

| **La materialidad en la arquitectura del Movimiento Moderno:**

Investigación teórica y constructiva: comportamiento ambiental y energético

Juan J. Sendra
Rafael Suárez
Ángel L. León
Mónica Martínez-Hervás

Resumen

El importante parque residencial de las décadas de los 50 a los 70 fue construido sin ningún tipo de regulación normativa referente a criterios ambientales y energéticos, por lo que en la actualidad adolece de diferentes grados de obsolescencia, no respondiendo a las actuales exigencias en materia energética. Esta investigación sobre el comportamiento ambiental y energético de la barriada de El Carmen pretende responder a estas dos etapas temporales, conociendo su comportamiento en su estado actual y valorando su capacidad de mejora mediante diferentes propuestas de rehabilitación energética compatibles con su carácter patrimonial.

Para caracterizar energéticamente tanto los bloques en torre como los lineales, se ha realizado un trabajo de campo que ha permitido conocer el grado de permeabilidad al aire, caracterizar su envolvente térmica, así como conocer los sistemas de acondicionamiento e instalaciones para la habitabilidad y el confort. En este sentido, los sistemas de producción de agua caliente sanitaria (ACS) dominantes actualmente son los de tipo eléctrico o de gas natural. Los equipos de calefacción utilizados en la mayoría de las viviendas son generadores de calor locales y portátiles de tipo eléctrico, mientras que los de refrigeración son equipos de expansión directa, partidos tipo *split*.

Este trabajo se ha complementado con el análisis energético mediante modelos de simulación. La barriada de El Carmen presenta, en su estado actual, una calificación energética E, considerada aceptable en relación con edificaciones de su época, pero claramente insuficiente para las exigencias actuales, como se desprende de los elevados valores de demanda, especialmente en régimen de invierno. Así, existe un gran distanciamiento de los valores de la demanda energética de calefacción con los valores normativos. En ambos tipos de bloques hay un claro exceso de demanda de calefacción sobre este valor límite: alrededor de cuatro veces superior. Sin embargo, en cuanto a la demanda energética de refrigeración este distanciamiento es mucho menor: un 64 % en la torre en altura y un 74 % en el bloque lineal, aproximadamente.

No obstante, existe un importante margen de mejora: mediante adecuadas estrategias de rehabilitación, se podrían reducir las emisiones de CO₂ en el orden de un 20 %, y la demanda energética global en un 30 %. En concreto, todas las propuestas de rehabilitación analizadas de los bloques lineales y en torre ofrecen resultados muy similares, consiguiendo una reducción de las emisiones de CO₂ del 17 y 21 % anuales, y de la demanda energética global del 26 y 27 % anuales, respectivamente.

| **The materiality in the architecture of the Modern Movement:**

Theoretical and constructive research: Environmental and energy performance

Abstract

The substantial number of residential buildings constructed between the 1950s and 1970s had no regulatory framework governing environmental and energy criteria; as a result, today they are more or less obsolete and do not meet current standards of energy efficiency. This study of the environmental and energy performance of the neighbourhood of El Carmen aimed to analyse both time periods, determining how they perform today and assessing their potential for improvement with different energy-efficient renovation proposals compatible with their heritage value.

In order to characterise the energy efficiency of both the tower and terraced blocks, fieldwork was carried out to determine air tightness, characterise the thermal envelope, and understand the conditioning systems and utilities for habitability and comfort. In this respect, the predominant hot water supply systems are those fuelled by electricity or natural gas. The majority of homes are heated by local and portable electric heat generators, while cooling is generally provided by split-type direct expansion systems.

This fieldwork was complemented by an energy analysis with simulation models. In its current condition, the neighbourhood of El Carmen has an energy rating of E, which is considered acceptable in comparison with other buildings of the same age but clearly insufficient by modern standards, as illustrated by the high levels of demand, especially in the winter months. Consequently, there is a wide gap between levels of heating energy demand and standard levels. Heating demand in both types of buildings is roughly four times higher than this benchmark level. However, the distance is much narrower with regard to cooling demand: 64% in tower blocks and 74% in terraced blocks, approximately.

