

DISEÑO Y ESTUDIO DE CARGAS TÉRMICAS DE UNA VIVIENDA-CONTENEDOR UTILIZANDO TRNSYS

REY GONZÁLEZ, Guillermo ⁽¹⁾; ULLOA SANDE, Carlos ⁽¹⁾

MIGUEZ TABARÉS, José Luis ⁽²⁾; CACABELOS REYES, Antón ⁽¹⁾

guillermo.rey@tud.uvigo.es

⁽¹⁾Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

⁽²⁾Universidad de Vigo, Departamento de Ingeniería Mecánica, Área de Máquinas y Motores Térmicos

RESUMEN

La vivienda tradicional está en proceso de revisión en los últimos años. En algunos países el uso de viviendas móviles, para el establecimiento de la vivienda en un lugar determinado, tiene un alto grado de implementación desde hace muchos años. En otros países se utiliza el concepto de vivienda prefabricada, instalable y trasladable.

Existe una alternativa a la vivienda tradicional que combina la reutilización con la modularidad. Esta alternativa es la adaptación de contenedores de carga de transporte marítimo para vivienda. Los contenedores marítimos se construyen cumpliendo estrictas normativas de calidad internacionales para soportar las duras condiciones de trabajo. Anualmente se retiran de la circulación 1500 millones de contenedores, que pueden ser reutilizados para otros usos a un coste muy bajo. En la actualidad existen numerosas empresas dedicadas al diseño y venta de estas viviendas-contenedor.

En el presente trabajo se presenta una propuesta de diseño de una vivienda-contenedor y su modelización utilizando el módulo TRNBUILD de TRNSYS. Se diseña una simulación para el estudio de cargas térmicas en diferentes ubicaciones utilizando el software de simulación de transitorios TRNSYS. Los resultados obtenidos para diferentes latitudes son presentados en formato gráfico.

Palabras clave: vivienda contenedor, TRNSYS, cargas térmicas, contenedor marítimo

1. Introducción

Los orígenes de los contenedores marítimos se remontan a 1937. El transportista Malcom McLean tuvo la idea de diseñar una caja metálica que contuviera toda la carga mientras esperaba pacientemente a que descargasen su camión de algodón a golpe de rastrillo. Hasta 20 años después esa idea no se materializó, siendo el principal problema de este retraso la financiación del proyecto. En los años 60 se desarrolla la primera norma ISO sobre contenedores para el transporte de mercancías: la ISO 669 de 1968 [1].

La reutilización de contenedores marítimos como estructuras para la construcción se presenta como una alternativa desde el punto de vista económico y del diseño. La transformación de una caja para transporte en un espacio habitable requiere de desarrollo técnico y social. La mayoría de los contenedores marítimos están fabricados con acero COR-TEN, que asegura una alta capacidad de carga y resistencia a la corrosión. Los contenedores marítimos son muy estables (pudiéndose apilar hasta ocho alturas) baratos, y muy abundantes. Anualmente 1500 millones de contenedores se consideran obsoletos y se retiran de la circulación [1, 2].

En el mercado existen contenedores marítimos con diversas dimensiones exteriores. Las dimensiones más comunes son 6, 9, y 12 m de longitud, 2.4, 2.55, y 2.7 m de altura, mientras que el ancho suele ser estándar de 2.4 m. Para la construcción de viviendas los contenedores más utilizados son los denominados HC (High Cube). Estos contenedores pueden tener 6 m (20 ft) de largo, denominados 20'HC, o pueden ser el doble de largos, de 12 m (40 ft), denominados 40'HC. La altura de ambos modelos es de 2.7 m y el ancho es estándar, de 2.4 m [3]. La figura 1 muestra un contenedor 40'HC de la empresa MAERSK [4], una de las mayores compañías de transporte marítimo.



Figura 1: Contenedor 40'HC de MAERSK.

