



# Energy study of the envelope in metal contenedors 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](mailto:perezaranda89@gmail.com)

**JULIÁN ARCO DÍAZ**

Doctor del Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería. Universidad de Granada. [juliann@ugr.es](mailto:juliann@ugr.es)

**DAVID HIDALGO GARCÍA**

Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica y en la Ingeniería. Universidad de Granada. [dhidalgo@ugr.es](mailto: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 contenedors 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 contenedor 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 contenedor 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 contenedor 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; contenedors; 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, que protegen las mercancías de la climatología. 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]. En 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, (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 contenedor 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 contenedor 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 contenedors. L. Garrido.

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

1. Vivienda Filthex. En el año 1995, el estudio *MMW architects* diseñó y construyó una vivienda mediante contenedor 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. (Fig.2).
5. Contenedor 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 m<sup>2</sup>. 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 contenedors. 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 CO<sub>2</sub> 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 construcciones 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 (CO<sub>2</sub>) 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. Ésta se consigue mediante la colocación de un aislamiento térmico y la instalación de un sistema de climatización radiante que permita la obtención de 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.



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

## 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 consiste 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/m<sup>2</sup> 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:

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

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

El cálculo de los elementos y sistemas constructivos para comprobar el cumplimiento de la normativa se ha realizado mediante herramientas informáticas apoyando su desarrollo en base a cálculos teóricos. Estas herramientas han sido: Cype (versión Campus 2018) y Lider-Calener (versión 1.0.1564.1124, de 3 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 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-HE1 (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.

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

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

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, kWh/(m<sup>2</sup>/año) (letra G).

La calificación energética global en emisiones es de 104,58 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> año (letra G). Por último, la calificación parcial de la demanda energética de calefacción y refrigeración es de 380,63, kWh/(m<sup>2</sup>/año) (letra G) y 39,24, kWh/(m<sup>2</sup>/año) (letra F) respectivamente.

- Hipótesis 2: Contenedor original con aislamiento por el interior.

Con esta hipótesis (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 temperatura podrían ser consideradas aptas para la habitabilidad en el interior del recinto.

Hipótesis 1 - Container Original						
Demanda	Demanda Calefacción	existente	380,63		kWh/(m <sup>2</sup> /año)	
		límite	48,70			
	Demanda Refrigeración	existente	39,24			
		Límite	15,00			
Potencia	Potencia Total/superficie	calefacción	621,40		W/m <sup>2</sup>	
		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 <sup>2</sup>		
	refrigeración	88,00				
Potencia típica	calefacción	74,59		W/m <sup>2</sup>		
	refrigeración	51,97				
Demanda Típica	Demanda típica por día activo	calefacción	1,57		kWh/m <sup>2</sup>	
		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.

Debe 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.

$D_{cal} \text{ edificio} = 39,24 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{año}) < 55,80 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{año})$ .

$D_{ref} \text{ edificio} = 11,61 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{año}) < 15,00 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{año})$ .

Hipótesis 2 - Contenedor con aislamiento por el interior						
Demanda	Demanda Calefacción	Existente	39,24		kWh/(m <sup>2</sup> /año)	
		Límite	51,80			
	Demanda Refrigeración	Existente	11,61			
		Límite	15,00			
Potencia	Potencia Total/superficie	Calefacción	63,80		W/m <sup>2</sup>	
		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 <sup>2</sup>		
	Refrigeración	26,00				
Potencia típica	Calefacción	16,21		W/m <sup>2</sup>		
	Refrigeración	18,46				
Demanda Típica	Demanda típica por día activo	Calefacción	0,19		kWh/m <sup>2</sup>	
		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.

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 kWh/(m<sup>2</sup>/año) (letra B). La calificación energética global en emisiones es de 12,48 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> año (letra B).

Por último, la calificación parcial de la demanda energética de calefacción y refrigeración es de 39,24, kWh/(m<sup>2</sup>/año) (letra C) y 11,61, kWh/(m<sup>2</sup>/año) (letra B).

- Hipótesis 3: Contenedor original con aislamiento por el exterior.

Con esta hipótesis, (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.

