

CAPÍTULO 6. ALTERNATIVAS DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE MEDIANTE CASAS CONTENEDOR

**¹José Antonio Hernández Torres; ¹Alberto Jesús Flores Lora;
¹José Miguel Dávila Martín; ¹Ángel Mariano Rodríguez Pérez;
¹Julio José Caparrós Mancera**

¹Universidad de Huelva, España.

1. INTRODUCCIÓN

El agua de lluvia es un recurso que históricamente ha jugado un papel muy importante en nuestro país hasta el siglo XIX (E. Pravilova et al., 2009), (J. Palerm-Viqueira et al., 2010). Cuando a principios del siglo XX se empezaron a implantar de forma masiva las canalizaciones de agua en ciudades, pueblos y aldeas, las edificaciones pluviales pasaron a un segundo plano o se reservaron casi exclusivamente para situaciones muy especiales. (C. Brouwer and M. Heibloem, 1986), (S. Khan et al., 2005), (F. E. Y. Desarrollo, 2003), (T. Yamamoto et al., 2012), (M. E. Jensen, 1980) and (I. García-Garizábal et al. 2011).

La situación socioeconómica en la que se encuentra ahora nuestro mundo, con retos como el consumo de productos de un solo uso (Chen, Awasthi, Wei, Tan, & Li, Jan. 2021.; al, Oct. 2020.), o el incremento generalizado del coste de acceso a la vivienda (Gold, Jan. 2020.), motiva la búsqueda de alternativas constructivas más sostenibles y económicas (Shen, Cheng, Li, & Z. Zhang, Jan. 2019.).

Debido a las circunstancias actuales en las que se vive el alto coste de la energía y la conciencia ecológica, cada vez más fuerte en toda la sociedad, el desarrollo de este proyecto se centra en conseguir el objetivo de minimizar tanto el impacto ambiental como energético. De esta forma, es posible obtener una serie de beneficios bien definidos. El primero, un bajo coste energético de la vivienda. El segundo beneficio es un bajo impacto ambiental de la construcción utilizando técnicas y herramientas como los cimientos prefabricados. (Koespiadi, y otros, 2018), los cuales, al final de la vida útil de la construcción, pueden ser fácilmente removidos gracias a su carácter no permanente, así como a la reutilización de los materiales de construcción.

Los contenedores ofrecen un abanico de ventajas, como la posibilidad de modificar la construcción con el tiempo, tanto en tamaño como en distribución (Trancossi, Cannistraro, & J. Pascoa, Aug. 2020.). Además, permiten su transporte, viabilizando su comercialización y traslados a nuevas ubicaciones.

Actualmente, se pueden encontrar en el mercado un gran número de variantes de contenedores, teniendo en cuenta tanto su estructura, en función de los tipos de vigas, como sus dimensiones, dentro de las distintas estandarizadas. Los materiales también son clave, que suelen ser metal, madera o una combinación de varios materiales. No todos estos materiales tienen un reciclaje viable o sencillo, por lo que su reutilización contribuye a la edificación sostenible. El diseño modular propuesto, compuesto por cuatro contenedores, en el que se basa este proyecto, se presenta en la Figura 1.

Figura 1: Diseño de casa contenedor modular propuesto



Fuente. Elaboración propia

En cuanto a las ventajas económicas que supondría la implantación de esta alternativa edilicia, hay que considerar varios factores. El Global Container Freight Index mantuvo un precio por debajo de los 3.000 € hasta antes de 2021, Figura 1 (Freight Rate Index / Freightos Baltic Container Index., s.f.). Este ha ido aumentando progresivamente hasta alcanzar máximos en torno a los 9.000 €. Sin embargo, en las primeras semanas de enero de 2022 ya se han alcanzado mínimos que no se observaban desde antes del verano. Así, hay una tendencia a que el precio baje lenta pero progresivamente. El precio del contenedor depende de muchos factores, ya que su uso está destinado al transporte, aunque está directamente relacionado con los índices analizados en la Figura 2. De media, un contenedor nuevo puede costar entre 5.000 y 7.000 €. El precio de los contenedores usados depende de muchos factores, como la antigüedad, las reparaciones, los daños, el acondicionamiento, la entrega, etc. Así, puedes encontrar módulos contenedores usados, en condiciones aptas para su uso en edificios, desde alrededor de 1.000-2.000 €. Con la tendencia actual de los

precios, se espera que estos precios sigan bajando. En conjunto, supone la ejecución de viviendas completas de entre 3 y 6 módulos container a un precio de mercado de entre 20.000 y 60.000 € (“Average Shipping & Storage Container Prices | Hale Trailer Brake & Wheel Inc.” [Online]., s.f.; How Much Does a Used Shipping Container Cost., s.f.).