En este trabajo se desarrolla el modelo térmico de una vivienda-contenedor seleccionada. Utilizando el software SketchUp 2014 [5], de diseño en 3D, se dibuja la vivienda y se importa al programa de simulación TRNSYS [6] para desarrollar el modelo. TRNSYS es un software de estructura modular, desarrollado para analizar problemas transitorios en sistemas energéticos complejos. Este programa permite al usuario desarrollar elementos de simulación llamados “Types”, o utilizar los incluidos en librerías comerciales.

Existen numerosas referencias en la literatura del uso de TRNSYS. Cabe destacar los trabajos realizados por los autores en el ámbito de la aplicación de sistemas de micro-CHP (micro combined heating and power), a viviendas móviles [7, 8].

El primer paso para analizar la vivienda contenedor es realizar un análisis de cargas, donde se calculen las demandas térmicas, tanto de frío como de calor, en diferentes ubicaciones. En este trabajo se han escogido tres ubicaciones correspondientes a distintos climas españoles. La obtención de esta información será de gran utilidad para conocer el nivel de calidad de la vivienda estudiada y los principales problemas encontrados. También permitirá conocer la demanda instantánea para poder dimensionar los equipos de calor y frío necesarios.

2. Descripción vivienda contenedor

Existen numerosas empresas en todo el mundo que adaptan contenedores a viviendas, utilizando diferentes técnicas. Hay, incluso, manuales a la venta para realizar la adaptación de la vivienda contenedor uno mismo. El mercado está en creciente tendencia y la variedad de modelos es tan grande como la imaginación del diseñador.

Para el desarrollo del presente trabajo se utiliza un modelo de vivienda-contenedor compuesta de dos contenedores 40'HC. Los dos contenedores están unidos por su lado más largo y en el mismo plano. Esta distribución da lugar a una vivienda con 12 m de largo y 4.8 m de ancho. Esta distribución se ha elegido por ser una de las más sencillas de ejecutar, y por lo tanto una de las más extendidas.

La vivienda elegida tiene las características propuestas por el vendedor de contenedores, nuevos y usados, The Container Traders. En la figura 2 se muestra una infografía de la vivienda propuesta, obtenida de la página web de la empresa [9].



Figura 2: Infografía de la vivienda-contenedor elegida.

Según The Container Traders, la composición de los cerramientos propuesta para la vivienda-contenedor es la expuesta en la tabla 1. La vivienda se asienta sobre una solera de hormigón de 20 cm de espesor.

Tabla 8: Composición de los cerramientos

	Dimensiones	Capa de acero exterior	Aislamiento de lana mineral	Contrachapado interior
Paredes	Espesor (mm)	1.6	40	34
Techo	Espesor (mm)	1.6	100	9
Suelo	Espesor (mm)	1.6	100	28
Propiedades	Conductividad térmica (W/m·K)	50	0.038	0.09

La vivienda además incluye una apertura entre los dos contenedores y cerramientos interiores, aunque esta configuración interior no es relevante debido a su pequeño tamaño. A la hora de definir el modelo se considerará la modificación de la capacidad térmica del interior para simular el tabicado interior y los muebles.

Lo que sí es muy relevante es el número de ventanas propuestas: un total de 6 ventanas. Cada una de las puertas, y los cerramientos opuestos a estas, se sustituye por una puerta acristalada. Las otras dos puertas acristaladas están en los dos laterales, centradas. Como el fabricante no indica el tipo de

acristalamiento a utilizar se decide utilizar un vidrio simple de 4 mm de espesor y coeficiente global de transferencia de calor de $5.8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. La tabla 2 muestra los tamaños de las puertas acristaladas propuestas.

Tabla 9: Tamaño de las puertas acristaladas

	Ancho (m)	Alto (m)
Puertas frontales	2.4	2.6
Puertas laterales	3.0	2.3

3. Modelado en TRNSYS

La vivienda-contenedor se dibuja en SketchUp y se importan las superficies a TRNSYS. La figura 3 muestra el modelo de la vivienda antes de importarlo a TRNSYS. Una vez importada, se configuran los parámetros relativos a la transmisión de calor.