Hipótesis 3 - Contenedor con aislamiento por el exterior						
Demanda	Demanda Calefacción	existente	42,23		kWh/ (m <sup>2</sup> / año)	
		límite	55,80			
	Demanda Refrigeración	existente	11,39			
		límite	15,00			
Potencia	Potencia Total/ superficie	calefacción	65,90		W/m <sup>2</sup>	
		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 <sup>2</sup>	
		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	Tº Interior	máxima	29,00		ºC	
		mínima	14,50			
		amplitud	14,50			
	Tº Exterior	máxima	30			
		mínima	3,00			
		amplitud	27,00			

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

Las 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.

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

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

En base a los datos obtenidos y según el CTE-DB-HE0 y HE1, el container presenta una calificación energética global de energía primaria no renovable de 53,62 kWh/(m<sup>2</sup>/año) (letra B).

La calificación energética global en emisiones es de 14,95 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> año, (letra C). Por último, la calificación parcial de la demanda energética de calefacción y refrigeración es de 42,23, kWh/(m<sup>2</sup>/año) (letra C) y 11,39, kWh/(m<sup>2</sup>/año) (letra B).

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].

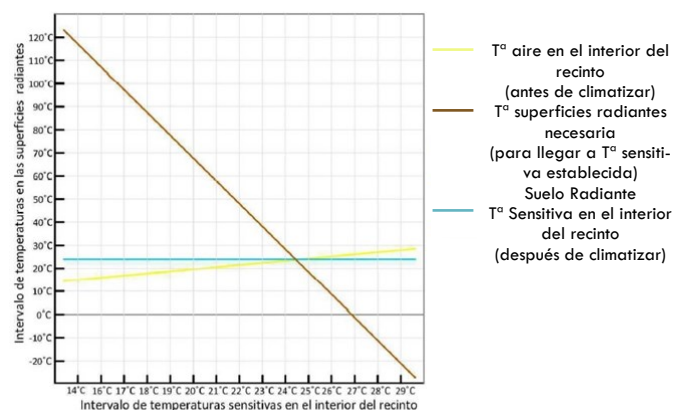


Figura 4: Gráfica de temperaturas radiantes en hipótesis 1. Fuente: Elaboración propia

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

Superficies	dim. A (m)	dim. B (m)	Unidades Paramento	Hueco (A x B) (m)		Uds Hueco	Total Superficie (m <sup>2</sup> )	Superficies Radiantes (m <sup>2</sup> )	Superficies no Radiantes (m <sup>2</sup> )	Superficies Ventanas (m <sup>2</sup> )
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 <sup>a</sup> en el recinto	T <sup>a</sup> Sensitiva deseada (°C)		T <sup>a</sup> Aire Interior (°C)			T <sup>a</sup> Superficies no radiantes (°C)		T <sup>a</sup> Huecos (Cristal) (°C)		T <sup>a</sup> 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)	Unidades Paramento	hueco (A x B) (m)		Uds Hueco	Total Superficie (m <sup>2</sup> )	Superficies Radiantes (m <sup>2</sup> )	Superficies no Radiantes (m <sup>2</sup> )	Superficies Ventanas (m <sup>2</sup> )
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 <sup>a</sup> en el recinto	T <sup>a</sup> Sensitiva deseada (°C)		T <sup>a</sup> Aire Interior (°C)		T <sup>a</sup> Superficies no radiantes (°C)		T <sup>a</sup> Huecos (Cristal) (°C)		T <sup>a</sup> Superficies radiantes (°C)	
	24		Min. 14,5	Max. 29	Min. 12	Max. 30	Min. 10	Max. 30	Dato objeto de cálculo	

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

- 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 59,71°C.

