialystok University of Technology. damian.citko@gmail.com

The aim of the work is to show the use of BIM in a spatial economy. It will be achieved by carrying out research experience, which involves creation of the concept of functional and spatial architectural design of multi-family building at Czestochowska Street in Bialystok, Poland. The research experiment is carried out with: design intent - which contains: a function of building and its urban context, aesthetics of object, factor 4D and 5D in accordance with the methodology of BIM; evaluation of "existence" of building on today's market development, and number of factors about architecture and spatial economy; In conclusion, the authors described the potential use of BIM technology in one of the areas of spatial economy, which has the greatest influence in the life cycle of buildings - building management. This area is based on close cooperation between specialists in this field with specialists from other fields of AEC industry, and relationships online specialist-client. BIM technology meets the abovementioned factors because BIM software creates the possibility to realize attractive 3D presentation of building, which may increase the chance to sell presented "product"; BIM improves standard methods of presentation, enriching them with the possibility of detailed fit and conclusion of specific contents into individual customer needs and expectations; use of BIM does not require from specialist spend an inordinate amount of time to achieve satisfactory results, due to focusing in one database, which contain different data about building; BIM allows all participants, involved in the life cycle of the building, to work on one BIM model, which can be exported and imported in IFC format; BIM technology is based on cooperation between individual AEC industries, and its spectrum is so vast, that it is a universal tool to solve any issues and problems related to the life cycle of the building.

El objetivo del trabajo es mostrar el uso de BIM en la economía espacial. Se logrará mediante la realización de una experiencia de investigación, que implica la creación del concepto de diseño arquitectónico funcional y espacial del edificio multifamiliar en la calle Czestochowska en Bialystok. El experimento de investigación se lleva a cabo con: intención de diseño - que contiene: función del edificio y su contexto urbano, estética del objeto, factor 4D y 5D de acuerdo con la metodología de BIM; evaluación de la "existencia" de construir sobre el desarrollo del mercado actual, y varios factores sobre la arquitectura y la economía espacial; En conclusión, los autores describieron el uso potencial de la tecnología BIM en una de las áreas de economía espacial, que tiene la mayor influencia en el ciclo de vida de los edificios: la administración de edificios. Esta área se basa en una estrecha cooperación entre especialistas en este campo con especialistas de otros campos de la industria de AEC y relaciones en línea con especialistas-clientes. La tecnología BIM cumple con los factores mencionados anteriormente porque: el software BIM crea la posibilidad de realizar una presentación 3D atractiva del edificio, lo que puede aumentar la posibilidad de vender el "producto" presentado; BIM mejora los métodos estándar de presentación, enriqueciéndolos con la posibilidad de un ajuste detallado y la conclusión de contenido específico en las necesidades y expectativas individuales del cliente; el uso de BIM no requiere que los especialistas dediquen una cantidad excesiva de tiempo para lograr resultados satisfactorios, debido al enfoque en una base de datos, que contiene datos diferentes sobre la construcción; BIM permite a todos los participantes, involucrados en el ciclo de vida del edificio, trabajar en un modelo BIM, que se puede exportar e importar en formato IFC; La tecnología BIM se basa en la cooperación entre industrias AEC individuales, y su espectro es tan amplio, que es una herramienta universal para resolver cualquier problema o problema relacionado con el ciclo de vida del edificio.

BIM; diseño arquitectónico

1. INTRODUCTION

The life cycle of the building is the basis for the modern functioning of each building. It is based on 5 phases: design, construction, operation, conversion, demolition/change of use function. All of these phases should be carried out in a way that brings the greatest benefits and the lowest costs - economic, spatial, time, etc. Searching for ever newer and innovative design methodologies is the basis for the development of many areas of the architectural, engineering and construction industries (AEC industry).

It is worth mentioning that spatial economy as a teaching direction is an important element of the AEC industry, and the implementation of various computer technologies in this field favors cooperation with other disciplines. The term BIM (Building Information Modeling) technology means a kind of design methodology based on a computer-aided design system, which uses specialized software allows to create a three-dimensional (3D) building model containing data (database), which can be used by interested participants of the building's life cycle during the process of its construction, design or operation [11].

The use of BIM technology is becoming more and more popular every year in the AEC industry [1]. The confirmation of the above statement is, *inter alia*, the fact that construction law in some highly developed countries introduced the obligation to perform projects in accordance with the BIM methodology and providing the building model in the base export and import format of BIM - IFC (Industry Foundation Classes) models [2].

The aim of the work is to present the application of BIM technology in spatial economy on the example of a multi-family building designed in BIM methods in Białystok

2. WORK METHODOLOGY

The authors of the dissertation decided to achieve the aim of this work through the experience consisting in creating a functional and spatial concept of an architectural and construction project of a multi-family building at Czestochowska Street in Białystok, Poland. BIM technology sets the contemporary global standard in the AEC industry ensuring integral cooperation between all participants of the building's life cycle.

The use of BIM technology in spatial management allows for increasing the efficiency of activities carried out, in relation to

currently used tools. The form and scope of the project will be limited to the creation of those components that will determine: the function of the building together with its urban context; the aesthetics of the object; factor 4D and 5D in accordance with the BIM methodology; assessment of the "existence" of a building on the contemporary development market, including a number of factors determining architecture and spatial economy such as - economy, design, construction and construction solutions, functionality and ergonomics, marketing, implementation capabilities, demand and sales.

3. WHAT IS BIM?

In the currently literature, there are many definitions of BIM, whose content is significantly different from each other. The above problem may be caused by the relatively short period of functioning of the term BIM in modern times. According to the publication of the IFMA [1], the term BIM has been used around the world since the beginning of the 21st century, previously this term functioned as the term BPM (Building Product Models).

Discrepancies in relation to the content and understanding of the definitions of BIM forced the authors to create a definition for his own purposes. According to the authors, BIM (Building Information Modeling) is a kind of design methodology based on a CAD system, which uses specialized software allows to create a three-dimensional (3D) building model containing data (database), which can be used by interested participants of the building's life cycle during the process of its construction, design or operation. The content of the above definition was based on Rusin [7] and BuildingSMART [5] and the publication of the IFMA [1].

The result of using BIM technology is to create a model of a building referred to as the BIM model [4]. The BIM model is a digital 5-dimensional representation of the physical and functional parameters of the facility, available to all participants of the full life cycle of the building, performing functions of the object data source, as well as the basis for undertaking any projects during the full life cycle of the building [5].

The five-dimensionality of the BIM model is understood as the "enrichment" of the 3D parameter - defining the 3 basic spatial dimensions (length, width, height), by the parameters 4D and 5D. The 4D dimension is characterized by "time", i.e. time information (eg deadlines for individual elements of the object), while the 5D dimension describes "cost", i.e. information related to incurring financial costs, e.g. costs of purchasing building materials [10].

BIM is a technology used in products - programs, a large number of modern computer software producers (including companies: Autodesk, Graphisoft, Bentley), who are present in many architectural, engineering and construction industries.

Therefore, in order to ensure interoperability in the above industries and minimize the possibility of data loss during the import of BIM models between different programs, the NIBS (National Institute of Building Sciences) created a base format for exporting and importing BIM - IFC models. Classes) [9].

Currently, the latest version of the IFC format used is the IFC4 type [3]. The IFC format contains the BIM model data characterizing: the object life cycle stage, the types of component elements of the object and relations between them, building data of the geometrical character, standard and non-standard properties assigned to building elements [9].

3.1. APPLICATION OF BIM TECHNOLOGY

According to a study by the IFMA foundation and Azhar [1], [4], BIM technology is increasingly used in many areas of the architectural, engineering and construction industries (AEC industry), where for many years only CAD technology has been used. As the main reasons for the implementation of BIM in the aforementioned industries, Azhar et al. [4] and Rusin [7] give two significant differences between technologies that affect the departure of the AEC industry from CAD:

- ◆ CAD technology creates a building project based on unrelated, in no technological way, two-dimensional (2D) views - plans, cross-sections, projections, etc., which when necessary to change on one of them, force "manual" updating of the others. However, in the BIM technology, the building design is created as a BIM model, which is created based for connecting with each other using the technology of all 2D and 3D views. Therefore, any changes in one 2D view are automatically updated in all other views;
- ◆ CAD technology maps individual components of a building in the form of simple 2D graphic elements such as lines, arcs, and circles. BIM technology creates a semantic BIM model in which each building element is defined as a 3D equivalent of the actual physical building element, e.g. wall, beam, ceiling, column, along with their description. This makes it easier for AEC industry professionals to "understand" the building and its essence before it can be built, renovated or maintained.

According to articles [9],[3], BIM technology is a perfect instrument in the AEC industry, intended for all participants of the object life cycle, including mainly for investors, designers (architects, constructors, installers), general contractors, prefabricated producers, facility owners, and its managers. This is because of BIM technology:

- ◆ is characterized by precision in the creation of individual elements of the model, which facilitates the construction of prefabricated elements used to construct the object;
- ◆ thanks to parameters 4D and 5D, guarantees liquidity in

managing the construction project during its implementation;

- ◆ is based on coherent cooperation between specialists from various AEC industries, eg creating a BIM model involves the work of all specialists involved in building design, based on 1 virtual model, in which changes are updated in parallel - are introduced simultaneously to all participants forming model;
- ◆ through the use of mobile electronic devices (tablet, smartphone) allows free access for investors, property owners and their managers to use the BIM model.

3.2. PROFITS OF USING BIM

The main advantage of BIM is the ability to accurately geometric representation of individual components of the proposed assumption together with the integrated one

and an extensive database [4]. Other significant advantages of BIM include:

- ◆ universality - BIM models can be used to a greater extent than traditional and digital documentation. This documentation provides information in the form of two-dimensional views and 3D solid or mesh models, which are supplemented with data sets presented in the form of tables and statements, which require precise and complicated interpretation because they do not often inform about various types of parameters relating to, for instance, the construction of the object [7];
- ◆ maintaining documentation consistency - individual elements of traditional documentation, often when they are interrelated, present the same information in various forms, resulting in problems with the consistency of documentation. The BIM model contains 1 global database, so that the documentation created on its basis regardless of the presented form always refers to the same database. This makes it possible to maintain the integrity of the documentation [7];
- ◆ streamlining and accelerating the production of prefabricated products - programs using BIM have detailed and precise tools for modeling, which, combined with extensive databases, allows increasing the accuracy and pace of production of prefabricated elements used in the project assumption [4];
- ◆ speed in data management - in BIM data can be quickly exchanged between participants at individual stages of the object life cycle and repeatedly used and modified [4];
- ◆ "improvement" of the design - the technology enables creating and comparing many concepts at once, the proposed simulations are created quickly and efficiently

mapped, which enables the creation of innovative and "ideal" design solutions [4];

- ♦ efficient, ongoing control of project costs - thanks to the concentration of many information in 1 global database, all kinds of cost estimates appearing at various stages of the facility life cycle are implemented quickly and in detail [4];
- ♦ increasing the attractiveness of the "product" presentation and improving the contact between the "seller" and the "recipient" - in-depth visualizations and detailed matching of content presented for the "recipient", increases the chance of success and sales of the presented "product" [4];
- ♦ ensuring coordination between individual participants of the building life cycle stages - technology ensures continuous access to the BIM model, thanks to which the coordinator can observe the progress of work on the model

and using the tools provided by the BIM software to supervise the project process [10]. Azhar's publication et al. [4] contains the results of research showing the financial and time benefits resulting from the use of BIM technology in relation to traditional methods of project preparation. They are presented as follows:

- ♦ a reduction of about 40% of related financial costs with the introduction of extra- budgetary changes in projects;
- ♦ increasing the accuracy of estimating costs by 3%;
- ♦ reduction of up to 80% of the time spent on making cost estimates;
- ♦ saving about 10% of financial resources allocated to the elimination of design defects;
- ♦ shortening the average time of preparation of project documentation by 7%.

