



Informes de la Construcción
Vol. 66, 535, e026
julio-septiembre 2014
ISSN-L: 0020-0883
doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.13.052>

«Estudio Precost&e»: evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la calificación energética en un edificio de viviendas situado en Madrid

Assessment of construction costs and energy consumption resulting from house energy ratings in a residential building placed in Madrid: “Precost&e Study”

J. García-Navarro^(*), M.J. González-Díaz^(*), M. Valdivieso^(*)

RESUMEN

Este artículo presenta un caso de estudio en el que, mediante la calificación energética, se relacionan la eficiencia energética de un edificio, sus costes de construcción y sus consumos energéticos. La variación del comportamiento energético del edificio se realiza a través de cambios en la envolvente y los sistemas de producción de energía. El estudio es teórico y fue realizado en 2009-2010 sobre el proyecto de un edificio residencial de protección oficial situado en Madrid.

El trabajo desarrolla una metodología que permite evaluar las variaciones de eficiencia energética en un proyecto y sus implicaciones económicas. Ello permitirá a promotores y arquitectos valorar cómo la adopción de medidas activas y pasivas afecta a la calificación energética de un edificio, a su consumo de energía y a los costes constructivos. Además se analiza la relación entre la orientación de las viviendas y la calificación energética, y las características de los programas utilizados.

Palabras clave: Eficiencia energética; calificación energética; costes de construcción; impacto económico; arquitectura pasiva.

ABSTRACT

This paper presents a case study that relates the energy efficiency of a building, its construction costs and its energy consumption. The variation of the energy performance of the dwellings –and its energy rating– is made through changes in the envelope and the energy production systems. This theoretical study was conducted during the years 2009-2010 on the project of a residential block of apartments located in Madrid.

The paper develops a methodology to evaluate the energy efficiency variations in a project and its economic implications. This will enable developers and architects to assess how the adoption of active and passive solutions affects the energy rating of a building, its energy consumption and its construction costs. The relationship between the orientation of housing and its energy rating, and the characteristics of the calculation programs used is also analyzed.

Keywords: Energy efficiency; energy rating; construction cost; economic impact; passive architecture.

(*) giSCI - Universidad Politécnica de Madrid, (España).

Persona de contacto/Corresponding author: justo.gnavarro@upm.es (J. García-Navarro)

Cómo citar este artículo/Citation: García-Navarro, J., González-Díaz, M.J., Valdivieso, M. (2014). «Estudio Precost&e»: evaluación de los costes constructivos y consumos energéticos derivados de la calificación energética en un edificio de viviendas situado en Madrid. *Informes de la Construcción*, 66(535): e026, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.13.052>.

Licencia/License: Salvo indicación contraria, todos los contenidos de la edición electrónica de *Informes de la Construcción* se distribuyen bajo una licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento no Comercial 3.0. España (cc-by-nc).

Recibido/Received: 22/04/2013
Aceptado/Accepted: 18/06/2013
Publicado on-line/Published on-line: 19/09/2014

1. CONTEXTO

Este trabajo se lleva a cabo entre la aprobación de las directivas europeas sobre eficiencia energética en los edificios EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) 2002/91/EC y EPBD 2010/31/UE que deroga la primera, entre cuyos objetivos está el fomento de la eficiencia energética de los edificios de la UE. Las directivas establecen, entre otras exigencias, las de la metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios y su certificación energética (1) y (2).

Las EPBD se transponen a la legislación española mediante: el Código Técnico de la Edificación (CTE) y su Documento Básico HE: Ahorro de energía, en los que se establecen las exigencias de eficiencia energética que deben cumplir los edificios; el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE); y el Real Decreto 235/2013 por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. Este RD establece que el certificado debe contener la calificación de eficiencia energética del edificio (3). La calificación se expresa mediante una letra, desde la letra A, para los edificios más eficientes, a la letra G para los menos eficientes. El programa de referencia para el cálculo de la calificación energética de los edificios residenciales, y del pequeño y mediano terciario, de nueva construcción para la opción general es Calener VyP.

La entrada en vigor en España en el año 2007 de la certificación energética de edificios de nueva construcción es una oportunidad para estudiar la importancia que el consumo energético tiene para los consumidores y su influencia en la decisión de comprar una vivienda (4). El proyecto PRECOST&E, que comienza en 2009, surge por iniciativa de la Fundación ASPRIMA de promotores inmobiliarios y de sus patrocinadores –empresas y fabricantes del sector energético y de la construcción– con el objetivo de conocer qué esfuerzos y costes implican el cumplimiento del documento DB HE-1, que establece la exigencia básica *Limitación de demanda energética*, y la obtención de una buena calificación, cómo ésta influye en las necesidades del consumo de energía, así como las repercusiones de todo ello en el presupuesto de un edificio.

2. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Para mejorar la eficiencia energética de un edificio y reducir sus emisiones de CO₂ es necesario conocer los factores que influyen en su demanda energética. Estos dependen del tipo de edificio, su diseño, el clima, la orientación y las propiedades y prestaciones térmicas de los elementos constructivos (5).

El consumo de energía en un edificio de viviendas está condicionado, además de por los elementos anteriores, por los sistemas de climatización y su consumo asociado. Ambos elementos se han convertido, con la consolidación de la demanda de confort térmico, en otro de los factores fundamentales de la eficiencia energética de un edificio (6).

De acuerdo con algunos autores (7), la aplicación de medidas de ahorro energético en edificios de viviendas supone una inversión directamente relacionada con el ahorro energético que se obtiene. Para que las medidas sean económicamente rentables, el ahorro de costes en energía debe ser mayor que la inversión realizada en relación a un plazo determinado. Otros investigadores han señalado la relación causa-efecto entre las mejoras medioambientales y la inversión económica, y cómo el éxito de un edificio sostenible implica tener en cuenta desde el principio esta relación dentro de la gestión empresarial (8).

Este trabajo se realiza sobre un modelo teórico en un periodo de tiempo fijo. Por lo tanto los resultados no tienen en cuenta el cambio climático durante la vida del edificio para la valoración de la demanda energética, y los costes de los materiales y productos de construcción, sistemas energéticos, combustibles e hipotecas se refieren a un tiempo determinado.