Even so, there is significant room for improvement: appropriate renovation strategies could reduce CO₂ emissions by around 20% and overall energy demand by 30%. Specifically, all renovation proposals considered for the terraced and tower blocks offer very similar results, reducing annual CO₂ emissions by 17% and 21% and overall annual energy demand by 26% and 27%, respectively.

Introducción y definición de objetivos

En las grandes ciudades españolas, fue en las décadas de los 50, 60 y 70 del pasado siglo XX cuando más viviendas se construyeron. Sin embargo, la ausencia de regulaciones normativas generales sobre aspectos ambientales y energéticos en la edificación hasta el año 1979, con la *Norma básica de edificación sobre condiciones térmicas en los edificios* (NBE CT-79), es la principal causa de que muchas de las viviendas construidas en ese periodo tengan graves carencias en estos aspectos, cuando no un cierto grado de obsolescencia.

Dos son los objetivos principales de la investigación efectuada sobre el comportamiento ambiental y energético de los edificios de la barriada: conocer cuál es ese comportamiento en el estado actual y efectuar y evaluar propuestas de rehabilitación que lo mejoren. Para alcanzar dichos objetivos, además de realizar el correspondiente trabajo de campo, se han utilizado los procedimientos establecidos en el vigente *Documento básico de ahorro de energía* del Código Técnico de la Edificación (CTE DB-HE) y el Real Decreto 235/2013 sobre certificación de la eficiencia energética de los edificios.

Métodos

Edificio objeto de estudio

En la barriada de El Carmen podemos encontrar dos tipologías edificatorias diferenciadas: torre en altura en forma de estrella y bloque lineal. En función de ello, se ha optado por efectuar el presente análisis atendiendo a esta diferenciación tipológica. Los edificios objeto de estudio han sido la torre ubicada en la plaza de Riofrío nº 6 y el bloque lineal situado en la calle Jalón nº 42.

Ensayos de permeabilidad al aire de la envolvente

Se han realizado en dos viviendas de plantas intermedias del edificio en torre objeto de estudio. Para ello, se ha despresurizado su interior hasta 50 Pa con ayuda del equipo conocido como *blower door*, instalado en la puerta de entrada de esas viviendas, y siguiendo lo indicado en la norma UNE EN-13829. En ambos casos, las ventanas originales fueron sustituidas por otras con carpinterías de aluminio correderas.

Generación de los modelos energéticos

Se han generado dos modelos energéticos: uno para torre en altura y otro para bloque lineal. Estos dos modelos se consideran representativos de los restantes bloques residenciales de su misma tipología. Para la generación de

los modelos de los bloques, y su posterior simulación energética, se ha utilizado la herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC).

Datos climáticos

Los datos climáticos de la ciudad de Sevilla han sido proporcionados por AEMET, utilizando para ello los de la estación meteorológica situada en el aeropuerto de San Pablo, a 11,6 km de la barriada. Según la zonificación climática del CTE DB-HE1, Sevilla es B4. Su clima es mediterráneo con leves rasgos continentales, con veranos secos y muy cálidos e inviernos suaves. La temperatura media anual es de 19,2 °C, una de las mayores de Europa y la más alta de las capitales peninsulares. Enero es el mes más frío, con una media de temperaturas mínimas de 5,7 °C, y julio es el mes más caluroso, con una media de temperaturas máximas diarias de 36,0 °C.

Condiciones de uso y operacionales

Se han utilizado las establecidas por el CTE DB-HE1, apéndice C, para el perfil de uso residencial.

Caracterización energética y constructiva de la envolvente

En la siguiente tabla se definen las transmitancias térmicas de los cerramientos de la torre residencial y bloque lineal. Han sido calculadas según el CTE DB-HE1, aplicando los valores de resistencia térmica y masa definidos en el *Catálogo de elementos constructivos*, documento de ayuda para la utilización del CTE.

