

Análisis de consumos energéticos de aislantes tradicionales y materiales de cambio de fase aplicados a contenedores marítimos para despliegues militares

Energy consumption analysis of traditional insulators and phase change materials applied to maritime containers for military deployments

Elena Arce-Fariña¹, Lara Febrero-Garrido¹, Francisco Troncoso-Pastoriza², Andrés Suárez-García¹ y Gloria Mora-Liroa¹

¹ Escuela Naval Militar de Pontevedra (España)

² Universidad de Vigo (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/9234>

Una gran parte de los contenedores marinos, se reutilizan en aplicaciones no ligadas al ámbito del transporte [1]. Debido a su bajo peso, su rápido montaje, su bajo coste o su alta versatilidad, actualmente se emplean en una gran variedad de aplicaciones, desde el acondicionamiento como vivienda tras desastres naturales, hasta operaciones militares. En la actualidad, existe un gran mercado que explota estas técnicas de construcción y, con ellas, se ofrecen soluciones que van desde viviendas unifamiliares a bloques de diferentes pisos u oficinas [2].

En el ámbito de las Fuerzas Armadas se han empleado contenedores marítimos como base para la fabricación de módulos para hospitales de campaña, almacenes de munición, sanitarios, e incluso plantas potabilizadoras. Además, la Armada puede proporcionar presencia continuada durante largos períodos en lugares muy remotos sin necesidad de apoyo externo. Este hecho ofrece una capacidad no comparable a ninguna Organización No Gubernamental (ONG) de transporte de grandes volúmenes (de ayuda humanitaria, medicamentos o infraestructuras), en tiempos relativamente cortos, a lugares donde se han producido catástrofes naturales, destrucción de áreas habitadas en tiempo de guerra, o simplemente zonas que se encuentran en estado de emergencia. La Armada es,

por tanto, una opción especialmente interesante a la hora de transportar, montar, e incluso mantener y operar instalaciones.

La mayor parte del consumo energético de un edificio proviene de mantener el confort térmico de los ocupantes en su interior [3]. Por ello, reducir las demandas de calefacción y refrigeración es clave. Se ha demostrado que la implementación de materiales con una alta masa térmica es una medida eficaz para generar edificios más eficientes energéticamente [4]. Sin embargo, cuando se trata de construcciones ligeras reubicables, como son los contenedores marítimos, emplear materiales tradicionales como bloques o piedra, no es una opción, tanto por el hecho de que aumentaría el peso de las construcciones, como por el volumen que ocupan.

Los sistemas de almacenamiento de energía térmica (Thermal Energy Storage - TES), como los materiales de cambio de fase (Phase Change Materials - PCM), pueden crear un equilibrio entre la demanda de energía diurna y nocturna, a través del almacenamiento de la energía térmica del calor latente [5]. Esto es, cuando se insertan en componentes constructivos se consigue que durante el día se almacene la energía solar que ingresa en una determinada zona térmica, permitiendo bajar la temperatura en dicho espacio; de manera inversa, durante la noche, al disminuir la temperatura y alcanzar el punto de solidificación del PCM, se libera el calor absorbido previamente, lo que permite mantener temperaturas interiores más altas.

Los PCM, debido a su alto calor de fusión, destacan frente a otros TES por su capacidad para almacenar mayores cantidades de energía en pequeños intervalos de temperatura [6]. Así, se puede afirmar

que los materiales de cambio de fase son una solución que permite mejorar la eficiencia energética y el confort térmico en edificios [7]. Además, los PCM, como sistemas pasivos de calefacción y refrigeración, pueden incorporarse en materiales de construcción de diferentes maneras: placas de yeso con parafina microencapsulada, hormigón con parafina microencapsulada, paneles de parafina, ladrillos con PCM o madera con PCM [8-10]. Esta versatilidad permite que se puedan adaptar a diferentes necesidades y características constructivas.