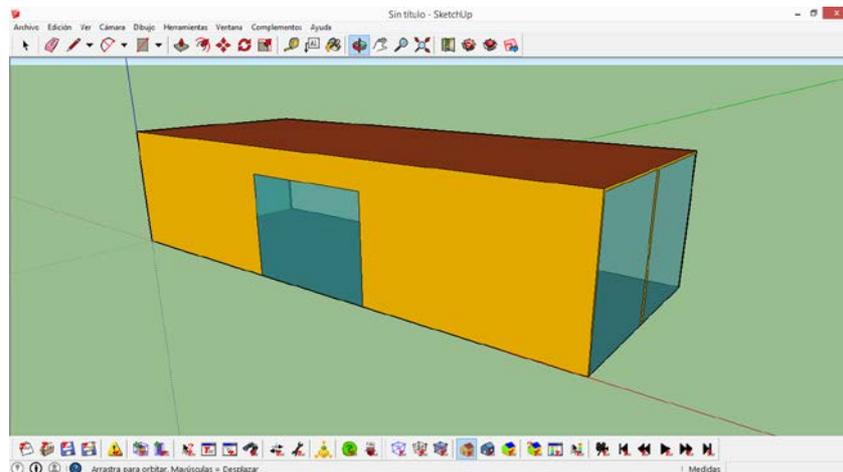


Figura 3: Modelo de contenedor en TRNSYS3D.

Se puede observar en el modelo que las superficies de las paredes se modelan planas, pese a estar formadas por chapas onduladas. Esto es debido a que el modelo en TRNSYS apenas tiene en cuenta esta ondulación, ya que no afecta a las condiciones de conducción, ni radiación (al menos en TRNSYS) y apenas incrementa un pequeño porcentaje la superficie exterior. Esta última, suposición se podría llevar a cabo actuando sobre el coeficiente convectivo, pero para esta primera aproximación no se considera necesario.

Al modelo en TRNSYS finalmente se le incorpora una renovación de aire cada hora. Se multiplica por diez la capacidad térmica del interior para simular la existencia de tabicados interiores y mobiliario. En el modelo de TRNBUILD se configura una fuente de calefacción para mantener siempre la temperatura del interior por encima de 20°C y una fuente de refrigeración para mantener la temperatura por debajo de 24°C .

Realizando una simulación anual en tres ubicaciones españolas de distintos climas se puede obtener la demanda de frío y calor en dichas ubicaciones, así como la demanda instantánea mínima y máxima que permitan dimensionar los sistemas de calefacción y aire acondicionado adecuados para la vivienda-contenedor.

4. Desarrollo y discusión de resultados

Las tres ubicaciones elegidas son las ciudades de Vigo, Madrid y Málaga, por tratarse de diferentes climas: atlántico, interior y mediterráneo, respectivamente. Se utilizan ficheros meteorológicos en formato TMY2 extraídos del software METEONORM [10], para cada ubicación. En la tabla 3 se muestran los resultados por mes de demanda de calor para la ciudad de Vigo y se representan gráficamente en la figura 4.

Tabla 10: Resultados para la ciudad de Vigo. Demanda de calor.

Mes	Potencia máxima de calor (kW)	Día de potencia máxima de calor	Hora de potencia máxima de calor	Temperatura ambiente (°C)	Demanda de calor (kWh)
1	5.41	28	9:00	2.3	1792.83
2	5.46	15	1:06	1.7	1445.45
3	4.88	9	0:06	3.2	1191.31
4	4.84	21	7:00	3.8	975.62
5	3.93	1	6:36	6.9	709.51
6	3.29	5	6:00	9.5	400.89
7	2.75	5	5:06	11.3	335.42
8	2.84	4	6:36	11.1	344.71
9	3.20	30	7:30	10.1	476.59
10	4.36	2	7:36	5.5	843.41
11	5.14	30	9:00	2.3	1425.13
12	5.27	25	7:00	0.9	1841.84