Transmitancias térmicas de los cerramientos de la torre y del bloque lineal								
	Cubierta	Fachadas			Suelo con terreno	Huecos	Particiones entre viviendas	
		Bloque Lineal	Torre	Terrazas			Verticales	Horizontales
U (W/m² K)	1,40	1,39	1,31	2,45	1,66	5,7	2,35	2,24

Propuestas de rehabilitación energética de los bloques

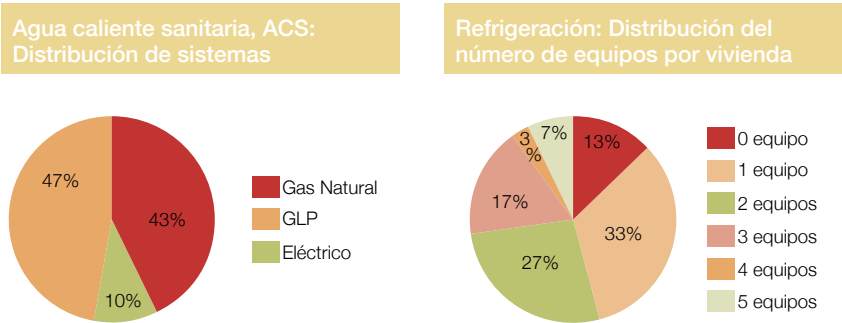
Para ambas tipologías de bloques, se han establecido 9 propuestas de rehabilitación energética que se reflejan en la siguiente tabla.

Propuestas de rehabilitación energética			
Propuesta	Fachada	Cubierta	Huecos
01	PUR inyectado en cámara con 5 cm de espesor	Paneles Sikatherm PIR GT E de 4 cm de espesor	vidrios 4-6-6 y 4-6-9 orientados al norte, y carpinterías de aluminio con rotura de puente térmico
02			vidrios 4-6-6 y 4-6-9 orientados al norte, y carpinterías de aluminio
03			vidrios bajo emisivos 4-6-6 y 4-6-9 orientados al norte, y carpinterías de aluminio con rotura de puente térmico
04	PUR inyectado en cámara con 5 cm de espesor	Paneles Sikatherm PIR GT E de 6 cm de espesor	vidrios 4-6-6 y 4-6-9 orientados al norte, y carpinterías de aluminio con rotura de puente térmico
05			vidrios bajo emisivos 4-6-6 y 4-6-9 orientados al norte, y carpinterías de aluminio
06			vidrios bajo emisivos 4-6-6 y 4-6-9 orientados al norte, y carpinterías de aluminio
07	PUR inyectado en cámara con 5 cm de espesor	Paneles Sikatherm PIR GT E de 8 cm de espesor	vidrios 4-6-6 y 4-6-9 orientados al norte, y carpinterías de aluminio con rotura de puente térmico
08			vidrios bajo emisivos 4-6-6 y 4-6-9 orientados al norte, y carpinterías de aluminio
09			vidrios bajo emisivos 4-6-6 y 4-6-9 orientados al norte, y carpinterías de aluminio con rotura de puente térmico

Resultados y su discusión

Sistemas de acondicionamiento e instalaciones para la habitabilidad y el confort en el estado actual

El análisis se ha hecho a partir de un trabajo de campo efectuado en la torre residencial objeto de estudio, por la imposibilidad de acceder al bloque lineal. Los resultados de dichos sistemas se muestran en los siguientes gráficos.



En la actualidad, los sistemas de ACS utilizados consisten en calentadores de gas natural, GLP o eléctricos. Los eléctricos son los más utilizados (47 %), seguidos de los de gas natural (43 %), siendo muy pocas viviendas las que cuentan con calentadores de GLP (10 %). Los equipos de calefacción presentes en la mayoría de las viviendas son generadores de calor locales y portátiles de tipo eléctrico (radiadores eléctricos de aceite, braseros, calefactores...). Sin embargo, algunas viviendas están dotadas, aunque en mucha menor medida, con bombas de calor de expansión directa, partidos tipo *split* y modo de funcionamiento en frío/calor.