En base a lo anterior, en este trabajo se ha realizado un estudio de los ahorros energéticos en EnergyPlus [11] en el que se evalúan diferentes alternativas de aislamiento. Los resultados ofrecidos en este trabajo permiten establecer las bases para diversas aplicaciones futuras; por un lado, un posterior estudio que evalúe el coste y viabilidad de acondicionamiento de contenedores marítimos reutilizados como módulos de servicios; y análogamente, un estudio más extenso acerca del coste de adquisición de módulos de servicios a empresas especializadas para diferentes climatologías.

1. METODOLOGÍA

1.1. MISIONES INTERNACIONALES SELECCIONADAS

España cuenta con 2510 militares desplegados en 15 operaciones diferentes que se desarrollan por todo el mundo [12]. Los criterios principales para la selección de las misiones han sido el volumen de personal desplegado y las diferentes zonas climáticas en las que se asientan, para así poder someter a los módulos a situaciones ambientales opuestas. Estas misiones suelen extenderse en un medio-largo plazo, por lo que la utilización de módulos para el asentamiento de los campamentos resulta un medio óptimo debido a las características de los despliegues. Dentro de este gran abanico de misiones, se han seleccionado cinco de ellas: Campaña Antártica, Enhance Forward Presence - Letonia, Operación Libre Hidalgo - Líbano, EUTM - Malí y Active Fence - Turquía. En el material complementario se puede observar una descripción del objetivo, la

localización y el clima de cada una de las misiones internacionales seleccionadas.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO

Para el presente estudio, se selecciona un módulo genérico que engloba las características habituales de los contenedores marítimos comerciales más comunes. En concreto, se trata de un módulo de habitabilidad. El módulo tiene que cumplir la normativa específica de la OTAN para este tipo de construcciones, recogida en el Statement of Work [13]. La geometría del módulo se corresponde con un paralelepípedo de 6,05 m de largo por 2,90 m de ancho y 2,85 m de altura sin compartimentación interna. En una fachada cuenta con una puerta y una ventana; y en la fachada opuesta con dos ventanas de diferente tamaño. En la Tabla I se presenta un resumen de los materiales empleados en cada una de las superficies, incluyendo sus pro-

piedades y sus espesores. Las ventanas están compuestas por un cristal termopanel de 3 mm de espesor. Además, cuenta con unos perfiles de aluminio de 1 mm de espesor que recorren todo su contorno para darle más estabilidad y robustez. En la Fig. (1) se puede observar el módulo diseñado, así como la configuración de la pared del módulo original y de las nuevas configuraciones estudiadas.

1.3. AISLANTES APLICADOS

Además de estudiar el comportamiento energético del módulo original, dicho módulo se estudia con distintos aislantes y se analiza el ahorro energético que se consigue con estos materiales en cada una de las localizaciones estudiadas. En concreto, se aplican los siguientes aislantes:

- Aislante tradicional. Se ha seleccionado la lana de vidrio como el aislante

tradicional a utilizar debido a que se trata del aislante más empleado en la actualidad [14]. En la Tabla II se pueden observar sus características.

- Aislante con materiales de cambio de fase (PCM). Se analizan dos PCM diferentes. Para observar el impacto del PCM como aislante térmico, se ha seleccionado el PCM DuPont Energain [15], tras observar su viabilidad en un estudio similar [16]. El otro PCM que se empleó fue el PCM Parafina Octadecane C18 [17]. Las propiedades de ambos materiales pueden observarse en la Tabla II.

1.4. DISEÑO DEL MODELO ENERGÉTICO PARA SIMULACIÓN

Una vez realizada la elección del módulo concreto y de los materiales que van a ser estudiados, se utiliza SketchUp y el plugin de OpenStudio para el diseño geométrico inicial, completándolo poste-