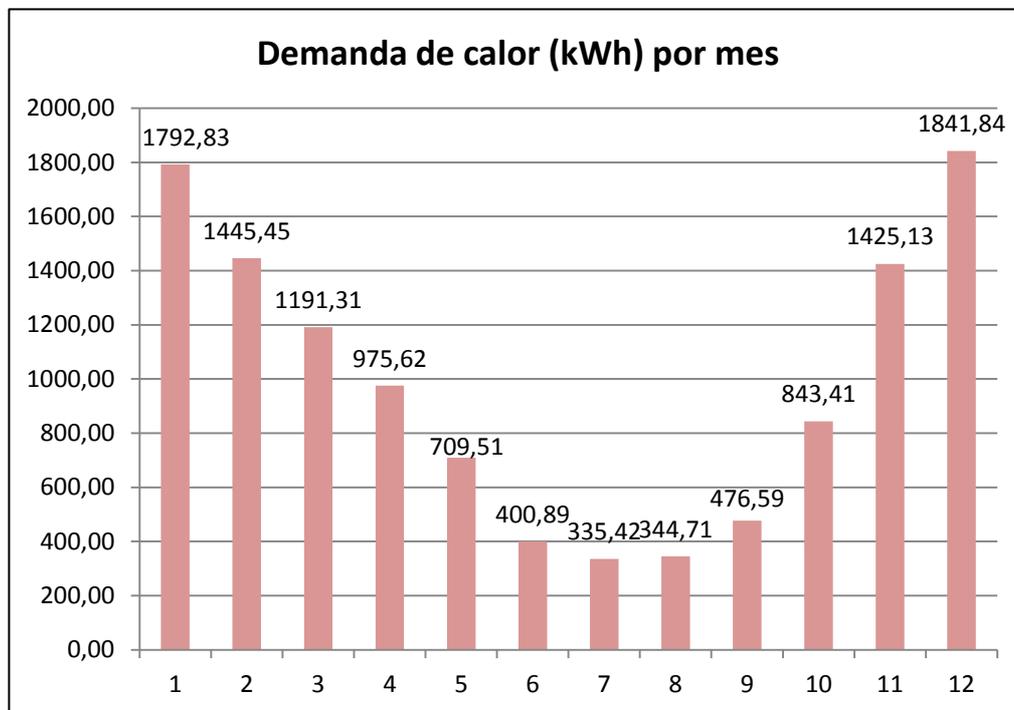


Figura 4: Demanda de calor mensual de Vigo.

En la tabla 4 se muestran los resultados por mes de demanda de frío para la ciudad de Vigo y se representan gráficamente en la figura 5.

Tabla 11: Resultados para la ciudad de Vigo. Demanda de frío.

Mes	Potencia máxima de frío (kW)	Día de potencia máxima de frío	Hora de potencia máxima de frío	Temperatura ambiente (°C)	Demanda de frío (kWh)
1	3.85	23	16:00	15.6	56.97
2	4.64	19	17:00	16.3	149.56
3	4.84	20	17:12	16.1	300.76
4	5.45	4	17:00	17.2	353.26
5	6.26	20	17:00	26.9	654.90
6	6.66	19	17:00	30.5	1010.30
7	7.85	21	17:00	33.2	1138.47
8	7.26	19	17:00	30.9	1116.02
9	6.49	3	17:00	26.3	861.79
10	5.17	18	16:00	21.0	334.60
11	3.44	16	16:00	15.7	94.70
12	3.28	8	16:00	14.9	33.23