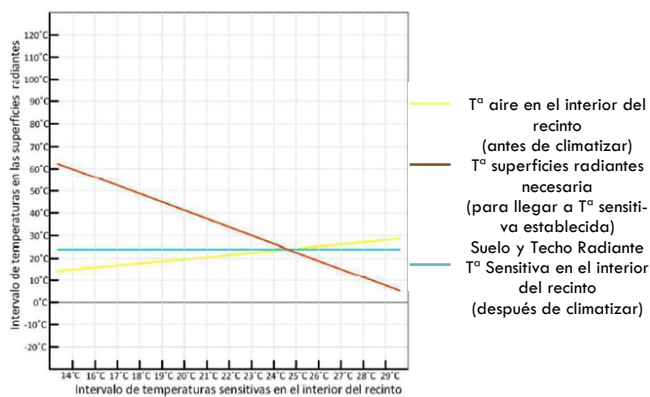


Figura 5: Gráfica de temperaturas radiantes en hipótesis 2. Fuente: Elaboración propia.

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 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.

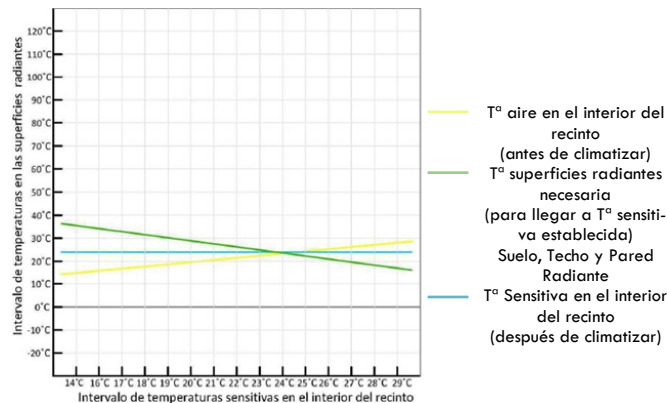


Figura 6: Gráfica de temperaturas radiantes en hipótesis 3. Fuente: Elaboración propia.

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.

Superficies	Dim. A (m)	Dim. B (m)	Uds Paramento	Hueco (A x B) (m)		Uds Hueco	Total Superficie (m <sup>2</sup> )	Superficies Radiantes (m <sup>2</sup> )	Superficies no Radiantes (m <sup>2</sup> )	Superficies Ventanas (m <sup>2</sup> )
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° en el recinto	T° Sensitiva deseada (°C)		T° Aire Interior(°C)			T° Superficies no radiantes (°C)		T° Huecos (Cristal) (°C)		T° Superficies radiantes (°C)
	24		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
			14,5	29	12	30	10	30		

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



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 éste 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.

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, (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.

Categoría	Subcategoría	Comparación		
		Mejora	Empeora	Porcentaje
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%
Potencia	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%
Actividad necesaria climatización	Reducción Nº horas activas/	Calefacción	Mejora	0,00%
		Refrigeración	Mejora	0,00%
Actividad necesaria climatización	Reducción Total horas activas	Calefacción	Mejora	0,22%
		Refrigeración	Mejora	3,99%
	Reducción Tª Interior	Máxima	Mejora	1,00 °C
		Mínima	Mejora	0,50 °C
Variación Temperaturas	Reducción Tª Exterior	Amplitud	Mejora	1,00 °C
		Máxima	No varía	
	Reducción Tª Exterior	Mínima	No varía	
		Amplitud	No varía	

Tabla comparativa 9 - Hipótesis 3 con respecto a 2 (soluciones constructivas sobre contenedor)