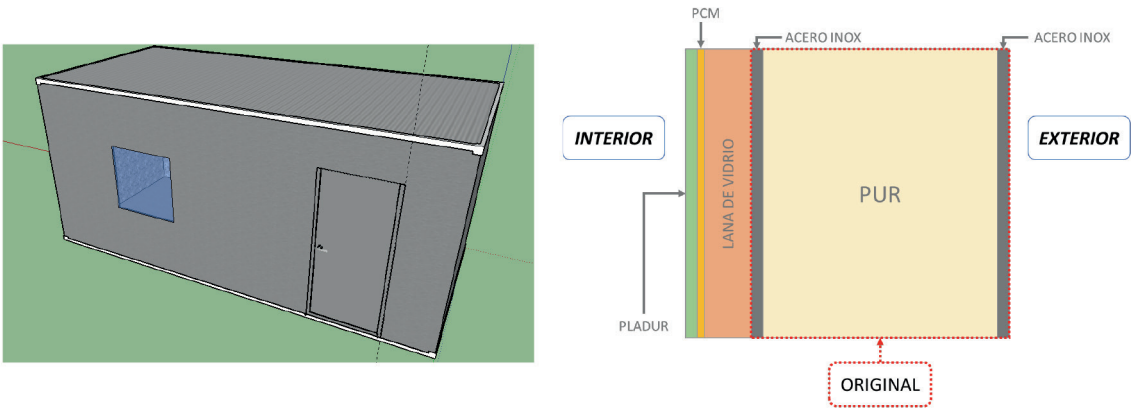


Fig. 1: Diseño constructivo del contenedor original y disposición de las capas de materiales para las distintas configuraciones

Elemento constructivo	Materiales					Espesor total [mm]
	Denominación	Conductividad [W/mK]	Densidad [kg/m³]	Calor específico [J/kgK]	Espesor de capa [mm]	
Pared	Acero inoxidable	17	7900	460	0,5	251
	Poliuretano (PUR)	0,022	32	1400	250	
	Acero inoxidable	17	7900	460	0,5	
Suelo	Poliestireno extruido	0,034	35	1540	300	300
Tejado	Acero inoxidable	17	7900	460	0,5	214
	Lana de vidrio	0,04	220	7955	63,5	
	Yeso (falso techo)	0,25	800	1000	150	
Puerta	Acero inoxidable	17	7900	460	0,5	251
	Poliestireno	0,18	1180	1500	250	
	Acero inoxidable	17	7900	460	0,5	

Tabla I: Características del módulo

	Lana de vidrio	PCM DuPont Energain	PCM Parafina Octadecane C18
Espesor [mm]	63,5	5,3	5,3
Conductividad térmica [W/mK]	0,03	0,018	0,23
Densidad [kg/m³]	50	855	814
Calor específico [J/kgK]	800	2500	1625
Temperatura de cambio de fase [°C]	-	25	28

Tabla II: Propiedades de la lana de vidrio y de los materiales de cambio de fase (PCM) aplicados

riormente con la herramienta de simulación energética EnergyPlus. Con este software se configuran los materiales y construcciones, así como las cargas térmicas internas. En el material complementario se puede observar un esquema del procedimiento de diseño del modelo energético para su simulación.

- **Materiales y construcciones.** En la Tabla I figuran los materiales de la envolvente del módulo y en la Tabla II los materiales aislantes. En EnergyPlus, los materiales de cambio de fase (PCM) se simulan utilizando el algoritmo *Conduction Finite Difference*, que discretiza la envolvente en diferentes nodos y resuelve numéricamente para cada uno de ellos las ecuaciones de transferencia de calor empleando un método de diferencias finitas.
- **Ganancias internas.** Se añaden las ganancias de energía interna del módulo; en este caso, ocupación e iluminación. Siguiendo el Decreto 141/2012 por el que se regulan las condiciones mínimas de habitabilidad de las viviendas y la cédula de habitabilidad, se establece que el módulo estará ocupado por 4 personas. Los módulos de habitabilidad, durante las misio-

nes, se utilizan para descanso del personal (dormir). Así, siguiendo las directrices marcadas en manuales de EnergyPlus y ASHRAE [18], se asignan 72 W de ganancia por persona. Además, siguiendo el régimen habitual de actividades en despliegues, se estableció que esas 4 personas se relevan cada 6 horas, dejando una hora entre relevos para realizar el aseo personal, comidas, etc. durante todo el tiempo en que se desarrolla la misión. En cuanto a la iluminación, se introducen tres fluorescentes compactos DTT de 18 W cada uno. Estas luminarias estarán encendidas durante los periodos de relevo, es decir, una hora completa cada 6.