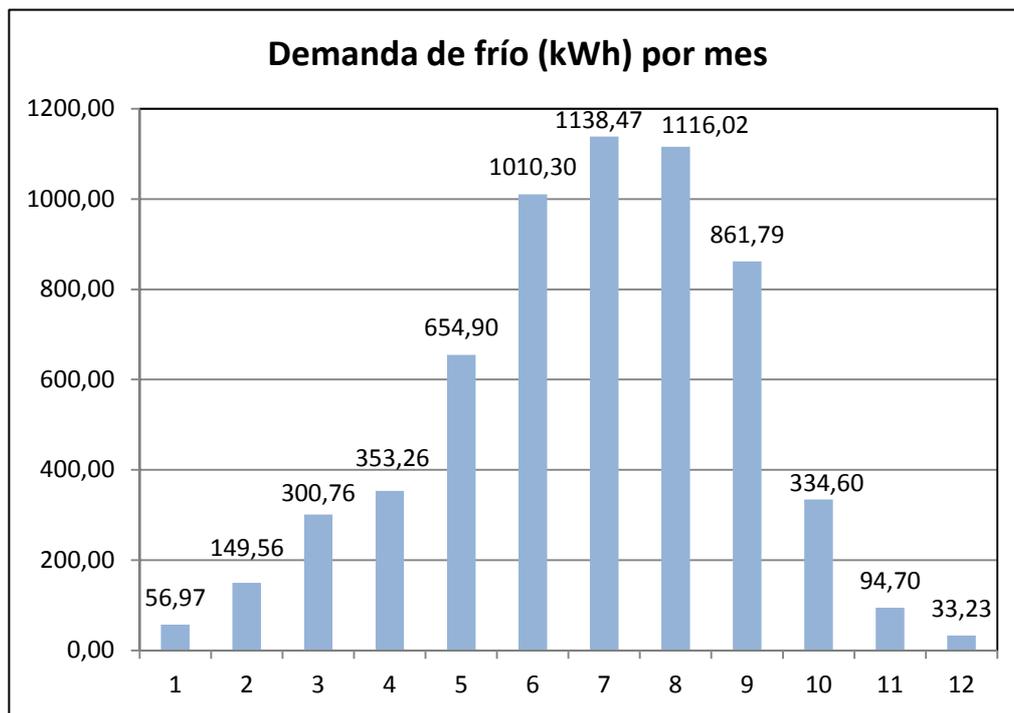


Figura 5: Demanda de frío mensual de Vigo.

A la vista de los resultados obtenidos para la ciudad de Vigo, que tiene un clima muy templado, se observa que las demandas instantaneas máximas de calor y frío son 5.46 y 7.85 kW respectivamente. Estos valores limitan las capacidades de los equipos de calor y frío propuestos para la vivienda-contenedor. En las gráficas se observan demandas de frío y de calor en meses de invierno y verano respectivamente.

Las figuras 6 y 7 muestran gráficas comparativas de las demandas de calor y frío en las tres ciudades estudiadas.