En cuanto a la refrigeración, el 87 % (26/30) de las viviendas dispone de algún equipo, consistente en equipos de expansión directa, partidos tipo *split* o compactos tipo unidades de ventana, aunque estos últimos suponen únicamente un 5 % de todos los equipos instalados. En los casos en que existe dotación de estos equipos de refrigeración, la mayoría de ellos se sitúan solo en la sala de estar/comedor (9/26, 34,6 %) o en esta estancia y en algún dormitorio (12/26, 46,2 %), siendo solo un 19,2 % (5/26) las viviendas que únicamente disponen de estos equipos en los dormitorios. En cuanto al número de equipos de refrigeración, por regla general las viviendas disponen de uno solo (33 %) o de dos (27 %); tres equipos únicamente se dan en el 17 % de los casos, siendo minoritarias las viviendas que disponen de más de tres (10 %). La utilización de este tipo de sistemas de acondicionamiento térmico conlleva un deterioro de la imagen de las fachadas del edificio, pues todas las unidades exteriores de los equipos instalados se ubican bajo las ventanas de las estancias a las que sirven.

Permeabilidad al aire de la envolvente y ventilación en el estado actual

Los resultados de los ensayos de permeabilidad al aire realizados en dos de las viviendas del edificio objeto de estudio dan valores de tipo medio, según las categorías establecidas en la normativa EN-ISO 137900. A partir de los valores obtenidos de los parámetros V_{50} y n_{50} , se ha realizado una estimación aproximada de la tasa de renovación media en condiciones estándares que se indica en la siguiente tabla.

Parámetros de permeabilidad al aire		
	Caso 1 (4º A)	Caso 2 (5º B)
Tasa de infiltración a 50 Pa: V_{50} (m³/h)	1298	1196
Tasa de renovación a 50 Pa: n_{50} (h⁻¹)	7,1	5,7
Estimación de la tasa de renovación media en condiciones estándares (h⁻¹)	0,36	0,29

Los resultados de la tasa de renovación de aire a 50 Pa (n_{50}), no regulados en nuestro país actualmente, están en el orden de magnitud de los obtenidos en mediciones realizadas con *blower door* en edificios de viviendas de diferentes países del sur de Europa (España, Portugal, Italia y Grecia). No obstante, son sensiblemente mayores que los límites máximos establecidos para este mismo parámetro por diferentes normativas de países del centro y norte de Europa, entre 3 y 4,5 h⁻¹, lo cual se corresponde con las habituales mayores exigencias en la limitación de la demanda energética en regiones frías, dada la repercusión de la permeabilidad al aire en esa demanda.

Todas las estancias de las viviendas, incluyendo baños y cocinas, cuentan con ventilación natural, con una ventana exterior practicable en cada una de ellas. Además, al ser las carpinterías exteriores mayoritariamente no clasificadas según UNE EN 12207:2000, se considera que las juntas de apertura de estas son aberturas de admisión.

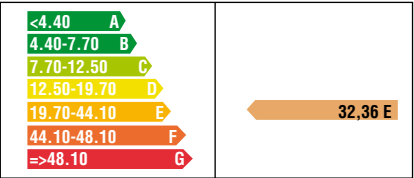
Sin embargo, ni en los baños ni en las cocinas se dispone de aberturas de extracción. Únicamente la cocina de cada vivienda dispone de un sistema adicional específico de extracción mecánica para los vapores y los contaminantes de la cocción, con las bocas de expulsión directamente situadas en la fachada del edificio.

Atendiendo a estas condiciones, la ventilación de las viviendas de las torres residenciales no cumpliría los requisitos mínimos exigibles de la normativa actual sobre calidad de aire interior (CTE DB-HS3). El incumplimiento de esta normativa viene derivado, principalmente, de no disponer de un sistema general de ventilación híbrida o mecánica y de la imposibilidad de circulación del aire desde los locales secos a los húmedos, debido a la inexistencia de aberturas de paso en dormitorios y salón y de extracción en baños y cocinas.

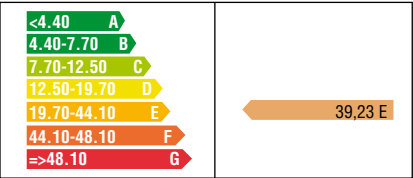
Resultados del análisis energético de los bloques residenciales en el estado actual

La calificación energética obtenida, tanto en el modelo de torre en altura como en el modelo de bloque lineal, es la correspondiente a la letra E, como se observa en la siguiente tabla. En el modelo de torre en altura se han obtenido unas emisiones globales de 32,36 kgCO₂/m²año, mientras que en el modelo de bloque lineal estas emisiones globales ascienden a 39,23 kgCO₂/m²año. Por lo tanto, las torres residenciales obtienen mejores resultados energéticos que los bloques lineales (un 17,5 % menos de emisiones globales anuales), aunque ambas estén calificadas como E.