Summing up all the previously described profits, the author of the work states with great certainty that: "The profits resulting from the use of BIM technology, in the next few years will translate into the increasingly widespread use of BIM technology by specialists from many areas of the AEC industry".

4. DEVELOPMENT OF A MULTI-FAMILY BUILDING PROJECT

4.1. DESIGN ASSUMPTIONS

The design of the multi-family building was designed at Czestochowska Street in Białystok, Poland. The form and scope of the project described in this chapter will be limited to the creation of those components that will determine:

- ♦ the function of the building together with its urban context;

Data	Details
Length (in the longest place)	56,05m
Height (from the level of the area located in front of the lowest entrance to the staircase and its peak)	15,84m
Width (in the longest place)	19,25m
Number of above-ground storeys	4
Number of underground stories	1
Building area	1485,3 m ²
Total surface area	7.227,8 m ²
Total underground area	2.093,4 m ²
Net area	6041,3 m ²
net area of flats	2.556,3 m ²
Net area of services	708,5m ²
net area of general communication	1.098,3 m ²
net area of technical and economic rooms	93,6m ²
net space of storage cells	126,9m ²
net area of the underground garage	1.457,7 m ²
Gross volume	21.588,0m ³
Net underground floor height	2,45m
The height of the above-ground storeys	2,55-3,00m
Number of places in the underground garage	47

Table 1: Basic data about the designed building

- ♦ the aesthetics of the object;
- ♦ factor 4D and 5D in accordance with the BIM methodology;
- ♦ assessment of the "existence" of a building on the modern development market, including a number of factors determining architecture and spatial economy such as - economics, design, construction and construction solutions, functionality and ergonomics, marketing, implementation capabilities, demand, and sales.

The following subchapters will present the main design assumptions of the research experience that has been carried out, divided into general project assumptions and architectural assumptions of the designed building.

4.2. ARCHITECTURAL ASSUMPTIONS

Data about the building:

A detached, caged building in the shape of an "inverted" letter "C", closing the quarter from the north, in white color. Ceiling inverted green. Basic data on the building are included in table 1.

◆ The architectural function of the building:

The designed object is a multi-family residential building with a service function on the ground floors. The facility is a sealed enclosure integrated with the surroundings. The shape of the building of the above-ground stories takes the shape of the "inverted" letter "C" around the inner "courtyard" constituting the zone of rest and recreation of the residents of the building. Parking pitches were located in the underground story - to eliminate circular traffic within the quarter. The communication inside the building is based on fire-extinguished staircases with high-speed lifts adapted for the transport of disabled people.

◆ The architectural form of the building:

The building was designed in the modernist form with an orthogonal layout of the walls. The roof of the building is flat, in the form of an inverted green roof topped with an openwork roof. The object is characterized by high architectural and utility values thanks to the use of modern elements and finishing materials, among others glass balustrades and blinds, wooden enclosures, façade parts, steel openwork canopies of the flat roof. The color of the façade is dominated by white complemented with black elements (including the frame of windows, windows, and doors, balustrade fittings).

The scale of buildings and details is appropriate for the housing function. The design maintains its correctness and architectural originality by:

- ◊ maintaining the proportions of horizontal dimensions to vertical ones,
- ◊ lack of "excessive" interference in the architectural form of the object,



Fig.1: Visualization of designed multi-family building (source: own study)

- ◊ the division and size of window and door openings,
 - ◊ the use of wooden openwork casings and the introduction of glass blinds and other types of glazing that give the "raw" block of the building "lightness";
 - ◊ crowning of the flat roof with openwork roofing.
- ◆ Functional and spatial assumptions of the investment:

The planned investment provides 3 functions:

- ◊ housing - which are 42 residential premises located on three floors of the building (first floor, second floor, third floor), accessible via staircases;
- ◊ commercial service - which is 8 commercial and service premises located on the ground floor of the building, accessible from the ground level;
- ◊ recreation and recreation - which is: a garden set located on the roof of the building, accessible via staircases; development of the area around the building, available from the ground level; a playroom for children with a seating area inside the building, located on the ground floor of the building, accessible via the north-east staircase.

The housing function of the object is connected by the internal communication

with leisure and recreation space. This is a conscious undertaking aimed at facilitating the use of residents of the building with this function. On the other hand, the service space has not been connected by communication with other functions, due to the commercial and public nature of services that could affect the "intimacy" and privacy of the residents of the facility (fig.1).

5. METHODOLOGY OF THE PROJECT IMPLEMENTATION

5.1. TECHNIQUE

Implementation of a multi-family building project at Częstochowska Street in Białystok using computer software, mentioned in sub-chapter 4. Project design approach consists of 5 stages:

- ◆ Stage I - Review of available literature and legal acts outlining and determining the correct preparation of project documentation;
- ◆ Stage II - Acquisition of materials needed for the implementation of project documentation;
- ◆ Stage III - Creation of project assumptions;
- ◆ Stage IV - Selection of tools necessary to implement the project;

◆ Stage V - Preparation of the building project.

In stage I, the authors of the dissertation made a detailed analysis of the sources conditioning and outlining the correct preparation of the building design documentation.

The result of this stage was the acquisition, by the authors, of knowledge enabling the commencement of work related to the preparation of project assumptions and the search for materials and tools enabling comprehensive implementation of this project.

Stage II - Acquisition of materials needed to prepare project documentation.

This stage was partly carried out at the same time as stage III. It consisted in obtaining the appropriate map foundation of the Czestochowa Street, legal acts and access to the standards necessary to implement this research experience. The map's mapping in the form of a master map sheet in 1:500 scale, intended solely for educational purposes, was obtained in the Department of Geodesy and Cartography of the Municipal Office in Bialystok.

The content of legal acts containing conditions and records having a significant impact on the "shape" of the building's design has been obtained in the Internet System of Legal Acts kept by the Chancellery of the Parliament of the Republic of Poland. The materials collected in this stage allowed the authors a dissertation to start the next stage of work on the implementation of the building's design.

Stage III - Creating "preliminary" design assumptions.

This stage consisted in developing by the authors the design assumptions of a multi-family building at Czestochowska Street in Bialystok. It consisted in the preparation by the authors of concepts, solutions, compilations and "hand-written" drawings (projections, sections, diagrams). The final result of the described stage was the creation of "preliminary" building design assumptions.

Stage IV - Selection of tools necessary to implement the project.

This stage consisted of the authors taking a decision on the choice of tools - computer programs, with the help of which they would create a multi-family building project. The authors of the dissertation decided that they would use the educational versions of the GRAPHISOFT and ABVENT computer software. The authors of the work decided to use this software because:

- ◆ selected computer programs are offered for free use in the form of educational versions;
- ◆ GRAPHISOFT and ABVENT products are easy to use and open design environment, as well as the ability to create detailed documentation thanks to the 5D option of creating a building design [11];



Fig. 2: Visualization of a designed multi-family building – white model (source: own study)



Fig. 3: Visualization of a designed multi-family building – white model (source: own study)

- ◆ selected computer software will enable not only the implementation of this research experience but also the implementation of the work objective thanks to the BIM technology implemented in them [11].

The final result of this stage was the acquisition, installation, and familiarization with the computer software of GRAPHISOFT and ABVENT.

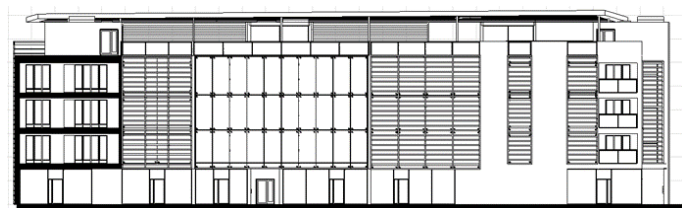


Fig. 4: Front elevation of virtual building created with the help of BIM software (source: own study)

Stage V - Preparation of the building project.

Creating a building project is the last and most complicated stage of the multi-family building project at Czestochowska Street in Bialystok. In this stage, the authors of the dissertation directly used the final results of stage III and IV. In addition, an important element of this phase was carrying out the so-called design adjustments, during which the authors of the work made comprehensive modifications and changes to the "initial" design assumptions (which eventually evolved to the "form" contained in subsection Project assumptions).

The authors of the dissertation began to create a building project from the import of the acquired map foundation to the ArchiCAD program. After internal compression of the base map, creation of the structure and the main body of the building began. As a result, they were created basic structural elements (including walls, ceilings, pillars, etc.) of the underground floor of the building - underground garage, and above-ground stories - ground floor, first, second and third floors.

The next step was to design communication inside the building (staircases) and the functional and spatial distribution of the object. Then, work began on creating a "shape" to the individual, until now "raw" facades of the building (among others created: window and door carpentry, glazing, fittings, blinds, structural partitions, etc.).

After completing the above-described step, the interior space was begun - door woodwork was created, furnishings of the rooms, finishing of floors, walls, and ceilings, etc.

The last step in the implementation of the described project was the execution of, among others, a model of terrain, roads, buildings. All components of the multi-family building project at Czestochowska Street in Bialystok was created in one file.

After generating a 3D model of a multi-family building in ArchiCAD, the file containing the project was exported to the Atlantis Studio 5 program, where a detailed graphics processing of the virtual building was made and the rendering process was carried out. The result of which was the "attractive" visualization of the designed object, presented in Figures 3, 4.

5.2. CREATION OF A VIRTUAL MULTI-FAMILY BUILDING

The GRAPHISOFT product - ArchiCAD, is one of the presents on the market, computer-aided design systems using the latest BIM technology standards. ArchiCAD is a computer program that was the first to depart from the idea of 2D designing of flat drawings in favor of the idea of BIM methodology, the result of which is the 3D design of digital models of architectural objects - so-called virtual buildings, BIM (Building Information Model) models.