- **Infiltraciones y ventilación.** Otros dos factores influyentes a nivel energético son las infiltraciones que se producen por las distintas juntas del módulo y la ventilación diaria que se realiza con la intención de renovar el aire interior. Las juntas que unen las distintas partes del módulo, hacen que tenga un nivel de infiltraciones superior al que habitualmente tendría una vivienda. El cálculo de infiltraciones se realiza tomando como referencia lo indicado en el Código Técnico de la Edificación

(CTE) [19], teniendo en cuenta el volumen, el área de fachadas, el área de cubiertas y el área de puertas y ventanas. Para la ventilación se sigue la normativa del Documento Básico de Salubridad (DBHS) del CTE [20], en la que se especifica un caudal mínimo de ventilación constante de 4 l/s para dormitorios.

- **Temperaturas interiores.** El objetivo de la simulación es conocer las demandas energéticas, por lo que únicamente se indica el rango de temperaturas que se desea tener en el interior del módulo (entre 18°C y 25°C). Este rango de temperaturas es el establecido en la normativa de la OTAN [23].
- **Datos meteorológicos.** Para la realización de la simulación en las zonas geográficas de los distintos despliegues se deben introducir los archivos meteorológicos correspondientes a cada emplazamiento en formato EnergyPlus Weather (EPW). Estos archivos recogen un registro de datos tomados in situ durante largos periodos de tiempo de temperatura, humedad relativa, precipitaciones, velocidad y dirección del viento y radiación solar entre otras variables [31].
- **Periodo de simulación.** Se simula cada uno de los escenarios durante un año completo para disponer de información suficiente para realizar un análisis consistente de los resultados. El timestep de la simulación fue fijado en 1 minuto.

2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS SIMULACIONES

Para llevar a cabo el análisis, se simularon durante un año completo cuatro modelos diferentes en cinco emplazamientos distintos, realizándose, por lo tanto, 20 simulaciones que a continuación son analizadas.

2.1. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL MÓDULO ORIGINAL

En primer lugar, se simula energéticamente el módulo original en los distintos despliegues sin ningún tipo de aislante durante un año completo. Los mayores consumos térmicos se dan en calefacción en la Antártida, seguido de refrigeración en Malí. Debido a las bajas temperaturas que se registran en la Antártida, la temperatura en el interior del módulo se mantiene constante en 18°C, que es la temperatura establecida como mínima. Por lo tanto, será necesario un aporte energético de calefacción mientras que, por el contrario, no será necesario aportar energía para enfriar el módulo.

	Módulo original		
	Calefacción [kWh]	Refrigeración [kWh]	Demanda total [kWh]
La Antártida	4448,94	0	4448,94
Letonia	2290,98	77,51	2368,49
Libano	580,36	263,17	843,53
Mali	0	2848,21	2848,21
Turquía	277,25	1301,83	1579,08
	Aislante tradicional		
	Calefacción [kWh]	Refrigeración [kWh]	Demanda total [kWh]
La Antártida	4433,83	0	4433,83
Letonia	2256	68,18	2324,18
Libano	617	195,98	812,98
Mali	0	2646,9	2646,90
Turquía	322,10	1184,10	1506,20
	PCM DuPont Energain		
	Calefacción [kWh]	Refrigeración [kWh]	Demanda total [kWh]
La Antártida	4421,28	0	4421,28
Letonia	2245,77	67,37	2313,14
Libano	612,39	193,53	805,92
Mali	0	2645,09	2645,09
Turquía	320,57	1182,23	1502,80
	PCM Parafina Octadecane C18		
	Calefacción [kWh]	Refrigeración [kWh]	Demanda total [kWh]
La Antártida	4433,09	0	4433,09
Letonia	2253,88	68,33	2322,21
Libano	618,17	196,24	814,41
Mali	0	2646,85	2646,85
Turquía	319,16	1184,82	1503,98