Los objetivos del trabajo son:

- Evaluar, en este caso de estudio, la relación que se establece entre las distintas calificaciones energéticas, el coste económico necesario para alcanzar cada una de ellas, y sus costes y ahorros energéticos. Las mejoras de la eficiencia energética del edificio se obtienen combinando soluciones activas y pasivas que son comunes en los edificios residenciales.
- Definir una metodología que permita a arquitectos y promotores tomar decisiones en la fase de proyecto para mejorar la eficiencia energética de un edificio y optimizar las medidas de ahorro de energía de acuerdo con aspectos medioambientales y económicos. Esta metodología se basa en los siguientes criterios: minimizar los costes constructivos y de las instalaciones térmicas y reducir la demanda energética de calefacción y las emisiones de CO₂ que genera el edificio (9).
- Estudiar la relación entre la calificación energética total del edificio y la de cada una de sus viviendas según su orientación.
- Identificar las limitaciones de los programas oficiales utilizados para la calificación energética de edificios de viviendas para saber cómo influyen en los resultados del estudio.

Finalmente se debe indicar que se ha tomado como referencia el año de proyecto, 2007, para que los costes de las modificaciones que se plantean sean los que hubiera habido de haberse introducido cualquiera de las modificaciones propuestas, de forma que resulten comparables a los reales de la ejecución. No se trata de saber lo que costarían ahora las modificaciones que se proponen, sino de compararlas con los costes habidos, estableciendo porcentualmente las variaciones de presupuesto. Por otro lado, los datos económicos no se pueden actualizar por medio de bases de datos ya que la mayoría de los precios de materiales de construcción son los que figuraban en el presupuesto del proyecto y no se conocen las referencias (o bases de datos) que se manejaron originalmente. Cabe añadir que, de haberlas manejado, los costes de las bases de datos siempre serían aproximados al no tener en cuenta aspectos como descuentos por volumen o por relación con el fabricante, situación del inmueble, etc. Solo para los materiales nuevos, que son una minoría, se utilizaron bases de datos de precios de la construcción. Y en el caso de los sistemas energéticos, los costes fueron proporcionados directamente por los promotores del estudio.

3. METODOLOGÍA

Los pasos que se han seguido en el análisis del caso de estudio son:

- La selección del proyecto y el análisis de su documentación.
- La caracterización del caso de estudio, que incluye la modificación del proyecto original para que cumpla la normativa vigente de eficiencia energética (DB HE: Ahorro de energía).
- La comprobación, con el programa Lider, de que el edificio cumple el DB HE-1. El cálculo de la calificación energética con Calener VyP.
- La caracterización de las soluciones activas y pasivas que influyen en la eficiencia energética del edificio: selección, definición, presupuesto y evaluación con Ce2.

- La selección de las soluciones evaluadas y la definición de 14 hipótesis combinando esas medidas pasivas y activas. El cálculo del presupuesto de las hipótesis.
- El cálculo, con Calener VyP, de la calificación energética de las hipótesis.
- La obtención de resultados de la calificación energética y de la evaluación económica de las hipótesis: emisiones de CO₂ (kgCO₂/m² año), demandas de energía (kWh/ m² año), consumos y ahorros de energía (kWh/ m² año), costes y ahorros en consumo de energía (€/m² año, %), etc.
- La obtención de conclusiones generales, económicas y sobre los programas utilizados.

Los programas de cálculo que se han utilizado en el estudio son: Lider (10), Calener VyP (11), y el Procedimiento Simplificado para la Certificación de Eficiencia Energética de Edificios de Viviendas Ce2 (12).

Uno de los objetivos del estudio es facilitar una metodología para la selección de medidas de mejora de la eficiencia energética de un edificio, por lo que los programas utilizados son promovidos o reconocidos por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, gratuitos y de libre acceso.

Ce2, reconocido en noviembre de 2008, se ha utilizado para analizar el impacto que tiene cada una de las medidas de mejora de la eficiencia energética sobre la calificación energética del edificio. El edificio cumple los requisitos para que su calificación energética se pueda calcular por un método simplificado (edificio de viviendas, porcentaje de huecos en fachada menor del 60%, etc.)

Con Lider se ha verificado que el caso de estudio cumple la exigencia de limitación de demanda energética (HE-1).

Calener VyP se utiliza para calcular la calificación energética del proyecto en las diferentes hipótesis (Figura 1). Los resultados obtenidos en este estudio están condicionados por el programa, pero al ser la herramienta para la opción general proporciona cálculos más precisos que los procedimientos simplificados. Esta herramienta es similar a otras utilizadas para certificados de eficiencia energética, o adaptadas para el estudio de la envolvente del edificio (13).

El programa realiza los cálculos energéticos mediante un procedimiento de validación, a través de la comparación con un modelo de referencia de características similares al edificio objeto (14). Genera una etiqueta con la calificación energética

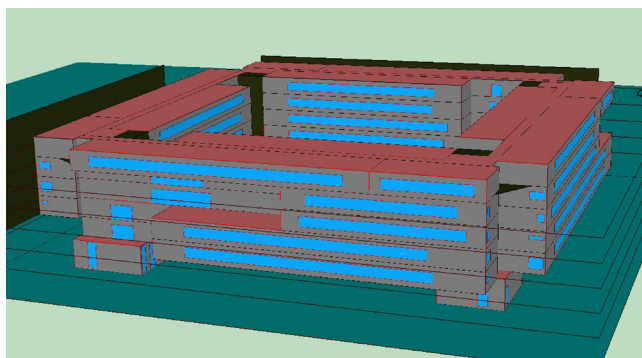


Figura 1. Geometría 3D del proyecto en Calener VyP

del edificio desde la A a la E, que son las calificaciones admitidas para edificios de nueva construcción. La calificación se establece en función de las emisiones de CO₂ (kgCO₂/m² año) y además se obtienen resultados de las demandas energéticas y los consumos de energía primaria y final.

Esta calificación energética tiene en cuenta la energía consumida en climatización y producción de ACS del edificio. No valora por lo tanto la iluminación, la energía contenida en los materiales que forman la envolvente o la fabricación de los sistemas.

4. EL EDIFICIO CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio es un edificio de viviendas en bloque situado en el Programa de Actuación Urbanística (PAU) de Vallecas. Su proyecto ha sido facilitado por la Empresa Municipal de la Vivienda y Suelo (EMVS) de Madrid a través de la asociación de promotores inmobiliarios impulsora del estudio.

El edificio está exento y se compone de cuatro bloques con orientaciones norte-sur y este-oeste colocados alrededor de un patio central (Figuras 2 y 3). Cada bloque consta de una planta sótano para garaje y trasteros, una planta baja de acceso con pequeños locales comerciales, y cinco plantas de viviendas. Los cinco pisos superiores albergan 143 apartamentos de 2, 3, 4 ó 5 dormitorios y una superficie útil entre 56 m² y 103 m². La superficie construida sobre rasante es de 14.346,74 m².