The digital model of the object is implemented from the very

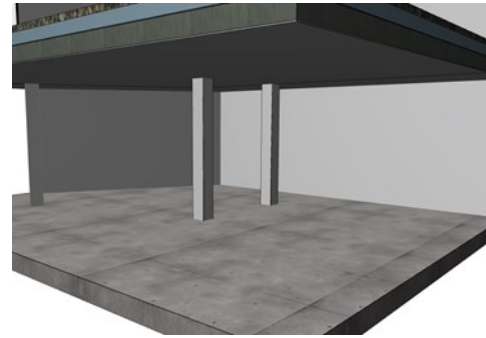


Fig. 5: An example of construction elements (wall, ceiling, pole) used in creating a virtual multi-family building, (source: own study)

beginning of the project to its end, and all data (including 4D and 5D data) associated with the 3D model are available during each stage of its creation [3].

According to Sleka [3], modeling in a virtual three-dimensional environment is much more efficient in relation to working in 2D. In addition, work in 3D space introduces the idea of thinking about all aspects of the designed object, and not only about creating 2D documentation [3]. Conducting any work on the building project is automatically creating a virtual building, as shown in Figures 4.



Fig. 7: An example of sets of options and parameters of the info window pallette object – used in creating a virtual multi-family building (source: own study)

The selected program is a graphical program that bases its operation on the so-called "Object logic". The selected types of objects are assigned to various types of building elements (eg wall, ceiling, column, beam) and other predefined elements (e.g. windows, doors, furniture, plants).



Fig. 6: The example of parametric objects (the door, the window, object – balustrade, the shutter) used in creating a virtual multi-family building. (source:own study)

The above-described "mechanics" of operation allow for the comprehensive creation of very complex building projects, and the 3D capabilities of imaging the structure, installation, and equipment of the facility simplify the preparation of detailed design documentation.



Fig. 8: Example of command sets and options of the auxiliary palette of the window object – used in creating a virtual multi-family building (source: own study)

Service of the program does not require the user to speak a foreign language, because the software exists in many language versions, including in the Polish language edition.

This chapter will not be a kind of detailed guidance on how to use the program. The authors of the dissertation decided to focus solely on the description of the nature of creating a virtual model of the building.

The idea of implementing a virtual multi-family building was based on the use of specialized tools and program functions to create defined objects and give them parameters. According to the article by GRAPHISOFT [10], this type of methodology can be described as the "philosophy" of BIM design.

The essence of creating virtual buildings by professionals from the AEC industry is mainly:

- ♦ facilitating cooperation between individual participants of the design process;
- ♦ avoiding the creation of so-called design collisions - errors in creating the content of the project's design documentation;

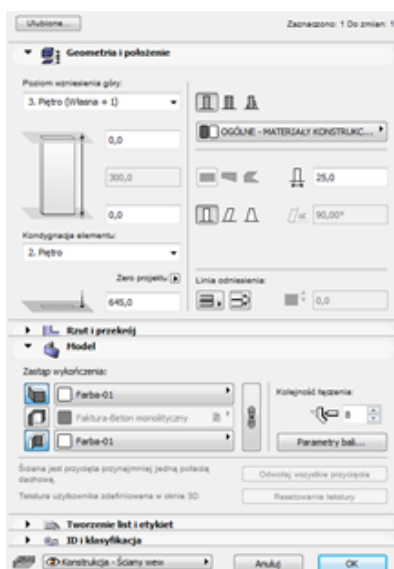


Fig. 9: The contents of the tool settings window for the wall construction element - used in creating a virtual multi-family building (source: own study)

- ♦ improving the creation of various functional and aesthetic solutions of designed buildings;

- ♦ the possibility of a detailed estimation of the cost of implementation of the proposed building.

Creating defined objects that are elements of the BIM model, involves creating so-called structural elements and parametric objects.

According to the GRAPHISOFT [6] study, the virtual equivalents of real 3D building components should be defined as construction elements. These include: walls, pillars, beams, ceilings, roofs, nets, zones and structural partitions, shapes and shells. In the 3D window, these elements are presented in the form of 3D components with a specific volume (Fig. 5).

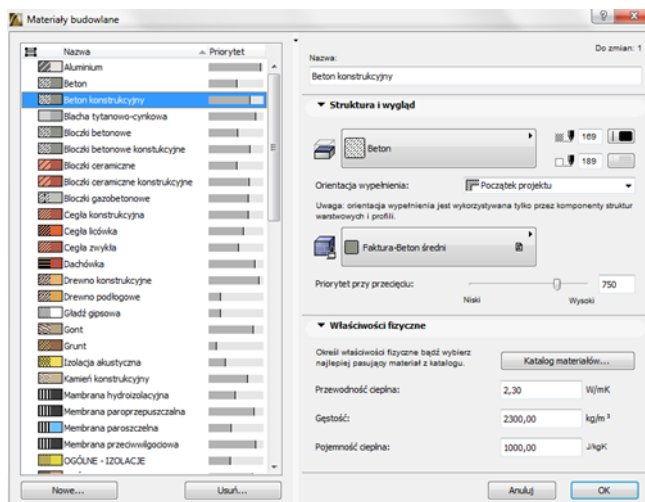


Fig. 10: Characteristics of building material - constructional concrete – applied in the ceilings of a virtual multi-family building (source: own study)

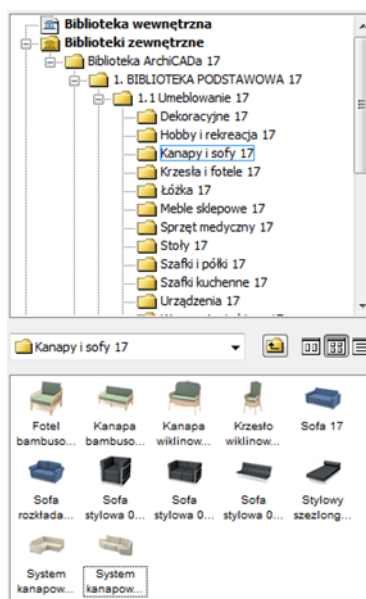


Fig. 11: Examples of GDL objects that can be used during creating a virtual multi-family building (source: own study)

Parametric objects are defined as objects that are inserted into the BIM model as so-called library elements, and their physical parameters and properties, can be freely configured using the program dialogs assigned to them - without having to modify the external source of this object. Included in them are inserted objects:

- ◆ using the following tools: object, door, window, stairs, skylight;
- ◆ automatically through commands or additions: tags, labels, Roof Maker and Truss Maker elements.



Fig. 12: Virtual multi-family building in 3D perspective view
(source: own study)

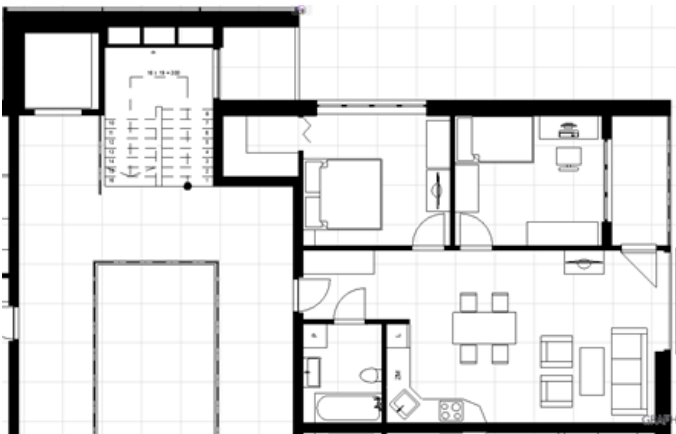


Fig. 13: Virtual multi-family building in the projection view
(source: own study)

ArchiCAD's extensive internal library contains the number of GDL objects that are needed in most design processes (Fig. 6.) presents examples of parametric objects used in the implementation of the research experience. The tools and functions of the program used for assigning parameters to the above-described structural elements and parametric objects include the tools contained in the info palettes and auxiliary palettes, as well as the attributes and tool settings window.

The info palette, according to the GRAPHISOFT [6] study, is the place where the most important sets of options and parameters for the selected BIM component are concentrated

The auxiliary palette is a set of commands and options that automatically appear when entering or editing objects. The

content of the palette depends on the type of the selected element or its fragment and the active program window (Fig. 8.).

Due to the limited number of displayed options and commands or parameters, the above-presented palettes allow only for quick modification of the basic parameters of the created object.

The aim of comprehensive and correct creation of a virtual building is to give parameters to objects by using the tool settings dialog. This window is the basis and beginning of the design process according to the BIM philosophy. The content of this window depends on the type of object being created and contains settings defining its appearance, parameters and other types of data (Fig. 9.).

An equally important function as the tool settings window is the attributes function. According to the GRAPHISOFT [6] study, ArchiCAD attributes are sets of parameters that are used when conducting project work.

These include: layer settings, line types, fill types, building materials (Fig.10.), layered structures, pens and colors, finishing types, zone categories, design highlighter styles, profile manager, attributes of remodeling elements, usage profiles. Each of the above options has a real impact on the "shape" 5D BIM model and moderates the most important data contained in it.

Creating objects along with setting parameters are the most important element in the BIM design methodology. The program offers many other tools and functions that support its functioning. The most important of them include:

- ◆ Library function: libraries that contain external or attached files: geometric library elements or parametric objects (Fig.11). A large number of editable GDL objects increases the speed of creation of virtual buildings, while enriching the BIM model with additional sets of information [8].
- ◆ Model view function: This function is the basic access to the virtual building model, because through the views the object is implemented and given parameters, and the presentation of various aspects of the virtual building:
 - ◊ 3D perspective (Fig.12.), In which you can follow the current look of the virtual building;
 - ◊ projection (Fig.13.), In which the virtual building is presented in the form of a 2D technical drawing; cross-sections, elevations, wall extensions, generated on the basis of the 3D model with the possibility of partial editing of objects;
 - ◊ 3D document;
 - ◊ interactive statements that show a virtual building as a tabularly ordered set of data.

Conducting design works in one of the above-mentioned views of a virtual building will automatically update and apply changes in other views.

6. CONCLUSIONS

The direct result of the research experience is the creation of a functional and spatial concept of an architectural and construction project of a multi-family building at Czestochowska Street in Bialystok.

The authors of the work are aware of the fact that the use of BIM technology in Poland, it is negligible and that there are not many literature items dealing with this type of subject. However, worldwide progress in the use of BIM technology in the AEC industry, it is the perfect impulse to start a broad discussion on the implementation of BIM in Poland.