Modelo torre en altura



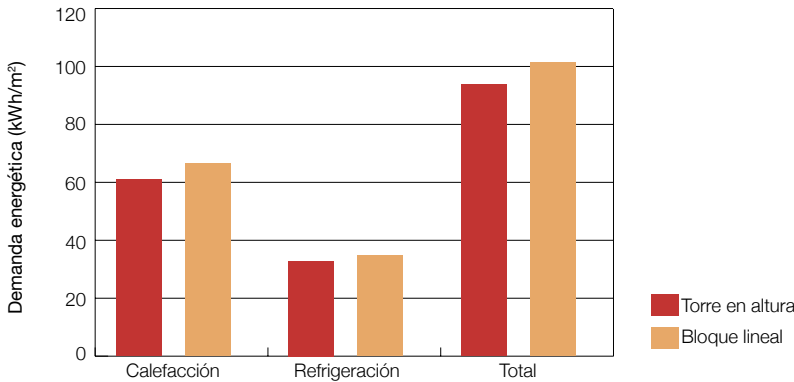
Modelo bloque lineal



Calificación energética y emisiones de dióxido de carbono anuales (kgCO₂/m²)

En cualquier caso, hemos de tener en cuenta que ambas calificaciones energéticas son aceptables en comparación con las obtenidas en otras edificaciones de uso residencial de la misma época de construcción que El Carmen.

En los valores de demanda energética total obtenida en cada uno de los modelos de bloques residenciales podemos apreciar, igualmente, que las torres en altura obtienen mejores resultados. En el modelo de torre residencial se obtiene una demanda energética total de 93,8 kWh/m², mientras que en el modelo de bloque lineal este valor asciende a 101,3 kWh/m², por tanto, un 8 % superior, como se ve en el siguiente gráfico.



Demandas energéticas

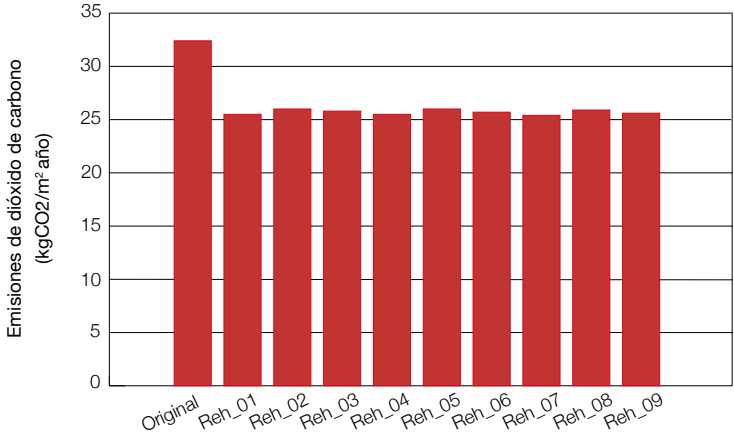
En ningún caso se cumple con la limitación de la demanda de calefacción exigida por el CTE DB-HE1 2017, que para la zona climática B4 es de 15 kWh/m², llegando a alcanzar valores que cuadruplican este límite. Sensiblemente menor es el exceso de la demanda de refrigeración sobre el valor límite normativo para esa zona climática, el cual se fija en 20 kWh/m²: un 64 % superior en la torre en altura y un 74 % en el bloque lineal, aproximadamente.