Tabla III: Consumos energéticos anuales para el módulo original y todas las configuraciones analizadas en los cinco emplazamientos

En Letonia se registran unas temperaturas que van desde los -17°C, en los meses de invierno, hasta los 29°C, en los meses más calurosos. Esta fluctuación de las temperaturas implica diferentes demandas térmicas (calefacción y refrigeración). En este caso, aumenta la demanda de calefacción durante los meses más fríos y, por el contrario, es nula durante los meses más calurosos. El efecto contrario se aprecia en la demanda de refrigeración. También se destaca que la demanda de calefacción es mucho mayor que de refrigeración; esto es debido a que las temperaturas invernales se alejan mucho más del límite de temperatura establecido (18°C).

En el Líbano, las temperaturas máximas entre los meses de mayo y septiembre rondan los 30°C; por el contrario, en los meses más fríos, llegan a registrar temperaturas mínimas bajo cero, aunque las máximas se mantienen en un rango de alrededor de 20°C.

Las temperaturas en Mali son más elevadas que en los otros emplazamientos, siendo las mínimas en gran parte de los meses superior al límite inferior establecido en el módulo; cabe esperar, por tanto, que la demanda de refrigeración sea alta, al contrario que ocurrirá con la demanda de calefacción.

En Turquía se da un clima de extremos, registrando mínimas de -3°C en los meses más fríos y máximas de hasta 40°C en los meses más calurosos. Además, los consumos de calefacción son nulos en los meses calurosos.

2.2. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN FUNCIÓN DEL AISLANTE EMPLEADO

Aislante tradicional

En la Tabla III se muestran los consumos anuales de energía incluyendo una capa de lana de vidrio como aislante tradicional al módulo original. El consumo se ve reducido de manera global en todos los casos, pero se observan peculiaridades en función del emplazamiento. El balance anual en Letonia y Líbano es positivo, pero no en todos los meses, produciéndose una reducción en los meses más calurosos y registrándose un aumento en los meses más fríos. En Mali se obtiene el beneficio porcentual más elevado (6,88%, ver Fig. (2)). Además, se mantiene una media anual estable. En cuanto a Turquía, se puede observar que en el módulo con aislamiento se registra un mayor consumo que el original durante los meses más fríos.

PCM Dupont Energain

En todas las simulaciones en las que

se incluyó el PCM DuPont Energain, se redujeron las necesidades energéticas ligeramente respecto al aislante tradicional (ver Tabla III y Fig. (2)). En la Antártida se consigue un menor ahorro debido a las bajas temperaturas registradas, que imposibilitan que se produzca cambio de fase en el material. En Letonia, el mayor ahorro energético se da con la demanda de refrigeración, concretamente en julio. En este mes la temperatura máxima alcanzada es de 28,8°C y se sobrepasa más habitualmente los 25°C del cambio de fase, llegándose a registrar 10 ciclos completos del material. En el Líbano, la demanda, tanto de calefacción como de refrigeración, se reduce ligeramente con respecto al aislante tradicional. En Mali, al tratarse de un clima cálido, se observa que la variación de demanda energética se registra en la energía de enfriamiento en su totalidad. Por último, en Turquía, el cómputo global de energía de calentamiento aumenta con respecto a la requerida inicialmente. No obstante, los periodos más cálidos hacen que la energía de enfriamiento compense y mejore estas pérdidas, haciendo que el cómputo global pase a ser positivo.

PCM Parafina Octadecane C18

Al incluir como aislante el PCM Parafina Octadecane C18, se consigue reducir la demanda energética respecto del módulo original (ver Tabla III y Fig. (2)). Sin embargo, los ahorros obtenidos con la Parafina Octadecane C18 son menores que con el DuPont Energain. Esto se debe a que la temperatura de cambio de fase de la Parafina Octadecane C18 que es 3°C mayor que la del DuPont Energain, lo que hace que realice menos ciclos fusión-solidificación en los climas analizados. Además, por este mismo motivo, se puede afirmar que este PCM no es tan eficiente como el DuPont Energain en la Antártida, registrando