BIM technology should be used in specific spatial economy areas. The field of property management and management is based mainly on shaping:

- ◆ close cooperation between specialists in this field with specialists from other fields of the AEC industry;
- ◆ appropriate contacts and relations between the specialist and the client.
- ◆ Therefore, it is desirable to apply practices and use tools that in a significant and uncomplicated way affect the shaping of previously described relationships. BIM technology meets the above-mentioned factors because:
- ◆ computer software using this technology has, until now, generally created unused opportunities for attractive 3D building presentation (including using the 3D section), which can increase the chance of success, sales of the presented "product";
- ◆ BIM makes the standard methods of presenting objects more attractive, enriching them on the possibility of detailed matching and concluding specific content to the individual needs and expectations of the client and specialists from other fields of the AEC industry;
- ◆ the use of BIM technology does not require specialists to spend a lot of time on achieving satisfactory results, thanks to the concentration in one place, various building databases;
- ◆ BIM methodology is able to involve all participants in the building's lifecycle, basing their work on one BIM model, which can be exported and imported in IFC format;
- ◆ simple and quick access to the possibilities offered by BIM enables specialists to use specialized computer software and applications using BIM, on all types of portable devices, which, even in the least expected situations, does not constitute a major problem for access to the BIM model;
- ◆ BIM technology is based on the cooperation of individual AEC industries, and the spectrum of its application is so extensive that it is a universal tool for solving all types of issues and problems related to the building's lifecycle processes.

Creating a complete virtual building model is a creative job in many areas of the AEC industry. Hence, its implementation should be undertaken by a group of specialists who, through cooperation among themselves, would create a virtual building at a fast pace, while avoiding making many mistakes that could significantly slow down the process of its creation.

7. REFERENCES

Books:

- [1] IFMA, E. Teicholz, "BIM for Facility Managers", John Wiley & Sons, Hoboken 2013, pp. 17-34,
- [2] K. Lalit Narayan "Computer Aided Design And Manufacturing", Prentice-Hall of India, New Delhi, 2008, pp. 3-4,
- [3] R. Sleek, "ArchiCAD. Wprowadzenie do projektowania BIM", Wyd. Helion, Gliwice 2013, pp. 90-120,

Journal articles:

- [4] S. Azhar, "Building Information Modeling (BIM): Benefits, Risks, and Challenges", Journal of Software Engineering and Application, Auburn University, Auburn 2008

Internet:

- [5] BuildingSMART. (2018, April 14). Networks (1st ed.) [Online]. Available: <http://buildingsmart.pl>
- [6] GRAPHISOFT, Graphisoft BIMx usage guide for ArchiCAD 17, access in the form of a pdf file via ArchiCAD 17 (2018, April 14). (1st ed.) [Online]. Available: <https://www.graphisoft.com/.pdf>
- [7] J. Rusin, "Czym jest BIM?" (2018, April 14). Networks (1st ed.) [Online]. Available: <http://www.bimblog.pl>
- [8] K. Orlińska-Dejer "IFC - kilka suchych faktów". (2018, April 14) (1st ed.) [Online]. Available: <http://www.bimblog.pl/2011/12/ifc-kilka-suchych-faktow>
- [9] M. Dejer "Czy BIM to Revit...?" (2018, April 14). (1st ed.) [Online]. Available: <http://www.bimblog.pl>
- [10] M.A.D. Engineers. "BIM." (2018, April 14). Networks (1st ed.) [Online]. Available: <http://www.bimblog.pl>
- [11] NIBS. "IFC4 officially released." (2018, April 14) (1st ed.) [Online]. Available: <http://www.buildingsmart-tech.org/news/ifc4-officially-release>

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.

Legal maintenance of residential buildings and the role of the building engineering graduate

Mantenimiento legal en los edificios de uso residencial y el papel del graduado en edificación

Francisco González Yunta

Proiescon. S.L. Camino de Valderribas 95. Madrid. España.
fgonzalez@proiescon.es

Sonsoles González Rodrigo

E.T.S. Edificación. Dpto. de Construcciones Arquitectónicas y su Control.
U.P.M. Madrid. España. sonsoles.gonzalez@upm.es

All the regulations of our legal framework, starting with the generalist one, as the Civil Code, to the specific of the construction sector, as the LOE for example, require the owners and the users to maintain the buildings in a state of conservation that keeps out of risk the people who use it. A series of periodically programmed activities are deduced of the technical regulations set of the building systems, which form the Plan of Legal Preventive Maintenance of the Building. This Plan contemplates the intervention in the system parts where the failures can cause important damages for the health of the users (elevators, boilers, etc.) or high economic impact injuries (façades, covers, etc). The real truth is that good maintenance practices implemented in buildings with other uses (industrial, hospital, public, etc.) are not transferred to residential buildings, despite forming the largest group of all of them. Several negative circumstances arise from the above considerations: deferred maintenance becomes corrective one with the high economic costs associated with the added values of urgency and opportunity, systems and materials life cycle reduction trigger the renewal; the owner's liability to third parties' damages increases and the insurance policy contracted not always covers all situations where exist a clear lack of functions. The role of the Building Engineering graduate must be fundamental in all the processes related to the building maintenance. The university education offers the knowledge in the characteristics of the materials and constructive systems, as well as the criteria of durability and the mechanisms through which pathological processes initiate. Therefore, it is able to interpret the injuries and damages that appear and to plan the necessary corrective actions. Making a comparison with medicine field, buildings need a doctor who recognizes their condition in the first instance and who knows to diagnose and cure if necessary, or to send to a specialist treating it. That "head technician" is the building graduate. The importance of the sector for companies and technicians, its size, its practices and its development and expectations, deals with this communication.

Maintenance, Legal, Preventive, Building Engineering graduate.

El Plan de Mantenimiento Preventivo Legal del Edificio está formado por una serie de actividades programadas periódicamente extraídas de la normativa técnica de los sistemas que forman parte de un edificio. Este Plan contempla la intervención en los sistemas en los que los fallos pueden provocar daños importantes para la salud de los usuarios (ascensores, calderas, etc.) o lesiones de elevado impacto económico (fachadas, cubiertas, etc.). Lo cierto es que las buenas prácticas de mantenimiento implantadas en edificios de otros usos (industrial, hospitalario, de pública concurrencia, etc.) no se trasladan a la edificación residencial, a pesar de conformar el mayor grupo de todos. De lo anterior se desprenden varias circunstancias negativas: el mantenimiento diferido se transforma en correctivo, con los elevados costes económicos que conlleva por los valores agregados de urgencia y oportunidad; los sistemas y materiales disminuyen su ciclo de vida, precipitando su renovación; la responsabilidad de los propietarios frente a daños a terceros aumenta, y no siempre la póliza de seguro contratada contempla la cobertura de todas las situaciones en las que hay un manifiesta dejación de funciones. El papel del Graduado en Edificación debe ser fundamental en todos los procesos relacionados con el mantenimiento de los edificios. Por su formación conoce las características de los materiales y sistemas constructivos, así como los criterios de durabilidad y los mecanismos a través de los cuales se inician los procesos patológicos. Es capaz, por tanto, de interpretar las lesiones y daños que aparecen y de planificar las acciones correctoras necesarias. Buscando un símil con el campo de la medicina: los edificios necesitan un médico de cabecera que reconozca el estado de los mismos en una primera instancia y que sepa diagnosticar y curar llegado el caso, o bien, desviar el mismo hacia algún especialista que lo trate. Ese "técnico de cabecera" es el graduado en edificación. Esta comunicación trata de la importancia del sector para las empresas y los técnicos, de su tamaño, sus prácticas y de su desarrollo y expectativas.

Mantenimiento, Legal, Preventivo, Grado Edificación.

1. INTRODUCCIÓN

De forma genérica, se puede definir el mantenimiento de edificios como el conjunto de operaciones planificadas y orientadas a conservar las características funcionales iniciales del inmueble, así como aumentar la vida útil de sus sistemas constructivos y materiales. Atendiendo a esta definición, es sencillo apreciar con claridad las ventajas que implican un correcto mantenimiento para los usuarios y propietarios de los edificios.

Dentro de las prácticas de mantenimiento existentes, [1] y para contrarrestar los efectos negativos de realizar sólo un mantenimiento correctivo, lo ideal sería realizar una Plan de Mantenimiento Preventivo anual, entendido como "el que se realiza a intervalos predeterminados o de acuerdo con criterios establecidos (durabilidad, costes de avería, funcionales, etc.) y que está destinado a reducir la probabilidad de fallo o la degradación del funcionamiento de un elemento".

A mayor abundancia, toda la normativa de nuestro marco jurídico, desde la generalista como el Código Civil hasta la específica del sector como la LOE, por ejemplo, obliga a los propietarios y usuarios a mantener sus edificios en un estado de conservación tal que no ponga en riesgo a las personas que lo utilizan.

Del conjunto de normativa técnica de los sistemas que se integran en un edificio se desprenden una serie de actividades programadas periódicamente que forman el Plan de Mantenimiento Preventivo Legal del Edificio. Este Plan contempla la intervención en los sistemas en los que los fallos pueden provocar daños importantes para la salud de los usuarios (ascensores, calderas, etc.) o lesiones de elevado impacto económico (fachadas, cubiertas, etc.).

Lo cierto es que las buenas prácticas de mantenimiento implantadas en edificios de otros usos (industrial, hospitalario, de pública concurrencia, etc.) no se trasladan a la edificación residencial, a pesar de conformar el mayor grupo de todos. Quizá sea por el alto precio del inmueble, hecho paradójico ya que sí mantenemos otros bienes de menor cuantía, como nuestros automóviles por ejemplo, o por la rápida revalorización económica del patrimonio edificado que en numerosas ocasiones no repara en el valor funcional.

La realidad nos muestra que apenas ha tenido desarrollo en los edificios destinados a viviendas, muy al contrario que en otro tipo de usos, como en el sector servicios o industrial, en los que ha llegado incluso a cristalizar una nueva profesión como la de "facility management" que engloba la gestión de los edificios y sus servicios.

Esta situación debe cambiar, y en los siguientes contenidos se desarrollan las razones legales, económicas y de oportunidad para los técnicos que así lo justifican.

2. PLAN DE MANTENIMIENTO LEGAL

La entrada en vigor en el mes de mayo del 2000 de la Ley de Ordenación de la Edificación [2], estableció el marco actual de regulación del sector de la construcción. En lo relativo al mantenimiento, comienza en sus artículos iniciales, como la mayoría de las reglamentaciones del sector, con los principios generales. En el artículo 16: *Los propietarios y los usuarios* se informa que los propietarios y usuarios están obligados a conservar en buen estado la edificación mediante un adecuado uso y mantenimiento, así como recibir, conservar y transmitir la documentación de la obra ejecutada y los seguros y garantías con que ésta cuenta.