Resultados de las propuestas de rehabilitación energética de los bloques

En primer lugar, se realiza una comparación de la calificación energética y emisiones de dióxido de carbono que supondría cada una de las nueve propuestas de rehabilitación enumeradas para los bloques de torres en altura. Como

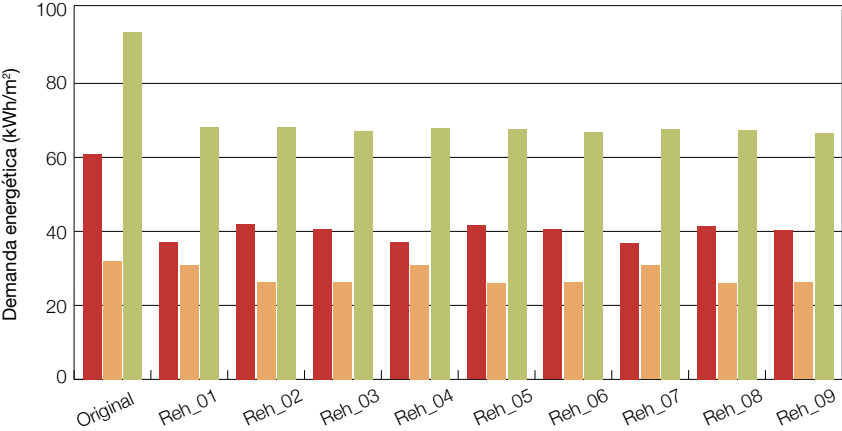
se puede observar en el siguiente gráfico, con ninguna de las propuestas de mejora se consigue una reducción de la letra E. Sin embargo, sí se reducen considerablemente las emisiones de CO₂: un 21 %. Aunque todas las propuestas de rehabilitación aportan resultados similares, es la propuesta 07 la que consigue una mayor reducción.

Calificación energética y emisiones de CO₂ del modelo de torre según las propuestas de rehabilitación



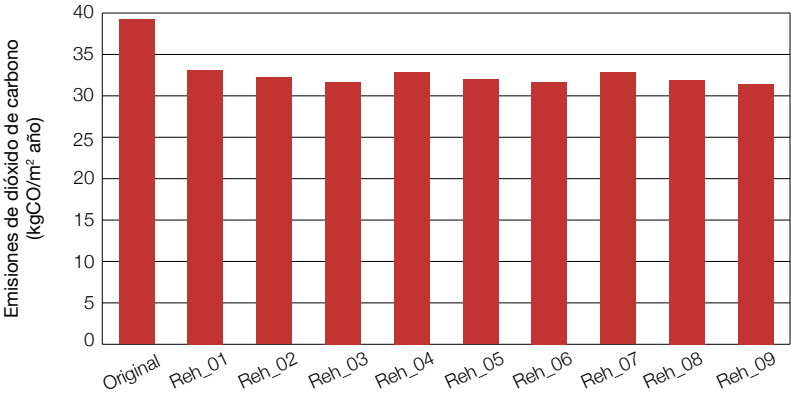
Si analizamos las demandas energéticas en esos bloques de torres, representadas en el siguiente gráfico, se puede observar que todas las propuestas de rehabilitación aportan resultados similares en cuanto a las demandas totales, consiguiendo una reducción en torno al 27%. Sin embargo, si analizamos independientemente la demanda de calefacción y la de refrigeración, sí podemos apreciar diferenciación entre todas las propuestas de mejora. Para la demanda de calefacción, ofrecen mejores resultados las propuestas 01, 04 y

Demandas energéticas del modelo de torre según las propuestas de rehabilitación



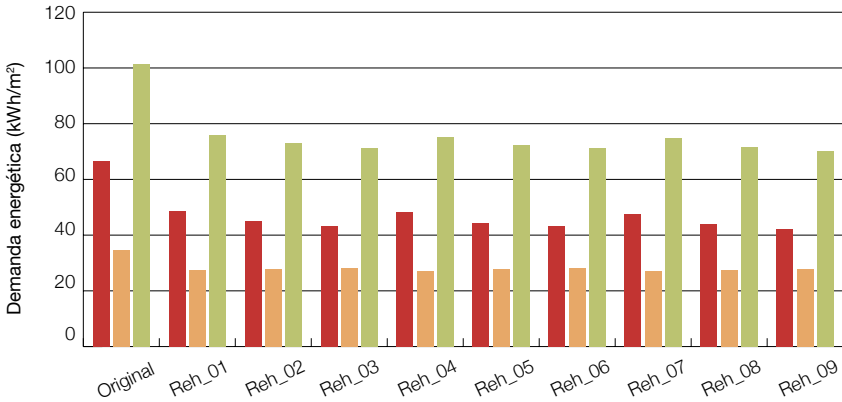
07, mientras que para la demanda de refrigeración ofrecen mejores resultados las propuestas 02, 05 y 08.