Las viviendas se sitúan a ambos lados de un pasillo común de tal manera que los diferentes tipos de vivienda se encuentran en las cuatro orientaciones (Figura 3).



Figura 2. Alzado exterior norte del proyecto

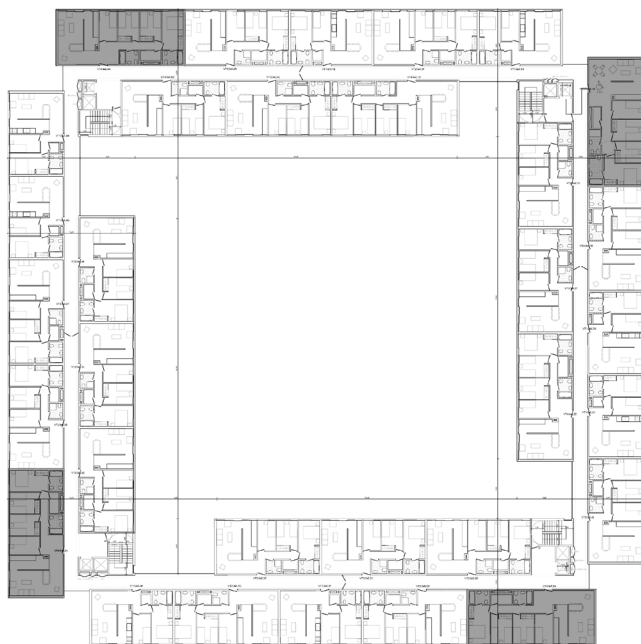


Figura 3. Planta tipo y esquema de distribución de las viviendas

Los motivos de selección de este edificio, entre los proyectos disponibles, han sido:

- Es un bloque de viviendas de promoción pública y cumple los requisitos y módulos de la vivienda protegida.
- Sus características constructivas permiten la modificación de los sistemas constructivos y energéticos para obtener las diferentes calificaciones energéticas en el desarrollo del estudio.
- Su calificación energética es la más baja -una D- entre los edificios disponibles.
- Las diferentes tipos de vivienda se encuentran en las cuatro orientaciones. Esto permite evaluar la relación entre la orientación y la calificación energética en este proyecto.

El proyecto del edificio es del año 2006-2007, y anterior a la entrada en vigor del CTE. Para que cumpla el DB HE se mejoran las características térmicas de los vidrios y se aumenta el aislamiento térmico en algunas zonas comunes del edificio. Este proyecto modificado se considera el caso de estudio.

Lider verifica que se cumplen los requisitos de limitación de la demanda energética. El presupuesto del proyecto, incluidas las modificaciones para cumplir el DB HE-1, es de 13.981.908 €. La Tabla 1 muestra la definición de los elemen-

tos de la envolvente del edificio y sus valores de transmitancia térmica. También se indican los valores límite de los parámetros característicos medios de la envolvente para la zona climática D3 (Madrid), teniendo en cuenta que la proporción de huecos en todas las fachadas está entre el 31 y el 40%.

Por lo que respecta a los sistemas energéticos, el edificio cuenta con un sistema centralizado de calefacción y apoyo de agua caliente sanitaria (ACS) con gas natural, y un sistema solar térmico de producción de ACS que cubre el 70% de la demanda. Esta proporción es la contribución solar mínima establecida por el DB HE-4: Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria para este edificio.

El sistema mixto de calefacción y ACS consta de: una caldera estándar de 310 kW de potencia nominal y un rendimiento del 85%, y una caldera de condensación de 285 kW de potencia nominal y un rendimiento del 95%. Los emisores son radiadores de chapa de acero.

No existe sistema de refrigeración.

La calificación energética del caso de estudio, calculada con Calener VyP, es D. Según los resultados del programa el edificio genera unas emisiones de 17,5 kgCO₂/m² año y un consumo de energía final de 66 kWh/m² año.

5. MEDIDAS QUE MODIFICAN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Las diferentes calificaciones energéticas se consiguen modificando algunas soluciones constructivas y los sistemas energéticos del proyecto. Estas modificaciones, llamadas medidas, se evalúan primero de forma individual, para ver cómo influyen en la eficiencia energética del edificio, y luego se agrupan formando hipótesis.

Como el estudio parte de un proyecto definido, no se han modificado la ubicación, orientación, volumen, coeficiente de forma del edificio o la situación de las viviendas en el bloque. Estos cambios podrían significar mejoras sustanciales en la calificación energética (15). La única modificación del diseño que se ha evaluado, para conseguir las calificaciones energéticas más altas, es la reducción del porcentaje de superficie de ventanas en las fachadas.

Las medidas seleccionadas son soluciones constructivas y sistemas energéticos habituales en edificios residenciales en

Tabla 1. Características de la envolvente y valores límite de transmitancia.

ELEMENTO CONSTRUCTIVO	CASO DE ESTUDIO U (W/m ² K)	DB HE-1 (D3) Ulim(W/m ² K)
FACHADA CON PANELES DE HORMIGÓN PREFABRICADO	0,65	0,66
FACHADA DE LADRILLO ACABADA CON CHAPA DE ACERO MINIONDA	0,63	
FACHADA DE HORMIGÓN	0,66	
CUBIERTA PLANA INVERTIDA CON ACABADO DE GRAVA	0,38	0,38
CUBIERTA PLANA INVERTIDA TRANSITABLE (TERRAZA)	0,34	
ESTRUCTURA DE FORJADO (LOSA)	0,43	0,49
FORJADO DE PLANTA SEGUNDA	0,45	
VIDRIO 4-6-4 (ESPACIOS COMUNES)	3,00	En función de la orientación
VIDRIO BAJO EMISIVO 4-9-4 (FACHADA NORTE)	1,90	2,2 (Uhueco)
VIDRIO BAJO EMISIVO 4-9-4 (FACHADA SUR)	2,30	3,4 (Uhueco)
VIDRIO BAJO EMISIVO 4-9-4 (FACHADAS ESTE Y OESTE)	2,10	2,6 (Uhueco)
MARCO DE ALUMINIO CON ROTURA DE PUENTE TÉRMICO	3,20	Incluido en Uhueco

Madrid. Se eligen en función de: la adecuación al proyecto y a la zona climática, la relación coste-beneficio, las soluciones constructivas y las instalaciones aportadas por los promotores del estudio y la normativa vigente.