Si se continua con el análisis de toda la normativa específica del sector, es posible establecer una primera clasificación de las actividades que conforman el Mantenimiento Legal (Obligatorio) que los edificios de uso residencial tienen que observar. Si bien es cierto que, en numerosas ocasiones se producen simultáneamente un programa de Inspección combinado con un programa de Operaciones de Mantenimiento. Los datos obtenidos se han ordenado como se muestra en la tabla inferior:

MANTENIMIENTO LEGAL DE LOS EDIFICIOS RESIDENCIALES			
SISTEMA	NORMATIVA	ACTIVIDAD	PERIODICIDAD
Estructuras de acero	CTE DB SEA	INSPECCIÓN	X
		O.M.PREVENTIVO	
Fachadas	CTE DB HS1	INSPECCIÓN	X
		O.M.PREVENTIVO	
Cubiertas	CTE DB HS1	INSPECCIÓN	X
		O.M.PREVENTIVO	X
Sistemas de Recogida y Evacuación de Residuos	CTE DB HS2	INSPECCIÓN	
		O.M.PREVENTIVO	X
Sistemas de Ventilación	CTE DB HS3	INSPECCIÓN	X
		O.M.PREVENTIVO	X
Puertas de Garaje	UNE-EN 12635	INSPECCIÓN	
		O.M.PREVENTIVO	X
Electricidad	REBT / ITC BT-05	INSPECCIÓN	X
		O.M.PREVENTIVO	
Ascensor	RAEM	INSPECCIÓN	X
		O.M.PREVENTIVO	X
Saneamiento	CTE DB HS1 y 5	INSPECCIÓN	X
		O.M.PREVENTIVO	X
Climatización	RITE / IT 3	INSPECCIÓN	X
		O.M.PREVENTIVO	X
Protección Contra Incendios	RIPCI	INSPECCIÓN	
		O.M.PREVENTIVO	X
Energía Solar	CTE DB HS 4	INSPECCIÓN	X
		O.M.PREVENTIVO	X

(1) A partir de Potencia Total contratada superior a 100 kW.
 (2) En función del número de paradas y la antigüedad de la instalación.
 (3) En función de la Potencia Útil Nominal y el Tipo de Energía.
 (4) En función de la Potencia Útil Nominal.
 (5) En función del Sistema.

Tabla 1. Programa de Mantenimiento Legal [3] [4] [5] [6] [7] [8]

No es el objetivo de esta comunicación presentar con detalle todo lo incluido en la tabla superior. Para forjarse una idea basta desarrollar con algo más de precisión lo prescrito para los ascensores, por ejemplo. Así, el RAEM [op. cit.] establece que la ejecución técnica del mantenimiento debe realizarse a la luz de lo dispuesto en las reglamentaciones que sirvieron para la instalación de los aparatos. Para ayudar a la necesaria definición de detalle aparece la norma UNE-EN 13015:2002+A1:2008 “Mantenimiento de ascensores y escaleras mecánicas. Reglas para las instrucciones de mantenimiento” que, sin ser obligatoria, es una base reconocida para los instaladores y gestores de mantenimiento en la redacción de las oportunas instrucciones.

Prosigue la ITC-AEM 1, con los plazos a cumplir en las visitas periódicas de mantenimiento:

“5.3.2 Plazos. Las empresas conservadoras deberán realizar visitas para el mantenimiento preventivo de los ascensores, al menos, en los siguientes plazos:

5.3.2.1 Ascensores en viviendas unifamiliares y ascensores puestos en servicio mediante declaración de conformidad CE según el Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas: cada cuatro meses.

5.3.2.2 Ascensores instalados en edificios comunitarios de uso residencial de hasta seis paradas y ascensores instalados en edificios de uso público de hasta cuatro paradas, que tengan una antigüedad inferior a veinte años: cada seis semanas.

5.3.2.3 Los demás ascensores: cada mes.”

Por último, y en lo relativo a la obligatoriedad de soportar simultáneamente Inspecciones Periódicas, la norma indica, en su Capítulo 11, que se realizarán en los siguientes plazos:

1. Ascensores instalados en edificios de uso industrial y lugares de pública concurrencia: cada dos años.
2. Ascensores de edificios de más de 20 viviendas, o con más de 4 plantas servidas: cada cuatro años.
3. Ascensores no incluidos en los casos anteriores: cada seis años.

Tenemos, por tanto, la constatación de la obligatoriedad de realizar en determinados sistemas del edificio, diferentes actividades que dan lugar al Plan de Mantenimiento Legal.

3. EL SECTOR PROFESIONAL DEL MANTENIMIENTO LEGAL

Dejando de lado edificios con otros usos y mantenidos por empresas especializadas de servicios, cabe preguntarse por el tipo de empresas que realizan el mantenimiento (legal, preventivo y correctivo) en la edificación residencial y en qué circunstancias es llevado a término.

Es evidente que el tamaño de la empresa condiciona determinados procesos de calidad, seguridad en el trabajo y formación que limitan las actividades que pueden realizar y, en ocasiones, el resultado de las mismas. Es bien conocida la excesiva atomización del sector de la construcción, como se muestra en la tabla [9]. En el año 2016 el 57,60% de las empresas no tenía ningún empleado en plantilla y el 38,40% estaba formada por menos de 10 empleados. Sumando las dos cantidades se observa que solamente el 4% de las empresas del sector tiene más de 10 empleados.

Estratos poblacionales	Año 2015	Año 2016	Variación % 2016/2015
<i>Empresas:</i>			
Sin asalariados	222.657	211.646	-4,95
De 1 a 9 trabajadores	141.950	141.305	-0,45
De 10 a 19 trabajadores	8.326	9.191	7,80
De 20 a 49 trabajadores	3.511	4.255	21,17
De 50 a 99 trabajadores	729	781	7,23
De 100 a 249 trabajadores	299	303	1,52
De 250 a 499 trabajadores	57	54	-4,09
De 500 a 999 trabajadores	38	39	1,83
De 1000 y más trabajadores	29	26	-8,77
Total	377.795	367.601	-2,70

Tabla 2. Número de empresas por número de empleados. Años 2015 y 2016

A esto se une la falta de control técnico en las actividades de mantenimiento, de todo tipo, que se llevan a cabo en el ámbito residencial. Los usuarios con posibilidad de realizarlas: presidente de la comunidad, propietario, administrador, conserje, etc. carecen normalmente del tiempo y la formación necesaria. Se trata por tanto de un subsector de pequeñas actividades, llevado a cabo por microempresas, sin control técnico, con relaciones de interés en ocasiones y en la que prevalece en la elección el factor económico a corto plazo sin más criterios.

El subsector tiene la suficiente entidad en el mercado de la construcción como para no entender que las prácticas de calidad del *Facility Management* en otros ámbitos, se terminen por trasladar al residencial. Como se muestra en la tabla [10], del total de 9.730.999 unidades de edificios de carácter residencial existentes, en 1.378.899 unidades de los mismos conviven más de dos unidades familiares.

Visto de otra forma, si descontamos del número total de viviendas, 25.208.623 unidades, las que están construidas en edificios de menos de tres viviendas, resultan 16.205.489 unidades en edificios plurifamiliares. Considerando la superficie media de las viviendas (102,80 m²) y un coste del 1% (apreciación prudente por la falta de transparencia e información del sector y la heterogeneidad del mismo) del

Censos de Población y Viviendas 2011. Edificios			
Edificios según nº de viviendas. Resultados Nacionales			
Nº de viviendas	Nº de edificios	Unifamiliares	Plurifamiliares
1	7.701.066	8.352.100	
2	651.034		
3	202.023	1.378.899	
4	140.755		
5 a 9	412.664		
10 a 19	398.959		
20 a 29	131.068		
30 a 39	47.853		
40 o más	45.577		

Tabla 3. Número de edificios de carácter residencial en España

valor de construcción (750,00 €/m²), obtenemos una capacidad del sector de 12.400 M€/año. Esta cantidad podría resultar difícil de asimilar si no la ponemos en contexto con otros datos, por ejemplo, los aparecidos en la Encuesta de la Estructura de la Industria de la Construcción 2016 [op. cit.], que reflejan valores superiores a los comentados: También la desagregación que se puede hacer hasta afirmar que el coste del mantenimiento para una vivienda media (con los valores ya mencionados) sería de 771,00 €/anuales; la gran dispersión de este valor medio por variables como la antigüedad, la intensificación de instalaciones o la propia coyuntura económica, lo resta fiabilidad, aunque se vea factible para numerosos supuestos.

No hay duda de la importancia económica del mantenimiento (legal, preventivo y correctivo); tampoco del entorno poco eficiente en el que se desarrolla, ni del escaso control con el que se organiza sin perspectiva a medio o largo plazo. Cabe preguntarse de qué forma se puede mejorar esta situación y como puede contribuir a ello la figura profesional del Graduado en Edificación.

Tipología de obra	Valor en millones de euros	% respecto al total
Promoción inmobiliaria	21.181,1	19,4
Edificación	59.671,8	54,6
Residencial	34.734,0	31,8
Obra nueva	13.931,8	12,8
Restauración y conservación	20.802,1	19,0
No Residencial	24.937,8	22,8
Obra nueva	11.314,9	10,4
Restauración y conservación	13.622,8	12,5
Ingeniería Civil	28.373,7	26,0
Obra nueva	16.035,4	14,7
Restauración y conservación	12.338,3	11,3
Total	109.226,5	100,0

Tabla 4. Volumen de negocio en actividades de construcción según tipo de obra. 2016. (Millones de euros)

4. EL PAPEL DEL GRADUADO EN EDIFICACIÓN EN EL MANTENIMIENTO RESIDENCIAL

El papel del Graduado en Edificación puede ser fundamental en todos los procesos relacionados con el mantenimiento de los edificios. Por su formación conoce las características de los materiales y sistemas constructivos, su funcionamiento e interrelación, así como los criterios de durabilidad y los mecanismos a través de los cuales se inician los procesos patológicos. Es capaz, por tanto, de interpretar las lesiones y daños que aparecen y de planificar las acciones correctoras necesarias. En su aprendizaje ha entrado en contacto con toda la normativa del sector, siendo capaz, en su análisis, de tomar decisiones en el diseño del Plan de Mantenimiento Legal y Preventivo.

Haciendo un símil con el campo de la medicina, los edificios necesitan un médico de cabecera que reconozca el estado de los mismos en una primera instancia y que sepa diagnosticar y curar llegado el caso, o bien, desviar el mismo hacia algún especialista que lo trate. Ese "técnico de cabecera" [11] [12] es el graduado en edificación.

En el ámbito de la inspección, las actuales normativas de la Inspección Técnica del Edificio o del más novedoso Informe de Evaluación del Edificio se basan en una revisión parcial del edificio cada diez años. Esta práctica se antoja insuficiente si de verdad se quiere entrar en una dinámica previsoras que detecte prematuramente los procesos patológicos que puedan devenir y los trate en su inicio, con el consiguiente ahorro económico y reducción de riesgos para el usuario. Por todo ello, se propugna el concepto de la "Auditoría Técnica Anual" como una metodología de inspección periódica, realizada por el técnico independiente, y que condicione el Plan de Mantenimiento o la prescripción de las intervenciones necesarias sin el sesgo interesado que se produce cuando son las empresas las que realizan este proceso.