un ahorro energético muy similar al que se da con el uso del aislante tradicional. En Letonia destaca el gran ahorro en refrigeración en el mes de julio, por la misma razón que el PCM anteriormente estudiado. Por el contrario, en el Líbano se registran mayores demandas de calefacción en el mes de abril, ya que las temperaturas de este mes nunca llegan a 28°C, temperatura de cambio de fase. No obstante, estas pérdidas son suplidas por la energía de enfriamiento favorable a lo largo de los meses más calurosos. En Mali, se observa el mismo comportamiento que los otros recubrimientos. Por último, en Turquía, la demanda energética con este material es menor en calefacción, pero mayor en refrigeración.

En lo que respecta a los materiales, se ha podido evidenciar que la adición de cualquier aislante mejora la eficiencia energética a lo largo del año. Aunque en algunos periodos se registran pérdidas energéticas, éstas siempre son amortiguadas en el cómputo global anual. En la Fig. (2) se muestra el ahorro energético anual en función de los materiales y el emplazamiento del módulo. Se hace evidente que el PCM DuPont Energain es el mejor de todos los materiales testados, ya que se obtiene un mejor rendimiento energético en todos los emplazamientos, debido a que su temperatura de cambio de fase es más baja y realiza más ciclos a lo largo de un año. El PCM Parafina Octadecane C18 tiene un rendimiento energético similar a la lana de vidrio, por lo que su implementación no tiene demasiada relevancia.

2.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN FUNCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

Los emplazamientos son los grandes responsables de las diferencias obtenidas en los rendimientos con cada uno de los

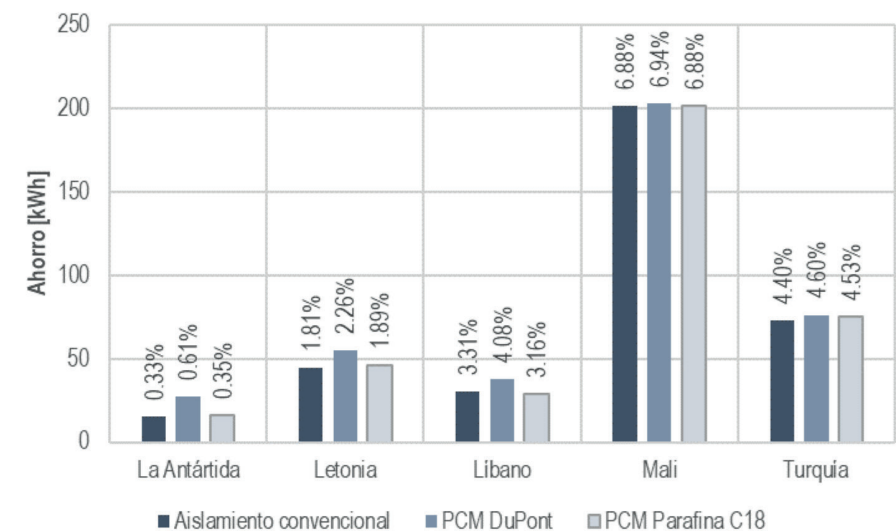


Fig. 2: Ahorro energético anual de los aislantes

materiales estudiados, ya que las distintas climatologías ofrecen unas temperaturas de trabajo a los aislamientos, que no son siempre las más favorables para estos. En la Fig. (3) se muestra la demanda energética total mensual de cada módulo en

cada una de las localizaciones junto con la temperatura media mensual de la localización estudiada. En la Antártida se evidencia que su clima extremo y único en el mundo requiere, o bien de un aislamiento con un grosor

mucho mayor, o bien otro tipo de material que trabaje adecuadamente a temperaturas muy bajas. El ahorro energético no llega al 1% con ninguno de los materiales estudiados. Aunque el clima en Letonia no es tan

extremo como en la Antártida, sí se registran temperaturas por debajo de los -15°C en los meses más fríos. Los consumos a lo largo del año son muy parecidos para todos los materiales estudiados y el ahorro anual no llega al 2,3% en ninguno de los casos, lo que demuestra que los aislamientos seleccionados no son especialmente eficientes en este tipo de clima. Además, hay que destacar que la inclusión de PCM incrementa la inercia térmica de la envolvente, lo que justifica la mayor demanda energética que se produce en el mes de julio en comparación a los resultados con aislante. Aunque una mayor inercia térmica, amortigua las fluctuaciones en la temperatura interior del contenedor, en los periodos o localizaciones donde existen grandes diferencias entre temperatura día-noche, resulta contraproducente.