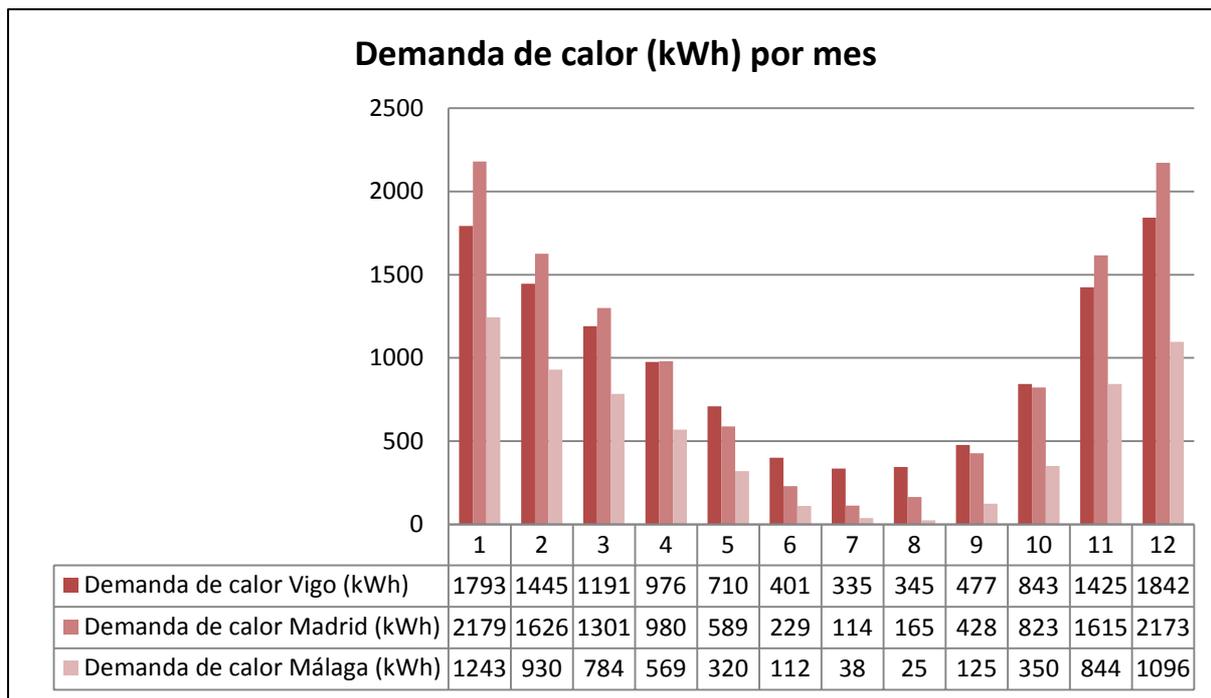


Figura 6: Comparativa demandas de calor.

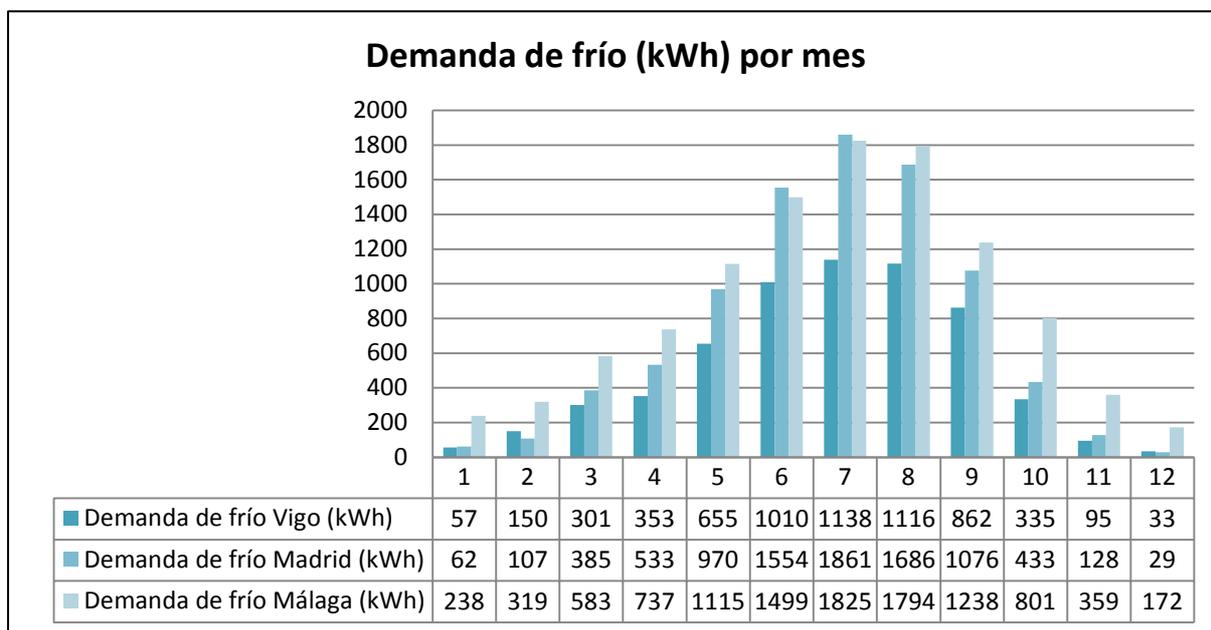


Figura 7: Comparativa demandas frío.