Por lo tanto, la situación ideal que se propone es que, una vez terminada la obra de edificación o rehabilitación, el director de la ejecución de la misma, el técnico, se convierta, aprovechando los conocimientos del edificio que ha adquirido durante la ejecución de los trabajos, en el responsable de mantenimiento del edificio, encargado de diferentes tareas:

- ◊ elaboración del plan anual de mantenimiento.
- ◊ supervisor del cumplimiento del plan.
- ◊ responsable de las decisiones de tipo técnico.
- ◊ responsable de las intervenciones de reparación o sustitución necesarias.
- ◊ asesor de la propiedad en lo relativo al inmueble.

¿Qué honorarios se podrían percibir por este encargo profesional? De nuevo nos encontramos con la barrera de la

amplia heterogeneidad del parque edificado que nos dificulta dar un valor medio. Pensemos en un edificio medio en cuanto a su superficie e instalaciones y propongámonos unos honorarios de 80,00€/mes (960,00 euros anuales) por realizar los trabajos descritos anteriormente. Teniendo en cuenta los datos de la Tabla 3 (1.378.899 Ud. edificios) y los honorarios citados, el valor total de este producto sería de 1.323,7 M€.

Visto de otra forma, si un Técnico de Cabecera tiene una cartera de treinta (que se antoja prudente) edificios a su cargo, podría tener unos ingresos fijos anuales de 28.800,00 euros, a los que sumaría el resto de encargos profesionales que pudieran devengarse de sus "pacientes". O también, a partir del parque de edificios residenciales existentes, podrían generarse 45.963 puestos de Técnico de Cabecera de Edificios en las condiciones mencionadas.

5. CONCLUSIONES

La normativa generalista y específica del sector obliga a realizar una serie de actividades en nuestros edificios residenciales que conforman el Plan de Mantenimiento Legal.

Existe una gran oportunidad de mejora en la forma que se realizan dichas actividades; las connotaciones negativas del entorno: propiedad difuminada, excesiva atomización de las empresas, falta de criterios técnicos, falta de control, orientación al corto plazo en un bien con un ciclo de vida tan grande, etc.

El papel de los técnicos debe ser fundamental como garantes de los derechos de los propietarios para llevar a cabo la profesionalización esperada en el sector; además supone una

oportunidad laboral que ha sido tradicionalmente olvidada por todos los agentes.

6. REFERENCIAS

- [1] AENOR, UNE-EN 13306:2010 - 7. Tipos de Mantenimiento, Madrid, 2010.
- [2] Ley 38/1999 de 5 de noviembre de Ordenación de la Edificación, B.O.E. núm. 266 (6 de noviembre).
- [3] Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, B.O.E. núm. 74 (28 de marzo).
- [4] AENOR, UNE-EN 12635:2002 + A1 Puertas industriales, comerciales, de garaje y portones. Instalación y uso, Madrid, 2009.
- [5] MINETAD, *Guía Técnica de Aplicación del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión*, 2017.
- [6] Real Decreto 2291/1985 de 8 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Aparatos de Elevación y Manutención de los mismos. Texto Consolidado 2013, B.O.E. núm. 62 (22 de febrero).
- [7] Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. Texto Consolidado 2013, B.O.E. núm. 176 (5 de septiembre).
- [8] Real Decreto 513/2017, de 22 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios, B.O.E. núm. 139 (12 de junio).
- [9] Encuesta de la Estructura de la Industria de la Construcción 2016, Madrid: Ministerio de Fomento.
- [10] Censo de población y vivienda 2011 (código 30243), Instituto Nacional de Estadística.
- [11] F. González, Apuntes de la Asignatura de Mantenimiento de Edificios. Grado en Edificación, Madrid, 2011.
- [12] V.V.A.A., Debate sobre el informe de evaluación del edificio, Madrid: Cercha: revista de los aparejadores y arquitectos técnicos, ISSN 2484-1048, N.º. 119, 2014, págs. 8-15.

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Building & Management is an open access scientific e-journal promoted by the School of Building Engineering (ETSEM) of the Universidad Politécnica de Madrid (UPM) and published every four months, three times a year, March, July and November. It aims at the dissemination of high quality original works related to the management of processes associated to buildings, in any phase of their development, where various agents in the sectors of architecture, engineering and construction participate.

1. JOURNAL AIMS AND SCOPE

Topics of interest include all the theoretical, methodological and/or practical advances, in building management --one or several processes-- within any life phase of the building. These could be developed at the academic or professional level.

This magazine is addressed to all the interveners of the building sector. For its better diffusion title, abstract, highlights and keywords of the articles will be published in English and Spanish, and the body is allowed in both languages. English is preferred.

The content will consist primarily of original research manuscripts. However B&M is also open to the publication, always within the scope of the magazine, of: review articles, technical reports, best practices, conference papers, fast-track communications, letters to the editor, states of the art and book reviews. Academic-scientific content must prevail in all occasions.

2.2 BLINDED PEER-REVIEW PROCESS

The Editorial Board of the magazine, after verification that the article complies with the rules on style and content indicated in the guidelines for authors, sent the text, as double-blind model, to two anonymous external expert reviewers within the specific field, for its evaluation, or to a third if necessary.

Authors will be informed about the initial acceptance or rejection within a month. The evaluation will focus in the interest of the article, its contribution to knowledge of the subject treated, the contributed novelty, the established relationships, critical judgment, developed content, structure, use of bibliographic and references that are handled properly, wording, etc. Indicating recommendations for its possible improvement.

Based on the recommendations of the reviewers, the Editorial Board will inform authors the reasoned result of reports by email, at the address they have used to send the article. The revision process lasts approximately three or four months, without any cost for authors. The Editorial Board will communicate the result to the principal author of the review (published unchanged, with minor corrections publication, publication with important fixes, not suitable for publication).

Building & Management es una publicación de gestión en Edificación de la Escuela Técnica Superior de Edificación (ETSEM) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Se trata de una revista digital científica abierta con periodicidad cuatrimestral (marzo, julio, noviembre), que tiene como primer objetivo la divulgación de trabajos originales sobre gestión de los procesos vinculados a la edificación, desarrollados por los sectores de la Arquitectura, Ingeniería y construcción en cualquiera de las fases del ciclo de vida del edificio.

1. TEMÁTICA Y ALCANCE DE LA REVISTA

Los temas de interés incluyen todos los avances teóricos, metodológicos y/o empíricos, a nivel académico o profesional, en la gestión de uno o varios procesos dentro de cualquiera de las fases de vida del edificio.

Esta revista va dirigida a todos los agentes del sector de la edificación. Para su mayor difusión el título, resumen, titulares y las palabras clave de los artículos se publican en inglés y en español y el cuerpo del artículo se admite en ambos idiomas dando preferencia al inglés.

El contenido estará formado fundamentalmente por artículos científico-técnicos originales, no obstante, de igual forma y siempre dentro del ámbito de alcance de la revista, B&M también está abierta a la publicación de: artículos de revisión, informes técnicos, buenas prácticas, comunicaciones en congresos, comunicaciones cortas, cartas al editor, estados del arte y reseñas de libros. En todos los casos deberá primar el contenido científico académico, ajustándose al formato de este tipo de publicaciones.

2.2 REVISIÓN POR PARES DOBLE CIEGO

Los trabajos presentados serán sometidos a una revisión inicial por parte del comité editorial. Los autores de los manuscritos enviados serán informados de la aceptación inicial para su revisión o del rechazo de su artículo en el plazo de un mes de la recepción del mismo.

Si sus contenidos son adecuados serán enviados para una revisión por pares realizada por expertos independientes y de reconocido prestigio, y por un tercero en caso necesario, ajustándose a los protocolos de publicaciones científicas seriadas. Los evaluadores serán seleccionados por el Comité de Redacción en función de su trayectoria investigadora.

Las revisiones por pares se realizarán por un test de doble ciego gestionado online. La valoración incidirá sobre el interés del artículo, su contribución al conocimiento del tema tratado, las novedades aportadas, las correctas relaciones establecidas, el juicio crítico desarrollado, la estructura del contenido, los referentes bibliográficos manejados, su correcta redacción, etc., indicando recomendaciones, si las hubiera, para su posible mejora.

If the manuscript has been accepted with modifications, authors should resubmit a new version of the article, following demands and suggestions of the external evaluators. If desired, the authors can also provide a letter, by email, to the Editorial Board in which they indicate the content of modifications of the article.

If desired, the authors can also provide a letter, by email, to the Editorial Board in which they indicate the content of modifications of the article.

Articles with significant corrections may be sent back to blind peer review to verify the validity of changes made by the author.

Considering the degree of compliance with changes requested, the Board shall decide whether or not the publication of the article. This decision shall be communicated to the author by the Editorial Board and in case of publication the manuscript will be dated as accepted.

3. SUBMITTING A MANUSCRIPT

3.1. FORMAT

Building & Management is an open access publication. Articles will be published online in PDF format, and will be available for free to readers immediately after publication online, without any restriction, at the following electronic address: http://polired.upm.es/index.php/building_management/

The Universidad Politécnica de Madrid reserves the right to distribute the complete numbers as an electronic book for its sale, either in PDF format, ePub or in any other electronic possible format, now or in the future, and / or paper format in print on demand. These alternative formats will have identical content and will be subject to the same copyright as the individual articles in the digital edition, and will be considered equivalent for all purposes.

3.2. SUBMITTING PROCESS

All manuscripts will preferably be written in English or Spanish. Submitted manuscripts will undergo a reviewing process, starting with a linguistic review. Manuscripts with a poor quality in this regard will be returned without evaluation. The submission of a manuscript implies that all co-authors have approved and accepted the content of the submitted text, tables, graphic material and any other complementary material supplied. The corresponding author will be responsible for all the co-authors to correct information about the manuscript. All submissions must be accompanied by a signed letter stating the originality and unpublished nature of the content of the manuscript, and their assurance that it has not been simultaneously sent to another publication for its evaluation. The letter can be downloaded at <https://drive.upm.es/index.php/s/FeqbSU7DSswCIOI>

El consejo editorial decidirá si el manuscrito es aceptado o rechazado basándose en los informes y recomendaciones de los evaluadores externos. El proceso de evaluación tiene normalmente una duración aproximada de entre tres y cuatro meses y no tiene ningún coste para los autores. Todos los informes de evaluación se enviarán a los autores, manteniendo el anonimato (publicación sin cambios; publicación con correcciones menores; publicación con correcciones importantes; no aconsejable para su publicación). En el caso de la aceptación del artículo, los autores deberán considerar los comentarios realizados por los evaluadores y volver a enviar el trabajo con los cambios oportunos. El proceso de revisión se repite, manteniendo el anonimato. En caso que la segunda revisión de los evaluadores sea de nuevo favorable, será probable que el artículo se acepte para su publicación definitiva. Cuando ésta se produzca, al trabajo se le asignará una fecha de aceptación.