Las medidas se dividen en:

- Medidas pasivas: actuaciones en la envolvente (el aumento del aislamiento en los cerramientos exteriores, la mejora de las características térmicas de los huecos y la colocación de elementos de protección solar); las modificaciones en la ventilación y la reducción del porcentaje de huecos en las fachadas en función de la orientación.
- Medidas activas: la sustitución de las instalaciones de calefacción y ACS por otros sistemas energéticos, la utilización de diferentes tipos de combustible (electricidad, gas natural) y el aumento del porcentaje de la demanda de ACS cubierta por energía solar térmica.

5.1. Medidas pasivas

- La reducción del 20% de la superficie de huecos en la fachada norte.
- La colocación de protecciones solares en las ventanas en función de la orientación: se considera una corrección del factor solar en verano de 0,7. Se evalúan dos opciones: solo en la fachada oeste; y en las fachadas este, oeste y sur.
- La mejora de las características térmicas de los cerramientos exteriores (16). Se consideran tres opciones, partiendo de la transmitancia media límite establecida por el DB HE-1 para la zona climática D3 hasta alcanzar una transmitancia media de $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Este valor se basa en experiencias anteriores (17), (18), (19) que tienen en cuenta la relación entre el aumento de aislamiento y su coste, así como los estándares de casas de bajo consumo energético o casas pasivas (20). Las opciones evaluadas son:
 - Umuro = $0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$; Ucubierta = $0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$; Usuelo = $0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Envolvente tipo 0: edificio modelo).
 - Umuro = $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$; Ucubierta = $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$; Usuelo = $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Envolvente tipo 1).
 - Umuro = $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$; Ucubierta = $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$; Usuelo = $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Envolvente tipo 2).
- Mejora de las características térmicas de los vidrios, desde los valores exigidos por el CTE hasta estándares de bajo consumo de energía o casas pasivas.
- La transmitancia del vidrio desde $U = 2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ a $U = 1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ dependiendo de la orientación de la fachada (Vidrios tipo 1).
- La transmitancia del vidrio desde $U = 1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ a $U = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ dependiendo de la orientación de la fachada (Vidrios tipo 2).
- Mejora de la transmitancia de los marcos de ventanas y puertas. Las dos opciones consideradas son: $U = 3,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ y $U = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Se incluyen entre las actuaciones modificaciones en las condiciones de ventilación, ya que pueden alterar significativamente los resultados de la calificación energética, de acuerdo con los estudios anteriores (21). Los valores calculados son: 1 renovaciones/hora y 0,8 renovaciones/hora.

5.2. Medidas activas

Los sistemas energéticos que se han evaluado son:

- Sistema 1: individual eléctrico con termo eléctrico y radiadores eléctricos.
- Sistema 2: individual con calderas estándar de gas natural y radiadores.
- Sistema 3: individual con calderas de condensación de gas natural y radiadores.
- Sistema 4: individual con calderas de condensación de gas natural y calefacción por suelo radiante.
- Sistema 5: colectivo con una caldera estándar de gas natural y una caldera de condensación de gas natural y radiadores. Este sistema es el que está en uso en el edificio.
- Sistema 6: colectivo con dos calderas de condensación de gas natural y radiadores.
- Sistema 7: colectivo con dos calderas de condensación de gas natural y calefacción por suelo radiante.

Se ha considerado que un 70% de la demanda de ACS está cubierta por energía solar térmica, como en el proyecto original, y también se ha evaluado un porcentaje de 80%.

5.3. Valoración económica

Se han valorado las 14 hipótesis consideradas. La edificación es siempre un proceso tan singular como los precios con los que se construye, pues dependen de las circunstancias económicas del momento, la oportunidad, los factores locales, la propia gestión específica de la promoción, etc., a lo que se añade lo dilatado del propio proceso constructivo. Por ello la valoración económica en este caso específico de estudio se ha planteado buscando la obtención de una «foto fija» de la situación, en la fecha de proyecto, 2007, con el objetivo establecer comparaciones energético-económicas equilibradas entre la situación original y las diferentes alternativas. Se obtiene así la coherencia adecuada como caso de estudio.

Para que la valoración de las alternativas resulte consistente se han utilizado los propios datos del presupuesto original del Proyecto; la definición de las unidades de obra no previstas se han basado en los precios descompuestos del mismo Proyecto. Solamente cuando en el proyecto original no había información suficiente se ha recurrido a la Base de precios de la Comunidad de Madrid 2007, el Catálogo construcción multifabricante ACAE (38ª edición de 2008) y la Base de precios Centro del Colegio de Aparejadores de Guadalajara 2007; todas ellas por ser las bases de referencia más utilizadas entre los proyectistas de Madrid en ese momento concreto. Finalmente, para las instalaciones o unidades de obra no encontradas en estas bases, se han utilizado los datos proporcionados por las empresas energéticas y de climatización promotoras del estudio. Para adaptar estos últimos a los de la fecha referencial (la del proyecto, 2007), se utilizan coeficientes de reducción: 0,946% para los de 2008 y 0,89% para los de 2009, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística (INE)¹.

¹ INE: Índices de precios de materiales nacionales de mano de obra en construcción. <http://www.ine.es/jaxi/tabla.do?path=/t38/p604/a2000/10/&file=1300001.px&type=pcaxis&L=0>.

5.4. Evaluación del impacto de las medidas en la eficiencia energética del edificio

La evaluación individual de las medidas se realiza mediante el procedimiento simplificado Ce2. Esta herramienta permite, mediante una hoja de cálculo, valorar la influencia que los cambios en el diseño, en las características constructivas o en los sistemas energéticos tienen en la calificación energética del edificio.

Los resultados del programa se expresan mediante Índices de Eficiencia Energética (IEE) y la letra de la calificación energética. En la Figura 4 se representan los resultados de la evaluación de las medidas pasivas -IEEglobal y los IEE de las demandas de calefacción y refrigeración- y cómo varían en los diferentes casos. En la Figura 5 se representan los resultados de la evaluación de las medidas activas -IEEglobal y los IEE de los sistemas de calefacción y de ACS-.

Esta primera evaluación permite seleccionar las medidas que, agrupadas en 14 hipótesis, logran las diferentes calificaciones energéticas.