En el Líbano se dan temperaturas con mínimas que bajan de los 0°C en los meses más fríos y máximas de más de 30°C en los meses calurosos. Esto fuerza a que los aislantes trabajen en un amplio abanico de temperaturas, lo que le lleva a que su eficiencia energética sea dispar a lo largo del año. En los meses más fríos se registran pérdidas, pero en los meses más calurosos, desde abril hasta septiembre, el ahorro energético es positivo. El balance ronda el 4% con todos los aislantes.



Fig. 3: Consumo de calefacción y refrigeración y temperatura media mensual [kWh]

En Mali se registra el clima más cálido estudiado, donde las mínimas no bajan de los 13°C. Es precisamente en este clima donde se registran los mejores rendimientos energéticos, sin ningún registro negativo en todo el año y con un ahorro que se sitúa cercano al 7% con todos los tipos de aislamiento estudiados. Los meses donde se aprecia un mayor ahorro (agosto, septiembre y octubre), se corresponden con aquellos en los que se registra menor diferencia entre las temperaturas máximas y las mínimas.

La climatología que se da en Turquía es muy similar a la registrada en el Líbano, aunque las medias mensuales son algo más elevadas. Se registran pérdidas energéticas en los meses más fríos (enero, febrero y marzo), pero en los meses más cálidos se solventa este problema, dejando un balance de ahorro energético positivo que se sitúa alrededor del 4,5% para todos los aislantes.

Las pérdidas que se registran en las épocas frías del año son debidas a que la temperatura de fusión de estos materiales se encuentra en 25°C para el caso del DuPont Energain y en 28°C para la Parafina Octadecane C18. Por este motivo, en climas fríos, como el que se da en la Antártida, no existe ningún efecto evidente de estos materiales, ya que nunca se alcanza la temperatura necesaria para que los materiales cambien de fase. Lo contrario ocurre en climas cálidos, como el que se registra en Mali, donde el material pasará por la temperatura de cambio de fase más veces al día, por lo que el material puede realizar con más frecuencia un aporte energético. Los climas cálidos con mínimas elevadas y pocas diferencias entre máximas y mínimas son en los que se obtienen mayores ahorros energéticos con los aislantes analizados. Finalmente, hay que tener en cuenta que los resultados obtenidos en este estudio dependen directamente de la temperatura de fusión de los PCM empleados, por tanto, éstos deberían escogerse en función de la climatología del lugar en el que se pretenden utilizar.

3. CONCLUSIONES

En este estudio se evalúa la integración de PCM en contenedores marítimos utilizados como módulos de habitabilidad en despliegues militares bajo diferentes condiciones climáticas. Para ello, se ha realizado un análisis térmico de las propuestas de diseño, analizando las demandas energéticas en puntos geográficos muy dispares entre sí.

En base a los resultados obtenidos se concluye que el PCM debe ser seleccionado para el clima específico donde se sitúa la construcción. Así, se encontraron, para los casos analizados, diferencias de más de un 7% en los ahorros energéticos estimados. La aplicación de PCM proporciona más ahorros energéticos cuanto menos masa térmica tenga la construcción, por lo que su rendimiento será mayor en construcciones livianas.