3. ENVÍO DE MANUSCRITOS

3.1. FORMATO

Building & Management es una publicación en línea de libre acceso. Los artículos serán publicados en línea en formato PDF, y estarán disponibles de forma gratuita para los lectores inmediatamente después de su publicación en línea, sin ninguna restricción en la siguiente dirección electrónica: http://polired.upm.es/index.php/building_management/ La Universidad Politécnica de Madrid se reserva el derecho de distribuir para su venta los números completos como libro electrónico, ya sea en formato PDF, ePub o en cualquier otro formato electrónico posible en el presente o en el futuro, y/o en formato papel en impresión bajo demanda. Estos formatos alternativos tendrán un contenido idéntico y estarán sujetos a los mismos derechos de autor que los artículos individuales en la edición digital, y serán considerados equivalentes a todos los efectos.

3.2. ENVÍO DE MANUSCRITOS PARA SU EVALUACIÓN Y APROBACIÓN

Los manuscritos estarán redactados preferentemente en Inglés o Español. Los manuscritos enviados serán revisados en primer lugar desde el punto de vista lingüístico. Los manuscritos con un nivel de calidad deficiente en este aspecto serán devueltos sin ser evaluados. El envío de un manuscrito implica que todos los coautores han aprobado y aceptado el contenido del texto remitido, las tablas, el material gráfico y cualquier otro material complementario suministrado. El autor designado como persona de contacto será responsable de que todos los coautores dispongan de información correcta sobre el manuscrito enviado. Todos los envíos deberán ir acompañados de una carta firmada indicando el carácter original e inédito del contenido del manuscrito, y que el mismo no ha sido enviado simultáneamente a otra publicación para su valoración. La carta se puede descargar en <https://drive.upm.es/index.php/s/FeqbSU7DSswCIOI>

3.3. MANUSCRIPT

To help authors to prepare the manuscripts a standard template can be downloaded at http://polired.upm.es/public/journals/22/Author_template_B M.docx

3.4. MANUSCRIPT DELIVER AND ACCEPTANCE

All proposed contents will be related to the objectives of the journal and will have to adhere to the rules contained in the following sections. Manuscripts will be sent to the following email address: bm.edificacion@upm.es. Papers will be written in Spanish or English. Manuscripts should be between 6000 and 8000 words in length, including abstract, key words, highlights, references, etc. Each table or figure will be considered equivalent to 200 words. And before we can accept a manuscript, B&M requires Open Researcher and Contributor ID (ORCID) information for every author on the paper.

3.5. MANUSCRIPT ADMISSION

All manuscripts received will be evaluated through a double-blind system. Suggestions will be sent to the authors to make the necessary modifications. Only original manuscripts that have not previously been published in other journals will be accepted.

3.6. TITLE

The title should be concise, informative, meaningful to the whole readership of the journal and will be written in English and Spanish. The name and surname of the author(s) and the company, university or research center, as well as the e-mail address, will be indicated below.

3.7. ABSTRACT

The articles will include a summary in English and Spanish (between 200 and 300 words) that clearly state the objectives, the approach and conclusions of the research.

3.8. KEYWORDS AND HIGHLIGHTS

Between 4 and 6 keywords in Spanish and English will be included, as well as 3 to 5 headlines (phrases that define the most important issues of the article, with no more than 85 characters each, spaces included).

3.9. PRODUCTION AND SUBMISSION

Writing clear, concise sentences. Proposals will be sent to the e-mail address bm.edificacion@upm.es in electronic format. The text will be sent in a file in .doc format, including the images in the desired place. Articles will be accepted in English and Spanish. When the text is written in English, Sending either the title or the abstract in Spanish will not be necessary.

3.3. PREPARACIÓN DEL MANUSCRITO

Para ayudar a los autores en la preparación de sus manuscritos existe una plantilla que se puede http://polired.upm.es/public/journals/22/Author_template_B M.docx

3.4. ENVÍO Y ACEPTACIÓN

Los trabajos para publicar estarán relacionados con los objetivos de la revista y tendrán que ceñirse a las normas contenidas en los siguientes apartados, debiendo enviar los trabajos a la dirección de correo electrónico bm.edificacion@upm.es. Los trabajos se redactarán en español o en inglés, con una extensión entre 6000 y 8000 palabras, incluyendo resumen, palabras clave, titulares, referencias, etc., así como tablas y figuras con una equivalencia de 200 palabras por cada una. Todos los autores deben aportar su identificador digital ORCID.

3.5. ADMISIÓN DE ORIGINALES

Todos los originales recibidos serán evaluados mediante el sistema de doble ciego cuyas sugerencias se enviarán a los autores para que realicen las modificaciones pertinentes. Sólo se aceptarán trabajos originales que no hayan sido publicados anteriormente en otras revistas.

3.6. TÍTULO

El título de los trabajos será conciso e informativo y expresará su contenido, en inglés y en español. Seguidamente se indicará nombre y apellido del autor o autores, organismo o centro de trabajo y dirección de correo electrónico.

3.7. RESUMEN

Los artículos deberán ir acompañados de un resumen en inglés y en español (entre 200 y 300 palabras) que con toda claridad señale los objetivos, el planteamiento y conclusiones del trabajo.

3.8. PALABRAS CLAVE Y TITULARES

Se incluirán entre 4 y 6 palabras clave en inglés y en español, así como 3 a 5 titulares (frases que definen lo más importante del trabajo, con no más de 85 caracteres incluyendo espacios cada una).

3.9. REDACCIÓN DEL TEXTO Y PRESENTACIÓN

La redacción será clara y concisa. Los trabajos se enviarán a la dirección de correo electrónico bm.edificacion@upm.es en formato electrónico. El texto se enviará en un archivo en formato Word, incluidas las imágenes en el lugar deseado. Los trabajos se admitirán en inglés y en español. Cuando el texto esté redactado en inglés, no será necesario mandar ni el título ni el resumen en español.

3.10. REFERENCES

References must be limited to those indispensable that are directly related to the article's content. Citations in the text and references will meet the IEEE standard format. There should be no less than 25 references and at least 30% of them from the last 4 years.

The DOI (Digital Object Identifier) should be incorporated into every reference for which it is available.

♦ Books

[1] A. Rezi and M. Allam, "Techniques in array processing by means of transformations," in *Control and Dynamic Systems*, Vol. 69, *Multidimensional Systems*, C. T. Leondes, Ed. San Diego: Academic Press, <http://dx.doi.org/>, 1995, pp. 133-180.

♦ Journal articles

[2] G. Liu, K. Y. Lee, and H. F. Jordan, "TDM and TWDM de Bruijn networks and sufflenets for optical communications," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 46, pp. 695-701, <http://dx.doi.org/>, June 1997.

♦ Technical report

[3] K. E. Elliot and C. M. Greene, "A local adaptive protocol", Argonne National Laboratory, Argonne, France, Tech. Rep. 916-1010-BB, <http://dx.doi.org/>, 1997

♦ Master End Project or PhD thesis

[4] J.-C. Wu. "Rate-distortion analysis and digital transmission of nonstationary images". Ph.D. dissertation, Rutgers, the State University of New Jersey, Piscataway, NJ, USA, <http://dx.doi.org/>, 1998.

♦ Internet

[5] J. Jones. (1991, May 10). *Networks* (2nd ed.) [Online]. Available: <http://www.atm.com>. Last date reviewed.

3.11. TABLES, FIGURES AND GRÁPHICS

The number of tables and figures should be limited by sending only those that are really useful, clear and representative. They will be numbered correlatively according to the quotation in the text and each one will have its caption. They will be placed in the right place of the text.

Tables and figures should be designed in Word or Excel, so that they are visible when conforming to the format of 8.8 cm (width of 2 columns) presenting a good contrast so that they do not lose quality with the reduction. If necessary, once the article has been accepted, the journal may ask the corresponding author separately for tables and figures with better resolution. Sources must be included, when necessary, for tables, figures.

The resolution of pictures should not be less than 300 dpi (dots per inch). If the size of the final file is too large (more than 10 MB), then the manuscript should contain the figures with minimized resolution, and the original figures must be

3.10. REFERENCIAS

Las referencias deberán reducirse a las indispensables que tengan relación directa con el trabajo enviado. Las citas en el texto y las referencias consignadas seguirán el formato IEEE. Se propone un número de citas no inferior a 25, con el 30% de las mismas publicadas en los últimos cuatro años.

Siempre que la publicación citada disponga de DOI, será necesaria su incorporación en la referencia bibliográfica.

♦ Libros

[1] A. Rezi and M. Allam, "Techniques in array processing by means of transformations," in *Control and Dynamic Systems*, Vol. 69, *Multidimensional Systems*, C. T. Leondes, Ed. San Diego: Academic Press, <http://dx.doi.org/>, 1995, pp. 133-180.

♦ Artículos de revistas científicas

[2] G. Liu, K. Y. Lee, and H. F. Jordan, "TDM and TWDM de Bruijn networks and sufflenets for optical communications," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 46, pp. 695-701, <http://dx.doi.org/>, June 1997.

♦ Informes técnicos

[3] K. E. Elliot and C. M. Greene, "A local adaptive protocol", Argonne National Laboratory, Argonne, France, Tech. Rep. 916-1010-BB, <http://dx.doi.org/>, 1997

♦ Trabajo fin de máster o tesis doctoral

[4] J.-C. Wu. "Rate-distortion analysis and digital transmission of nonstationary images". Ph.D. dissertation, Rutgers, the State University of New Jersey, Piscataway, NJ, USA, <http://dx.doi.org/>, 1998.

♦ Internet

[5] J. Jones. (1991, May 10). *Networks* (2nd ed.) [Online]. Available: <http://www.atm.com>. Last date reviewed.

3.11. TABLAS, FIGURAS Y GRÁFICOS

El número de tablas y figuras deberá limitarse en lo posible enviando sólo las que sean realmente útiles, claras y representativas. Estarán numeradas correlativamente según la cita en el texto y cada una tendrá su pie explicativo. Se colocarán en el lugar adecuado del texto.

Las tablas y figuras deben ser diseñadas en Word o Excel, de forma que sean visibles al ajustarse al formato de 8,8 cm (ancho de 2 columnas) presentando un buen contraste de forma que no pierdan calidad con la reducción. En caso de ser necesario, una vez aceptado el artículo, la revista podrá volver a solicitar tablas y figuras por separado y con mejor resolución. En las tablas, figuras e imágenes que no sean del autor se deberán citar las fuentes.

La resolución de las imágenes no será inferior a 300 puntos por pulgada. Si el tamaño del archivo final es demasiado grande (superando los 10 MB), si el artículo es aceptado, se enviará el manuscrito conteniendo en su posición las figuras

provided in separate files, if the article is accepted.