6. HIPÓTESIS

Las 14 hipótesis de cálculo que se resumen en la Tabla 2 son el resultado de la combinación de las medidas pasivas y ac-

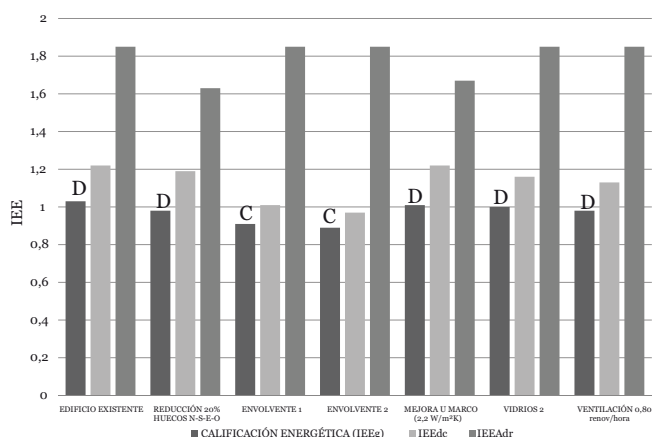


Figura 4. Resultados de la evaluación de las medidas pasivas con Ce2.

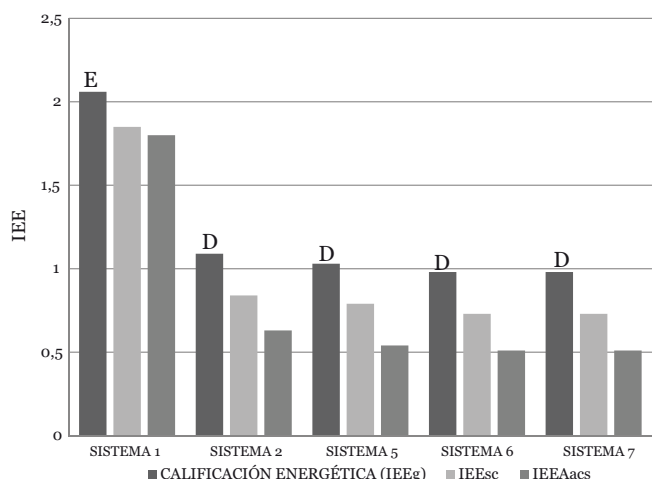


Figura 5. Resultados de la evaluación de las medidas activas con Ce2.

tivas. Para cada hipótesis se señalan las medidas que se han considerado para el cálculo de la calificación. Las medidas se seleccionan teniendo en cuenta la mejora de la eficiencia energética que proporcionan y su coste. La hipótesis H4 es el caso de estudio.

Se ha elaborado un presupuesto para cada una de las hipótesis a partir de los precios calculados para cada medida. Las modificaciones en las partidas del presupuesto se han realizado sobre el presupuesto original (13.981.907,67 €) y manteniendo la estructura, los criterios de medición y los precios 2007, la fecha del proyecto.

La calificación energética de las 14 hipótesis se calcula con Calener VYP. El programa permite evaluar el efecto que tienen en la calificación energética del edificio las modificaciones en la envolvente y en los sistemas energéticos.

Algunas de las hipótesis tienen un comportamiento energético peor que el edificio de partida. Como el objetivo del trabajo es evaluar económicamente las diferentes calificaciones, a partir de la calificación D se han realizado modificaciones para reducir la calificación a la letra E.

Ciertos autores sostienen que los métodos y herramientas utilizados para la evaluación de la eficiencia energética tienen limitaciones que pueden reducir su eficacia y utilidad (22). En este trabajo también se han obtenido conclusiones sobre las limitaciones de Calener VyP. Una de ellas es que el programa calcula un resultado global para el edificio pero no se pueden considerar espacios independientes.

Teniendo en cuenta los archivos de resultados que genera el programa y la ubicación de las viviendas, se ha calculado la calificación energética en las diferentes orientaciones del edificio. Así, para cada una de las 14 hipótesis, se obtiene una calificación global del edificio y las calificaciones energéticas de las viviendas agrupadas según su orientación (Norte, Sur, Este y Oeste).

7. RESULTADOS

Las medidas se combinan en 14 hipótesis para obtener las diferentes calificaciones energéticas. El cálculo de las hipótesis proporciona una calificación energética del edificio y resultados parciales para cada orientación, las emisiones de CO₂ (kgCO₂/m² año) y las demandas de energía (kWh/m² año) asociadas a calefacción, refrigeración y ACS (Tabla 3). Además el programa proporciona valores de la energía final consumida en calefacción, refrigeración y ACS.

Las hipótesis han dado lugar a calificaciones energéticas desde la E (H1, 39,2 kgCO₂/m² año) a la B (H14, 9,3 kgCO₂/m² año), sin que se haya logrado la calificación A. Las mismas calificaciones energéticas se pueden conseguir con diferentes combinaciones de medidas activas y pasivas, aunque con resultados diferentes desde el punto de vista medioambiental (kgCO₂/m² año) y económico (coste en €/m²).

La mejor calificación se ha logrado mediante la reducción de los huecos de la fachada norte en un 20%; la colocación de protecciones solares en la fachada sur, este y oeste; el aumento del aislamiento térmico en los cerramientos exteriores hasta alcanzar una transmitancia de 0,15 W/m²K; la

Tabla 2. Hipótesis evaluadas. Definición.

HIPÓTESIS			H 14	H 13	H 12	H 11	H 10	H 9	H 8	H 7	H 6	H 5	H 4	H 3	H 2	H 1	
ENVOLVENTE	REDUCCIÓN % HUECOS EN VIVIENDAS	0															
		20															
	CORRECTOR FACTOR SOLAR VERANO	0,7															
		Envolvente 0															
		Envolvente 1															
	AISLAMIENTO ENVOLVENTE (fachadas, cubiertas, suelos)	Envolvente 2															
		Vidrios 1															
		Vidrios 2															
	U VIDRIOS (W/m ² K)	Marco 1															
		Marco 2															
U MARCO (W/m ² K)	1																
	0,8																
SISTEMAS ENERGÉTICOS	SISTEMA 1																
	SISTEMA 2																
	SISTEMA 3																
	SISTEMA 4																
	SISTEMA 5																
	SISTEMA 6																
	SISTEMA 7																
	% Demanda de ACS cubierta con energía solar térmica	70															
	80																

Tabla 3. Hipótesis evaluadas. Calificaciones energéticas, demandas energéticas, emisiones de CO₂ y consumo de energía final.