REFERENCIAS

- [1] Ulloa, C.; Arce, M.E.; Rey, G.; Miguez, J.L.; Hernández, J. "Recycling COR-TEN® Sea Containers into Service Modules for Military Applications: Thermal Analysis", *Energies* 2017, 10, 820.
- [2] Elrayies, G.M. "Thermal Performance Assessment of Shipping Container Architecture in Hot and Humid Climates", *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology* 2017, 7, 1114-1126.
- [3] Mandilaras, I.; Stamatiadou, M.; Katsourinis, D.; Zannis, G.; Founti, M. "Experimental thermal characterization of a Mediterranean residential building with PCM gypsum board walls", *Build. Environ.* 2013, 61, 93-103.
- [4] Marin, P.; Saffari, M.; de Gracia, A.; Zhu, X.; Farid, M.M.; Cabeza, L.F.; Ushak, S. "Energy savings due to the use of PCM for relocatable lightweight buildings passive heating and cooling in different weather conditions", *Energy Build.* 2016, 129, 274-283.
- [5] Cabeza, L.F.; Castellon, C.; Nogues, M.; Medrano, M.; Leppers, R.; Zubillaga, O. "Use of microencapsulated PCM in concrete walls for energy savings", *Energy Build.* 2007, 39, 113-119.
- [6] Akeiber, H.; Nejat, P.; Majid, M.Z.A.; Wahid, M.A.; Jomehzadeh, F.; Famileh, I.Z.; Calautit, J.K.; Hughes, B.R.; Zaki, S.A. "A review on phase change material (PCM) for sustainable passive cooling in building envelopes", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2016, 60, 1470-1497.
- [7] Khudhair, A.M.; Farid, M.M. "A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials", *Energy conversion and management* 2004, 45, 263-275.
- [8] Barreneche, C.; Fernández, A.I.; Niubó, M.; Chimenos, J.M.; Espiell, F.; Segarra, M.; Solé, C.; Cabeza, L.F. Development and characterization of new shape-stabilized phase change material (PCM)-Polymer including electrical arc furnace dust (EAFD), for acoustic and thermal comfort in buildings. *Energy Build.* 2013, 61, 210-214.
- [9] Cabeza, L.F.; Castell, A.; Barreneche, C.; De Gracia, A.; Fernández, A. "Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: a review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011, 15, 1675-1695.
- [10] Souayfane, F.; Fardoun, F.; Biwole, P. Phase change materials (PCM) for cooling applications in buildings: A review. *Energy Build.* 2016, 129, 396-431.
- [11] Crawley, D.B.; Lawrie, L.K.; Pedersen, C.O.; "Winkelmann, F.C. Energy plus: energy simulation program", *ASHRAE J.* 2000, 42, 49-56.
- [12] Ministerio de Defensa Misiones en el exterior. http://www.defensa.gob.es/misiones/en_exterior/ 2019, .
- [13] NATO Statement Of Work. "Containerized. Level 1. C-IED and EOD Forensic Triage Facility", 2018.
- [14] Jelle, B.P. "Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions-Properties, requirements and possibilities", *Energy Build.* 2011, 43, 2549-2563.
- [15] Fraunhofer DuPontTM Energain. http://www.cse.fraunhofer.org/hs-fs/hub/55819/file-14736951-pdf/docs/energain_flyer.pdf 2019, .
- [16] Tabares-Velasco, P.C.; Christensen, C.; Bianchi, M.; Booten, C. "Verification and validation of EnergyPlus conduction finite difference and phase change material models for opaque wall assemblies", 2012.
- [17] Pedersen, C.O. "Advanced zone simulation in EnergyPlus: incorporation of variable properties and phase change material (PCM) capability", 2007, pp.1341-1345.
- [18] ASHRAE. Guideline 14-2002, "Measurement of Energy and Demand Savings", ASHRAE: Atlanta, Georgia, 2002; .
- [19] Ministerio de Fomento, "Documento Básico HE Ahorro de energía", <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DccHE.pdf> 2018, .
- [20] Ministerio de Fomento Documento Básico HS Salubridad. https://www.afme.es/phocadownload/Codigo_Tecnico_de_la_Edificacion/DB-HS.pdf 2009, .
- [21] ASHRAE, "Handbook-Fundamentals, American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers", Atlanta, 2009;

MATERIAL SUPLEMENTARIO

https://www.revistadyna.com/documentos/pdfs/_adic/9234-1.pdf