La misma operación se realiza con los bloques lineales. Igualmente, con ninguna de las propuestas de mejora se consigue una reducción de la letra E, aunque se reducen las emisiones de CO₂ en torno al 17 %. En este caso, la propuesta que consigue una mayor reducción de las emisiones de CO₂ es la propuesta 09, como vemos en el siguiente gráfico.



Calificación energética y emisiones de CO₂ del modelo bloque lineal según las propuestas de rehabilitación

En el siguiente gráfico se representan las demandas energéticas obtenidas para cada una de las propuestas de rehabilitación de esos bloques lineales. Todas ellas aportan resultados similares en cuanto a las demandas totales, consiguiendo una reducción en torno al 26 %. Sin embargo, para la demanda de calefacción ofrecen mejores resultados las propuestas 03, 06 y 09, mientras que para la demanda de refrigeración son las propuestas 01, 04 y 07 las que presentan mejores resultados.



Demandas energéticas del modelo bloque lineal según las propuestas de rehabilitación

Conclusiones

Los sistemas de producción de agua caliente sanitaria (ACS) dominantes actualmente son los de tipo eléctrico o de gas natural. Los equipos de calefacción utilizados en la mayoría de las viviendas son generadores de calor locales y portátiles de tipo eléctrico, mientras que los de refrigeración son equipos de expansión directa, partidos tipo *split*.

La calificación energética obtenida en todos los modelos energéticos de bloques es la E, aceptable en comparación con otras edificaciones de uso residencial de la misma época de construcción que El Carmen, aunque insuficiente con los estándares actuales.

Existe un gran distanciamiento de los valores de la demanda energética de calefacción con los valores normativos. En ambos tipos de bloques hay un claro exceso de demanda de calefacción sobre este valor límite: alrededor de cuatro veces superior. Sin embargo, en cuanto a la demanda energética de refrigeración este distanciamiento es mucho menor: un 64 % en la torre en altura y un 74 % en el bloque lineal, aproximadamente.

Todas las propuestas de rehabilitación analizadas de los bloques lineales y en torre ofrecen resultados muy similares, consiguiendo una reducción de las emisiones de CO₂ del 17 y 21 % anuales y de la demanda energética global del 26 y 27 % anuales, respectivamente.

Bibliografía

Agencia Andaluza de la Energía. Consejería de Hacienda, Industria y Energía. Zonificación climática de Andalucía por municipios para su uso en el Código Técnico de la Edificación, en su sección de Ahorro de energía, apartado de Limitación de demanda energética (CTE-HE1). Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-01-documentos-reconocidos-cte/menu-registro-general-documentos-reconocidos-cte-dr.html> [fecha de consulta 1/11/2017].

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Ministerio para la Transición Ecológica. Disponible en: <http://www.aemet.es/es/portada> [fecha de consulta 19/03/2018].

Ministerio de Fomento. Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo (2017). *Documento descriptivo climas de referencia*. Disponible en: [https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/20170202-DOC-DB-HE-0-Climas de referencia.pdf](https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/20170202-DOC-DB-HE-0-Climas%20de%20referencia.pdf) [fecha de consulta 19/03/2018].

Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2015). *Calificación de la eficiencia energética de los edificios*.

Ministerio de la Vivienda (2010). *Catálogo de elementos constructivos del CTE*.

BOE, nº 89, 13 de abril de 2013: 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, Sec. I, pp. 27548-27562.

BOE, nº 219, 12 de septiembre de 2013: Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de energía», del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, pp. 67137-67209.

BOE, nº 149, 23 de junio de 2017: Orden FOM/588/2017, de 15 de junio, por la que se modifican el Documento Básico DB-HE «Ahorro de energía» y el Documento Básico DB-HS «Salubridad», del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, pp. 51621-51626.