HIPÓTESIS	H 14	H 13	H 12	H 11	H 10	H 9	H 8	H 7	H 6	H 5	H 4	H 3	H 2	H 1	
ORIENTACIÓN	N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O	N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O	N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O	N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O	N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O	N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O	N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O	N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O	N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O	N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O	N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O	N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O	N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O	N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O	N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O N S E O
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA (kg CO ₂ /m ² año)	B (9,3)	B (10,0)	B (10,6)	B (10,6)	C (14,3)	C (15,6)	C (15,7)	C (16,4)	C (16,7)	C (16,9)	D (17,5)	D (17,9)	D (18,7)	E (39,2)	
DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m ² año)	21,7	25,7	25,7	25,7	33,8	46,8	46,8	38,2	47,3	47,3	47,3	43,3	47,3	47,3	
DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh/m ² año)	10,1	9,6	9,6	9,6	11,7	11,7	11,7	11,7	11,6	11,6	11,6	12,0	11,6	11,6	
EMISIONES CALEFACCIÓN (kgCO ₂ /m ² año)	4,7	5,6	6,1	6,1	8,6	10,6	10,2	10,1	11,1	11,3	11,8	12,0	13,0	29,2	
EMISIONES REFRIGERACIÓN (kgCO ₂ /m ² año)	3,9	3,7	3,7	3,7	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4	4,4	4,6	4,4	4,4	
EMISIONES ACS (kgCO ₂ /m ² año)	0,7	0,7	0,8	0,8	1,2	1,1	1,0	1,0	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	5,6	
CONSUMO ENERGÍA FINAL CALEFACCIÓN (kWh/m ² año)	21,1	24,9	27,5	27,6	39,2	44,8	45,4	48,2	49,8	50,5	53,0	54,5	59,2	51,5	
CONSUMO ENERGÍA FINAL REFRIGERACIÓN (kWh/m ² año)	6,0	5,7	5,7	5,7	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	7,1	6,9	6,9	
CONSUMO ENERGÍA FINAL ACS (kWh/m ² año)	3,4	3,4	3,9	3,9	5,8	5,1	5,1	6,5	5,8	5,8	6,2	6,5	6,5	8,6	
CONSUMO ENERGÍA FINAL TOTAL (kWh/m ² año)	30,5	34,0	37,1	37,2	51,9	56,8	57,4	61,6	62,5	63,2	66,1	68,1	72,6	67,0	

mejora de las características térmicas de las ventanas y la reducción de la ventilación. Se ha considerado además un sistema colectivo de calefacción y ACS con gas natural, con calderas de condensación, calefacción por suelo radiante y una cobertura del 80% de la demanda de ACS mediante energía solar térmica.

La calificación E se ha obtenido sin hacer cambios en el sistema constructivo del edificio y sustituyendo el sistema energético original por uno individual con un termo eléctrico y

radiadores eléctricos, y manteniendo el porcentaje del 70% de cobertura de producción de ACS con energía solar térmica.

Con los datos proporcionados por Calener VyP se puede calcular el coste del consumo de energía del edificio y el ahorro que supone una mejor calificación energética. Como muestra la Tabla 4, es posible relacionar la calificación energética, el precio de cada hipótesis y el consumo de energía y su coste. Para calcular el coste del consumo se ha considerado solo el gasto de energía –sin tener en cuenta el término fijo, alqui-

Tabla 4. Hipótesis evaluadas. Calificaciones energéticas, coste de la construcción, consumo de energía final y coste del consumo.

HIPÓTESIS	H 14	H 13	H 12	H 11	H 10	H 9	H 8	H 7	H 6	H 5	H 4	H 3	H 2	H 1
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA (kg CO₂/m² año)	B (9,3)	B (10,0)	B (10,6)	B (10,6)	C (14,3)	C (15,6)	C (15,7)	C (16,4)	C (16,7)	C (16,9)	D (17,5)	D (17,9)	D (18,7)	E (39,2)
COSTE (€/ m²e) (1)	870,01	862,44	861,88	858,79	858,55	840,34	841,61	843,76	837,97	841,05	840,14	845,00	837,19	818,63
COSTE (€/ m²csr) (2)	1.009,22	1.000,43	999,79	996,21	995,92	974,80	976,27	978,77	972,05	975,63	974,57	980,21	971,15	949,62
INCREMENTO DEL COSTE RESPECTO (H₄) (€/ m²c) (1)	29,87	22,30	21,74	18,65	18,41	0,20	1,47	3,62	-2,18	0,91	0,00	4,86	-2,95	-21,51
% INCREMENTO DEL COSTE RESPECTO H₄	3,56	2,65	2,59	2,22	2,19	0,02	0,17	0,43	-0,26	0,11	0,00	0,58	-0,35	-2,56
CONSUMO ENERGÍA FINAL TOTAL (kWh/m² año)	30,50	34,00	37,10	37,20	51,90	56,80	57,40	61,60	62,50	63,20	66,10	68,10	72,60	67,00
COSTE CONSUMO ENERGÍA FINAL (€/m² año) (3)	1,67	1,79	1,89	1,98	2,68	2,96	2,98	2,92	3,17	3,20	3,15	3,22	3,56	7,03
AHORRO EN COSTE DE CONSUMO RESPECTO H₄ (€/m² año)	1,48	1,36	1,26	1,17	0,47	0,19	0,17	0,23	-0,02	-0,05	0,00	-0,07	-0,41	-3,88

(1) Superficie construida total edificio = 16.642,33 m²

(2) Superficie construida sobre rasante = 14.346,74 m²

(3) Precios considerados (sin IVA): Solo se ha calculado el término variable (consumo de combustible). Gas natural: 0,0379 €/kWh para sistemas individuales, 0,0345 €/kWh para sistemas centralizados. Electricidad: 0,11473 €/kWh

leres o impuestos– y los precios de los combustibles del año del estudio.

La obtención de la mejor calificación energética B (9,3 kgCO₂/m² año) desde la peor E (39,2 kgCO₂/m² año) implica un aumento de la inversión del 6,28% (51,38 €/m²). El consumo de energía es de 30,5 kWh/m² año para la calificación B y de 67 kWh/m² año para la E.

En los resultados intermedios el aumento de coste oscila entre 0,91 €/m² y 18,6 €/m²:

- Obtener una calificación D (18,7 kgCO₂/m² año) desde una E implica un incremento de los costes constructivos del 2,27% (18,56 €/m²).
- Obtener una calificación C (16,9 kgCO₂/m² año) desde una D supone un aumento de los costes entre un 0,11% y un 0,47% (entre 0,91 €/m² y 3,86 €/m²).
- Obtener una calificación B (10,6 kgCO₂/m² año) desde una C implica un incremento de los costes que oscila del 0,03% al 2,17% (entre 0,24 €/m² y 17,74 €/m²).