Los resultados de las comparativas entre las ubicaciones elegidas dan resultados lógicos. La ciudad con menores demandas de calor es Málaga, seguida de Vigo y por último Madrid. La que tiene mayores demandas de refrigeración es Málaga, aunque Madrid está por encima en algunos meses de verano. Vigo, en cambio, con un clima muy suave, tiene una demanda de frío proporcional mucho más baja.

5. Conclusiones y consideraciones finales

Todos los resultados obtenidos resultan bastante predecibles. Es cierto que las demandas son muy altas para una vivienda tan pequeña. Esto es debido, probablemente, a la baja calidad del aislamiento, así como a la gran cantidad de superficie acristalada. Otro resultado importante a tener en cuenta son las demandas de calor en verano y de frío en invierno. Estas demandas son anormales, sobre todo las de frío ya que sí que es posible que las noches de verano pueda haber bajadas de temperatura importantes (sobre todo en Vigo).

El diseño de los cerramientos de la vivienda se podría mejorar. Sin duda el punto débil de la vivienda son las zonas acristaladas que no ofrecen aislamiento suficiente. Sería necesario colocar vidrios con mayor capacidad de aislamiento. El hecho de que el 25% de la superficie de la vivienda sea acristalada supone un problema, ya que la radiación solar tiene una enorme influencia en el comportamiento térmico de la vivienda. Esta falta de protección de las zonas acristaladas se supone la principal causante de la demanda de frío en invierno, por ejemplo. Esta demanda se produce siempre en las horas centrales del día, cuando la radiación solar es más intensa. Este problema se podría atenuar utilizando toldos o pantallas en los acristalamientos, que atenuen la radiación que llega al interior. Además, esto reduciría considerablemente el consumo de frío en verano.

Como líneas futuras para la mejora del modelo se propone la inclusión de pantallas para los acristalamientos y la mejora de los aislamientos. También se considera una línea futura el estudio del comportamiento de distintos sistemas de acondicionamiento en la vivienda-contenedor.

6. Referencias

- [1] ABRASHEVA, G.; SENK, D.; HÄUßLING, R. Shipping containers for a sustainable habitat perspective. *Revue de Métallurgie*, 2012, vol. 109, pp. 381-389.
- [2] SAWYERS, P. *Intermodal shipping containers small steel buildings*. U.S.: Paul Sawyers, 2008. (CreateSpace Independent Publishing Platform)
- [3] BERNARDO, L.F.A.; OLIVEIRA, A.P.; NEPOMUCENO, M.C.S.; ANDRADE, J.M.A. Use of refurbished shipping containers for the construction of housing buildings: details for the structural project. *Journal of civil engineering and management*, 2013, vol. 19(5), pp. 628-646.
- [4] Sitio Web de MAERSK Container Industry [en línea]: <http://www.maicontainers.com/> Consultado el 15 de enero de 2014.
- [5] Sitio Web de SketchUp [en línea]: <http://www.sketchup.com/> Consultado el 15 de enero de 2014.
- [6] Sitio Web de Transient Systems Simulation (TRNSYS) [en línea]: <http://www.trnsys.com/> Consultado el 15 de enero de 2014.
- [7] ULLOA, C.; MÍGUEZ, J.L.; PORTEIRO, J.; EGUÍA, P.; CACABELOS, A. Development of a Transient Model of a Stirling-Based CHP System. *Energies*, 2013, vol 6, pp. 3115-3133
- [8] ULLOA, C.; EGUÍA, P.; MIGUEZ, J.L.; PORTEIRO, J.; POUSADA-CARBALLO, J.M.; CACABELOS, A. Feasibility of using a Stirling engine-based micro-CHP to provide heat and electricity to a recreational sailing boat in different European ports. *Applied Thermal Engineering*, 2013, vol 59, pp. 414-424
- [9] Sitio Web de The Container Traders [en línea]: <http://contraders.com/> Consultado el 15 de enero de 2014.
- [10] Sitio Web de METEONORM [en línea]: <http://meteonorm.com/> Consultado el 15 de enero de 2014.