3.12. FORMULAS AND EQUATIONS

Formulas should be inserted and not embedded as an image in the Word document at all. They will be numbered in parentheses in correlative order, following the text citation order, done using the same notation.

3.13. LAYOUT

Authors will receive a layout PDF proof that should be reviewed within a maximum period of three days. Modifications of the original text will not be accepted during the proofreading.

3.14. CHECKLIST BEFORE SUBMITTING

As part of the submission process, authors are required to indicate that their submission complies with all of the following elements, and to accept that submissions that do not comply with these guidelines may be returned to the author.

1. The submission has not been previously published nor been reviewed simultaneously by another journal (Or an explanation has been provided in "Comments to the editor").
2. The file sent is in Word format.
3. The template available on the journal's website has been used and the rules set out have been followed.
4. The authorship declaration is being signed by the author and all the coauthors and attached with the manuscript file in the submitting e-mail to the Editor to bm.edificacion@upm.es
5. The text meets the bibliographic and style requirements indicated in the template available on the journal's website.
6. Description of the last check that must be made before sending the article, in order to avoid the most common errors:
 - ◆ There is a list of the names of all the authors using superscript numeric identifiers to link an author with an address and institution where necessary.
 - ◆ It can be find the institution followed by the full postal addresses (including e-mail) of every author.
 - ◆ Title, abstract, highlights and Keywords are included in English and Spanish.
 - ◆ The main text has 6000 to 8000 words, including abstract, keywords, etc., and also figures and graphics with an equivalence of 200 words for each.
 - ◆ The abstract has 200 to 300 words.
 - ◆ It has 4 to 6 Keywords and It has been selected 3-5 highlights with the main information of the manuscript, each

con una resolución inferior y se aportarán las figuras con máxima resolución en archivos independientes.

3.12. FÓRMULAS Y/O EXPRESIONES MATEMÁTICAS

Deberán insertarse en el propio documento Word y en ningún caso incrustado como imagen. Se numerarán entre paréntesis por orden correlativo, siguiendo el orden de la citación en el texto, que utilizará las misma nomenclatura.

3.13. PRUEBAS

Se enviará a los autores la prueba de maquetación en PDF que deberá ser revisada en un plazo máximo de tres días. En la corrección de pruebas no se admitirán modificaciones del texto original.

3.14. LISTA DE COMPROBACIÓN DE PREPARACIÓN DE ENVÍOS

Como parte del proceso de envío, se les requiere a los autores que indiquen que su envío cumpla con todos los siguientes elementos, y que acepten que envíos que no cumplan con estas indicaciones pueden ser devueltos al autor.

1. El envío no ha sido publicado previamente ni está dentro del proceso de revisión de otra revista (o se ha proporcionado una explicación en "Comentarios al editor").
2. El fichero enviado está en formato Word.
3. Para la redacción del manuscrito se ha utilizado la plantilla disponible en la web de la revista y se han seguido las normas expuestas.
4. Se junta, junto al artículo, el formulario de declaración de autoría disponible en la página web de la revista debidamente relleno y firmado a la dirección de email bm.edificacion@upm.es
5. El texto cumple con los requisitos bibliográficos y de estilo indicados en las Normas para autoras/es, que se pueden encontrar en Acerca de la revista.
6. Descripción de la última comprobación que debe realizarse antes de enviar el artículo, con el fin de evitar los errores más comunes:
 - ◆ Aparecen los autores con nombres y apellidos o declaración de autor institucional, utilizando el identificador numérico para cada autor.
 - ◆ Aparece la entidad a la que está adscrito el autor o los autores y sus datos de contacto (incluido e-mail).
 - ◆ Se ha expresado el título, el resumen, las palabras claves y los titulares, en español y en inglés.
 - ◆ El número de palabras es de entre 6000 y 8000 palabras, incluyendo resumen, palabras clave, etc., así como tablas y figuras con una equivalencia de 200 palabras por cada una.
 - ◆ La extensión del resumen se adecua a las normas de

- ◆ Tables, diagrams and figures are entered in a borderless text box, including inside the figure caption in the lower part the table foot and are placed and cited in the text in consecutive numerical order
- ◆ The list of references are made according to the reference requirements of the Journal, and at least the 30% of them are dated in the last four years.
- ◆ Authors' short biography with 50 to 75 words is included.
- ◆ The author has the permission to use the material with rights of another author, even if it is in the Web.

Any inquiry regarding the submission of the article can be resolved in the first instance on the website of the magazine. For other inquiries, the magazine contact email is available: bm.edificacion@upm.es

4. COPYRIGHT

The originals of Building & Management magazine are property of the Universidad Politécnica de Madrid, being necessary to cite the origin of any partial or total reproduction.

All the original articles published in Building & Management are subject to discussion and comments from our readers. Opinions should be sent to the journal's email address, within a period of three months, starting from the date of publication.

Authors retain the copyright of the papers and ensure B&M the right to have a Creative Commons license, Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0), that allow others to share the article within an author recognition and non commercial use.

Authors can also establish independently additional agreements for the not exclusive distribution of the article published versión in the e-journal (as, for example, to place it in an institutional repository or to publish it in a book).

Unless otherwise indicated, all contents of the electronic edition of Building & Management are distributed under a Creative Commons license and distribution.

5. PRIVACY STATEMENT

The personal data provided to in this journal will be used exclusively for the purposes stated by Building & Management and will not be available for any other purpose or another person.



- ◆ El número de palabras clave son entre 4 y 6, y los highlights entre 3 y 5 con 85 caracteres incluidos espacios.
- ◆ Todas las tablas y figuras están insertadas en cuadros de texto, con su correspondiente leyenda, en la parte inferior de las mismas.
- ◆ Todas las referencias citadas en el texto, están referenciadas al final del artículo y viceversa. Y se nombran en orden de aparición.
- ◆ Todas las referencias están en el formato adecuado y el 30% de las mismas están fechadas en los últimos 4 años.
- ◆ Incluye el perfil académico y profesional del autor/es (entre 50 y 75 palabras)
- ◆ El autor dispone del permiso para usar el material con derechos de otro autor, incluso si está en la Web.

Cualquier consulta relativa a la presentación del artículo, puede resolverse en primera instancia en la página web de la revista. Para otras consultas, se dispone del correo de contacto de la revista: bm.edificacion@upm.es

4. NOTA DE COPYRIGHT

Los originales de la revista Building & Management, son propiedad de la Universidad Politécnica de Madrid, siendo necesario citar la procedencia de cualquier reproducción parcial o total.

Todos los artículos originales que se publican en Building & Management quedan sometidos a discusión y al comentario de nuestros lectores. Las opiniones deben enviarse a la dirección de correo electrónico de la revista, dentro del plazo de tres meses, contados a partir de la fecha de su publicación.

Los autores conservan los derechos de autor y garantizan a la revista el derecho de una licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0), que permite a otros compartir el trabajo con un reconocimiento de la autoría y uso no comercial.

Los autores pueden establecer por separado acuerdos adicionales para la distribución no exclusiva de la versión de la obra publicada en la revista (por ejemplo, situarlo en un repositorio institucional o publicarlo en un libro).

Salvo indicación contraria, todos los contenidos de la edición electrónica Building & Management se distribuyen bajo una licencia de uso y distribución Creative Commons.

5. DECLARACIÓN DE PRIVACIDAD

Los nombres y direcciones de correo-e introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines declarados por esta revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

TOPICS COVERED BY B&M

Case studies
 Due diligence
 Licence management
 Risk assessment management
 Documentation procurement
 Communication and information management: ICT, Big data, Construction 4.0
 Management of bill of quantities, estimation, analysis and costs control
 Project monitoring
 Deadline management
 Economic, financial, equipment and human and material resources management
 Technical planning management
 Management of strategic planning
 Design management
 Management and control of changes and coordination of activities
 Management of production planning and programming
 Contracts and construction management
 Advanced techniques of construction management
 Process management in building, control and process improvement techniques
 Management of occupational risk prevention and health & safety
 Regulatory management and quality control
 Environmental management
 Management of waste and polluted soils
 Water management
 Materials management
 Energy management
 Other resources management
 Building heritage management
 Management of conservation, maintenance and exploitation
 Facilities management
 Building Management systems
 Sensoring, monitoring and control
 Audit of management systems
 Energy Audit
 Assessment of environmental impact plans, programs and projects
 Energy and environmental certification
 Implementation of environmental management systems
 Management of hygrothermal comfort
 Management of acoustic comfort
 Indoor air quality management
 Accessibility Management
 Diagnosis and methodology
 Intervention criteria
 Reuse
 Territory management
 Urban planning
 Management of environmental resources
 Air quality
 Training for management
 Research in construction
 Integrated project management
 Real estate assessments
 Judicial appraisal
 Management of social matters

LÍNEAS DE PUBLICACIÓN DE B&M

Casos de estudio
 Due diligence
 Gestión de las licencias
 Gestión del análisis de riesgos
 Gestión de la documentación
 Gestión de la comunicación y de la información: TIC, Big data, Construcción 4.0
 Gestión de las mediciones, estimación, análisis y control de los costes
 Monitorización de proyectos
 Gestión de plazos
 Gestión económica, financiera, de equipos y de los recursos humanos y materiales
 Gestión de la planificación técnica
 Gestión de la planificación estratégica
 Gestión del diseño
 Gestión y control de cambios y coordinación de las actividades
 Gestión de la planificación de la producción y programación
 Gestión de la contratación y de las obras
 Técnicas avanzadas de gestión de la construcción
 Gestión del proceso en edificación, técnicas de control y mejora de procesos
 Gestión de la prevención de riesgos laborales y seguridad e higiene
 Gestión de normativa y control de la calidad
 Gestión medioambiental
 Gestión de residuos y de suelos contaminados
 Gestión del agua
 Gestión de los materiales
 Gestión de la energía
 Gestión de otros recursos
 Gestión del patrimonio edificado
 Gestión de la conservación, el mantenimiento y explotación
 Gestión de las instalaciones
 Los sistemas de gestión en el edificio
 Sensorización, monitorización y control
 Auditoría de sistemas de gestión
 Auditoría energética
 Evaluación del impacto ambiental de planes, programas y proyectos
 Certificación energética y medioambiental
 Implantación de sistemas de gestión ambiental
 Gestión del confort higrotérmico
 Gestión del confort acústico
 Gestión de la calidad del aire interior
 Gestión de la accesibilidad
 Diagnóstico y metodología
 Criterios de intervención
 Reutilización
 Gestión del territorio
 Planificación urbanística
 Gestión de recursos del entorno
 Calidad del aire
 Formación para la gestión
 Investigación en edificación
 La gestión integrada de proyectos
 Valoraciones inmobiliarias
 Pericia judicial
 Gestión de los aspectos sociales