La comparación de estos resultados permite deducir que, en este edificio, la mayor inversión no siempre se corresponde con la mejor calificación energética (Figura 6). Sin embargo, es necesario hacer una inversión económica para lograr una mejor calificación energética mejor y reducir el consumo de energía.

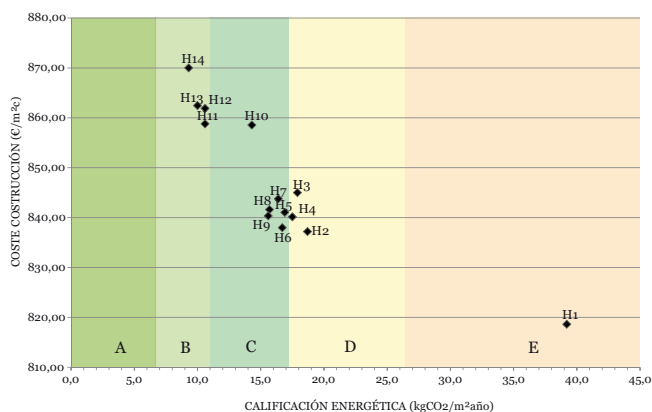


Figura 6. Ratio entre la calificación energética (kgCO₂/m²año) y el coste de construcción (€/m²construidos).

Para averiguar la rentabilidad de la inversión necesaria para mejorar la calificación energética del proyecto, se ha establecido la relación existente entre el aumento de la cuota hipotecaria debido a una mejor calificación energética y el ahorro en el consumo (Tabla 5). Se observa cómo, a mayor calificación energética, mayor es la rentabilidad anual, entre el 5,5% y el 6,5%. Los cálculos se basan en una de las viviendas del edificio, con 4 habitaciones y 85,10 m² de superficie útil. Se ha considerado una hipoteca a 25 años con una financiación de hasta el 80%.

Tabla 5. Repercusión de la calificación energética en la cuota hipotecaria de la vivienda.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA	E	D	C	B
PRECIO VIVIENDA TIPO (€)	120.604	123.074	123.862	125.636
TIPO INTERÉS ANUAL (%)	2,5	2,5	2,5	2,5
PLAZO AMORTIZACIÓN PRÉSTAMO (años)	25	25	25	25
IMPORTE PRÉSTAMO (80%) (€)	96.483	98.459	99.090	100.509
CUOTA AMORTIZACIÓN ANUAL (INVERSIÓN) (€)	5.237	5.344	5.378	5.455
INCREMENTO CUOTA HIPOTECA ANUAL RESPECTO E (€)	0	107	141	219
AHORRO CONSUMO RESPECTO E (€)	0	404	450	572
BENEFICIO (DIFERENCIA ENTRE INCREMENTO DE CUOTA Y AHORRO EN CONSUMO) (€)	–	297	308	354
RENTABILIDAD SOBRE LA INVERSIÓN (%)	–	5,55	5,73	6,49

8. CONCLUSIONES

El estudio descrito en el presente artículo es una primera fase del Proyecto PRECOST&E, que desde su origen ha planteado el desarrollo de los trabajos abordando la comparación entre costes de construcción y prestaciones energéticas mediante el análisis de diferentes tipologías edificatorias y en diferentes zonas climáticas. En esta primera fase se obtienen conclusiones para un edificio de viviendas en bloque situado en Madrid y proyectado en el año 2007.

Una de las principales aportaciones del presente trabajo consiste su carácter homogéneo e integrador, incorporando de forma conjunta la valoración económica y energética de combinaciones de medidas activas y pasivas en un número de variaciones significativo, y más amplio que en otros trabajos similares (23), y sobre un caso real de estudio.

A partir del desarrollo del estudio y de los resultados obtenidos se han obtenido conclusiones sobre: la relación entre las calificaciones energéticas y las variaciones del coste de la construcción; la calificación energética global del edificio y la calificación por orientaciones; y las limitaciones de los programas utilizados.

Los resultados del estudio están condicionados por el método de cálculo y las características de Lider y Calener VYP, por lo que para analizarlos correctamente es necesario conocer las limitaciones del programa. Como sostienen algunos autores (24), las limitaciones de las herramientas utilizadas pueden alterar la eficacia de las acciones y necesitan ser evaluadas. Algunas de estas características son:

- Lider no permite introducir ciertos sistemas o elementos constructivos que influyen de forma pasiva en el comportamiento térmico del edificio: persianas térmicas, invernaderos, muros Trombe, fachadas ventiladas, cubiertas vegetales, etc.
- Calener VyP considera que todos los espacios, cuando existe demanda, están acondicionados para refrigeración, y les asigna un sistema eléctrico por defecto que penaliza la calificación energética. De la misma manera considera que todos los espacios están acondicionados para calefacción, incluso los espacios comunes no calefactados, y les asigna una caldera de gasoil por defecto que penaliza la calificación energética.
- El programa calcula la calificación energética del edificio pero no considera la de las viviendas individuales en función de su diseño, orientación o situación dentro del edificio. Así, la calificación energética del edificio no siempre coincide con la de todas sus viviendas.
- El proceso de cálculo para obtener la calificación energética del edificio no es transparente, lo que dificulta su utili-

zación para evaluar las diferentes actuaciones propuestas o como herramienta de diseño.

Como conclusiones sobre la calificación energética se citan las siguientes:

- Una calificación más alta no siempre se corresponde con un mayor presupuesto, aunque para obtener las mejores calificaciones energéticas sí es necesario realizar una inversión económica. En este caso, un aumento del presupuesto del 6,3% -51,4 €/m² construido sobre rasante- permite obtener una B, la calificación energética más alta conseguida, desde la E. Con las soluciones constructivas y las instalaciones energéticas habituales en edificios residenciales, y partiendo de un diseño definido, no se alcanza la calificación A. La consideración en la fase inicial de proyecto de un diseño adecuado, una correcta orientación y ubicación del edificio es fundamental para conseguir las mejores calificaciones energéticas.
- De forma general, inversiones en torno al 6% permiten alcanzar los resultados entre los extremos, desde una calificación E a la óptima alcanzable, en este caso la B. Considerando que se parte de un proyecto de viviendas de protección oficial con una calificación energética D y con precios competitivos y reales, el alcance de las ratios óptimas (calificación B) se limita a unas inversiones de entre 2 y 3%.
- Las medidas de ahorro energético en este edificio requieren una inversión económica. A causa de esas medidas se obtiene un ahorro en el consumo de energía. Ello hace que la inversión sea rentable.
- La calificación energética del edificio no siempre coincide con la calificación de cada una de sus viviendas. La diferencia de calificación entre las orientaciones es más clara cuando la calificación global está próxima a un límite en la escala de calificación. La misma tipología de vivienda puede tener un comportamiento energético diferente dependiendo de su orientación, y por lo tanto requerir una mayor o menor inversión para obtener un mismo resultado. En consecuencia, los programas de calificación deberían tener en cuenta las características propias de cada una de las viviendas de un edificio y no solo las de éste en su totalidad.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio es el resultado del convenio de colaboración suscrito entre los promotores del estudio, la Fundación ASPRIMA, Gas Natural Fenosa, Ursa-Pladur y Uponsor, y el Grupo de Investigación Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria (giSCI-UPM) de la Universidad Politécnica de Madrid. Se ha contado también con la colaboración de la Empresa Municipal de la Vivienda y Suelo (EMVS) de Madrid.