Dato		1. Container Original		2. Container con aislamiento interior				3. Container con aislamiento exterior				
Demanda	Margen hasta el límite de cumplimiento	Calefacción	-331,93	KWh/(m2/año)	12,56	KWh/(m2/año)	Mejora	103,78%	13,57	KWh/(m2/año)	Mejora	104,09%
		Refrigeración	-24,24		3,39		Mejora	113,99%	3,61		Mejora	114,89%
	Reducción de potencia Total/superficie	Calefacción	0	W/m2	557,60	W/m2	Mejora	87,73%	555,50	W/m2	Mejora	89,39%
		Refrigeración	0		181,20		Mejora	85,96%	183,10		Mejora	86,86%
	Reducción de potencia Total	Calefacción	0	W	19683,00	W	Mejora	90,76%	19841,00	W	Mejora	91,49%
		Refrigeración	0		6427,00		Mejora	87,38%	6581,00		Mejora	89,47%
Potencia	Reducción de potencia pico/mes	Calefacción	0	Kwh/mes	2212,90	Kwh/mes	Mejora	88,17%	2224,90	Kwh/mes	Mejora	88,64%
		Refrigeración	0		322,90		Mejora	71,22%	337,90		Mejora	74,53%
	Reducción de potencia pico/día	Calefacción	0	W/m2	96,00	W/m2	Mejora	68,57%	93,00	W/m2	Mejora	66,43%
		Refrigeración	0		62,00		Mejora	70,45%	62,00		Mejora	70,45%
	Potencia típica	Calefacción	0,00	W/m2	58,38	W/m2	Mejora	78,27%	57,24	W/m2	Mejora	76,74%
		Refrigeración	0,00		0,00		33,51	0,00	Mejora		64,48%	32,86
Actividad necesaria climatización	Reducción Nº días activos	Calefacción	0	Días	38,00	Días	Mejora	15,64%	39,00	Días	Mejora	16,05%
		Refrigeración	0		30,00		Mejora	25,64%	34,00		Mejora	29,06%
	Reducción Nº horas activas/actividad	Calefacción	0	Horas	10,00	Horas	Mejora	47,62%	10,00	Horas	Mejora	47,62%
		Refrigeración	0		-1,00		Empeora	-16,67%	-1,00		Empeora	-16,67%
	Reducción Total horas activas	Calefacción	0	Horas	2848,00	Horas	Mejora	55,81%	2859,00	Horas	Mejora	56,03%
		Refrigeración	0		93,00		Mejora	13,25%	121,00		Mejora	17,24%
Variación Temperaturas	Reducción Tª Interior	Máxima	0	°C	9,00	°C	Mejora	9,00 °C	10,00	°C	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	°C	0,00	°C	No varía	0,00	0,00	°C	No varía	
		Mínima	0		0,00		No varía	0,00	0,00		No varía	
		Amplitud	0		0,00		No varía	0,00	0,00		No varía	

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

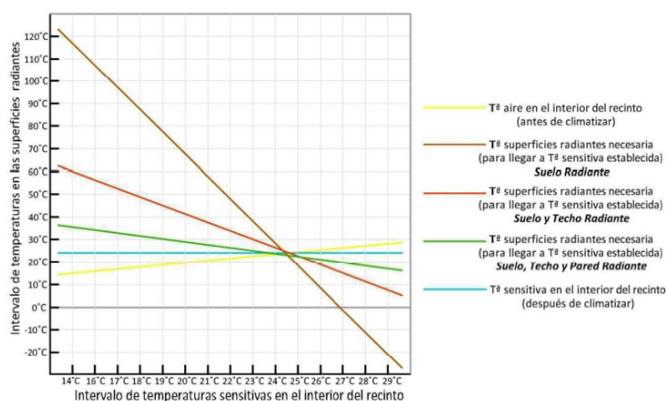


Figura 7: Gráfica comparativa de temperaturas radiantes en hipótesis del sistema de climatización. Fuente: Elaboración propia.

Según precios de mercado, la solución constructiva de la hipótesis 2 tendría un coste económico de 61,54 €/m<sup>2</sup>. 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 €/m<sup>2</sup>, 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, cabe 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 3. En relación a las emisiones de dióxido de carbono, la hipótesis 2 obtendría una valoración C mientras que la hipótesis 3 una valoración 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 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, indicamos 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 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.

Dato		1. Contenedor Original		2. Contenedor con aislamiento interior		3. Contenedor con aislamiento Exterior			
Demanda	calefacción	-331,93	kWh/(m2 /año)	12,56	kWh/(m2 /año)	Mejora 103,78%	13,57	kWh/(m2 /año)	Mejora 104,09%
	refrigeración	-24,24		3,39		Mejora 113,99%			3,61
	aislamiento	2565		5263		Incremento 205%	10227		Incremento 398,71%
Coste intervención	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	Reduccion
Plazo amortización				4 años			11 años		
Calificación energética	Energía primaria	G		B		Reducción 87,40%	B		Reducción 85,75%
	Emisiones Co2	G		C		Reducción 85,75%	B		Reducción 88,06%

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

Ésta tendría un coste económico de implantación de 21.019 €, lo que supone 7.050 € menos que la solución considerada como ideal.

No obstante, Ésta 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 CO<sub>2</sub>.

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.

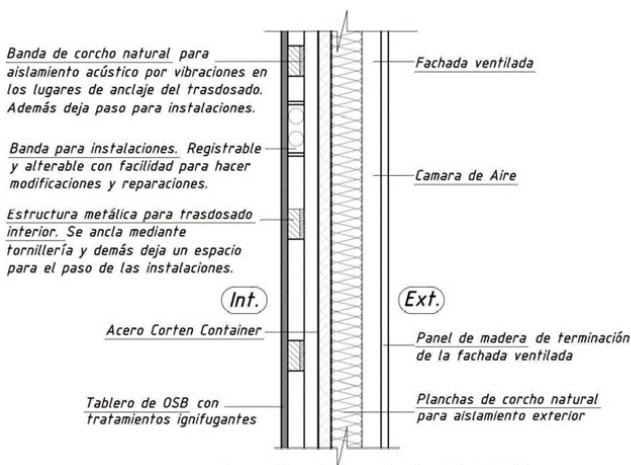


Figura 8: Detalle constructivo de aislamiento por cara exterior según solución adoptada. Fuente: Elaboración propia.

El coste de adaptación global de un container para uso residencial con las soluciones establecidas sobre su envolvente rondaría un importe de 41.200 €. Teniendo en cuenta que el container dispone de una superficie construida de 27,75 m<sup>2</sup>, se determina una repercusión de 1.484,06 €/m<sup>2</sup> 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 €/m<sup>2</sup>.

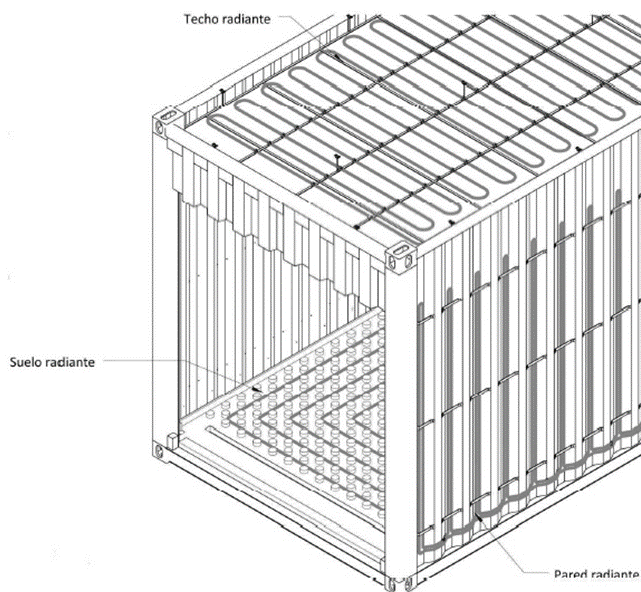


Figura 9: Detalle constructivo de climatización radiante en todos los paramentos según solución adoptada. Fuente: Elaboración propia.

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 m<sup>2</sup>, es decir, mientras mayor sea el número de contenedores del proyecto, más barato será el precio del m<sup>2</sup> 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 CO<sub>2</sub> a la atmosfera debidas al proceso de construcción y ayuda a la reutilización de un elemento que puede haber terminado su vida útil [28].

#### 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.

A pesar de todo, y en base a los resultados obtenidos en la 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 container 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 CO<sub>2</sub> vertidas a la atmosfera 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 m<sup>2</sup> de la solución planteada se encuentra por debajo de la habitual en viviendas tradicionales.

Por todo ello, se puede concluir que la utilización de container 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 contenedors. Volumen 1". Editorial Monsa, Barcelona, 2011.

[2] L. Garrido, "Sustainable architecture contenedors. 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, "Contenedor 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. Contenhous, 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=1](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27140/Global_Status_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=1)

[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-Lería, 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](mailto: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.