REFERENCIAS

- (1) Parlamento Europeo. (2003, 4 de enero). Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la Eficiencia Energética de los Edificios. *Diario Oficial de la Unión Europea*, (1): 65-71.
- (2) Parlamento Europeo. (2010, 18 de junio). Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la Eficiencia Energética de los Edificios. *Diario Oficial de la Unión Europea*, (153): 13-35.
- (3) Ministerio de la Presidencia. (2013, 13 de abril). Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. *Boletín Oficial del Estado*, (89): 27548-27562. España.

- (4) Entrop, A.G., Brouwers, H.J.H., Reinders, A.H.M.E. (2010). Evaluation of energy performance indicators and financial aspects of energy saving techniques in residential real estate. *Energy and Buildings*, 42 (5): 618-629, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.10.032>.
- (5) Hamza, N., Greenwood, D. (2009). Energy conservation regulations: Impacts on design and procurement of low energy buildings. *Building and Environment*, 44(5): 929-936, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.06.010>.
- (6) Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3): 394-398, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>.
- (7) Gorgolewski, M. (1995). Optimizing renovation strategies for energy conservation in housing. *Building and Environment*, 30(4): 583-589, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0360-1323\(95\)00011-T](http://dx.doi.org/10.1016/0360-1323(95)00011-T).
- (8) Schaltegger, S., Synnestvedt, T. (2002). The link between “green” and economic success: environmental management as the crucial trigger between environmental and economic performance. *Journal of Environmental Management*, 65(4): 339-346, doi: <http://dx.doi.org/10.1006/jema.2002.0555>.
- (9) Jedrzejuk, H., Marks, W. (2002). Optimization of shape and functional structure of buildings as well as heat source utilization. Basic theory. *Building and Environment*, 37(12): 1379-1383, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00101-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00101-9).
- (10) CTE. (2009). Programa Lider. http://www.codigotecnico.org/web/recursos/aplicaciones/contenido/texto_0002.html. Código Técnico de la Edificación.
- (11) MINETUR. (2013). Programa Calener VyP. <http://www.minetur.gob.es/ENERGIA/DESARROLLO/EFICIENCIAENERGETICA/CERTIFICACIONENERGETICA/DOCUMENTOSRECONOCIDOS/PROGRAMACALENER/Paginas/DocumentosReconocidos.aspx>. Gobierno de España - Ministerio de Industria, Energía y Turismo
- (12) MINETUR. Procedimiento Simplificado para la Certificación de Eficiencia Energética de Edificios de Viviendas Ce2. <http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/Procedimientosimplificadosdecar%C3%A1cterprescriptivoparaedificiosdeviviendas.aspx>. Gobierno de España - Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
- (13) Zhang, H., Leimer, H.-P. (2011). Low Energy Certificate - an exploration on optimization and evaluation of energy-efficient building envelope. *Science China - Technology Sciences*, 54(6): 1639-1644, doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11431-011-4357-5>.
- (14) MINETUR-IDAE. (2009). Calener-VYP v1.0. Manual de usuario. http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/ProgramaCalener/CalenerVYP1/Manual_de_usuario.pdf. Madrid: Ministerio de Vivienda, Ministerio de Industria, Energía y Turismo - Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- (15) Depecker, P., Menez, C., Virgone, J., Lepers, S. (2001). Design of buildings shape and energetic consumption. *Building and Environment*, 36(5): 627-635, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00044-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00044-5).
- (16) Escorcía, O., García, R., Trebilcock, M., Celis, F., Bruscato, U. (2012). Mejoramientos de envolvente para la eficiencia energética de viviendas en el centro-sur de Chile. *Informes de la Construcción*, 64 (528): 563-574, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.11.143>.
- (17) Boermans, T., Petersdorff, C. (2007). U-values for better energy performance of buildings. Ecofys VV report. <http://www.eurima.org/reports/u-values-for-better-energy-performance-of-buildings>. Ecofys GmbH for EURIMA. European Insulation manufactures association.
- (18) Gieseler, U.D.J., Heidt, F.D., Bier, W. (2004). Evaluation of the cost efficiency of an energy efficient building. *Renewable Energy*, 29(3): 369-376, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-1481\(03\)00254-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00254-4).
- (19) Romero, M. (2008). Mejora de la envolvente térmica de los edificios como herramienta para la reducción de emisiones de CO₂. *AeI Aislamiento e Impermeabilización*, 47: 50-52.
- (20) PHIUS. (2011). <http://www.passivehouse.us/passiveHouse/PassiveHouseInfo.html>. Passive House Institute US (PHIUS).
- (21) Cuervo-Vilches, M.T. (2008). La simulación energética como herramienta de predicción, normativa y de investigación en proyectos de arquitectura eficientes. Comunicación técnica. En *Congreso Nacional del Medio Ambiente - Cumbre del Desarrollo Sostenible CONAMA 9*. Madrid.
- (22) Ding, G.K.C. (2008). Sustainable construction- the role of environmental assessment tools. *Journal of Environmental Management*, 86(3): 451-464, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.025>.
- (23) Ruá, M.J., López-Mesa, B. (2012). Certificación energética de edificios en España y sus implicaciones económicas. (2012). *Informes de la Construcción*, 64(527): 307-318, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.11.028>.
- (24) Sánchez-de la Flor, F.J., Salmerón-Lissón, J.M., Álvarez-Domínguez, S. (2006). A new methodology towards determining building performance under modified outdoor conditions. *Building and Environment*, 41(9): 1231-1238, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.035>.

* * *