Figura 2: Índice Báltico de Freightos (FBX): Índice Global de Carga de Contenedores. Estadísticas semanales.



Fuente: (“Precios promedio de contenedores de envío y almacenamiento | Hale Trailer Brake & Wheel Inc.” [en línea]., s.f.; ¿Cuánto cuesta un contenedor de envío usado?, s.f.).

Por lo tanto, esta propuesta de edificación brinda una alternativa viable, económica y sostenible, que aún requiere una mayor implementación en las ciudades.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología aplicada para el desarrollo de la propuesta de solución del caso de estudio propuesto se basa en tres pilares básicos: el análisis y selección de los elementos estructurales básicos; el diseño estructural; y modelado 3D. Estas bases permiten establecer un modelo de propuesta, estableciendo tanto el diseño como el coste asociado.

2.1. Análisis y selección de elementos estructurales:

El costo actual de la vivienda tradicional es demasiado alto. Este hecho, unido a la creciente dificultad para asumir los costes de su adquisición, hace necesaria la búsqueda de alternativas. En las últimas décadas, el desarrollo de las tecnologías de construcción de prefabricados ha supuesto la apertura de nuevas posibilidades, que permiten reducir costes y tiempos de construcción a la vez que abaratan costes. Mientras tanto, el uso de este tipo de estructura

permite desmontar y transportar la construcción completa a una ubicación diferente.

Asimismo, la situación medioambiental actual hace que el uso de materiales reciclados juegue un papel crucial. Esta es la razón por la que el uso de contenedores de transporte marítimo como material base permite darles un segundo uso, alargando su vida útil y reduciendo costes y tiempos de fabricación. (Tan & Ling, 2018; Grębowski & Kaldunek, 2017).

2.2. Diseño estructural:

La estructura es parte del cuerpo y materiales aislantes propios de un contenedor frigorífico ISO 40' high cube class para transporte marítimo. De acuerdo con la normativa aplicable, los contenedores ISO 40' high cube tienen una altura, longitud y anchura estándar de 2.896 m, 12.192 m y 2.438 m respectivamente (BSI. BS ISO 668, 1995). Según reportes, el contenedor ISO convencional tiene la fuerza para soportar pilas de contenedores de 24 toneladas de hasta 9 unidades de altura y completamente cargados.

El cuerpo de estos envases está compuesto por los siguientes elementos, cuyas características geométricas y propiedades mecánicas se muestran en la Tabla 1:

1. Refuerzos rectangulares en todas las esquinas. Perfiles C de 160 mm de altura (grosor de ala 10,5 mm, grosor del cuerpo 7,5 mm)
2. 2. Largueros rectangulares 60x120 mm (espesor 2 mm)
3. Perfiles cuadrados de 120 mm (4 mm de espesor)
4. Perfiles de tubo rectangular 60x120 mm (2 mm de espesor)
5. Perfiles de tubo rectangular 60x140 mm (espesor 3 mm)
6. Perfiles rectangulares de 140x180 mm (5 mm de espesor).

Los perfiles longitudinales inferiores del contenedor son perfiles UPN160 tipo C que tienen unas medidas de 160 mm de altura del cuerpo y 65 mm de pestaña con un espesor del cuerpo de 7,5 mm y un espesor de la pestaña de 10,5 mm.

El resto del contenedor está construido con panel sándwich incluyendo materiales de aislamiento, y como suelo tiene chapa de acero de 10 mm.

De acuerdo con la tabla 1:

- b: ancho de la base.
- h: altura
- I_x : Momento de inercia referido al eje horizontal.
- W_x : Módulo de resistencia referido al eje horizontal.
- I_x : Radio de giro referido al eje horizontal.
- I_y : Momento de inercia referido al eje vertical.
- W_y : Módulo de resistencia referido al eje vertical.
- i_y : Radio de giro referido al eje vertical.

Tabla 1: Propiedades Geométricas y Mecánicas de elementos estructurales.

Elem.	b (mm)	h (mm)	Area (cm ²)	Ix (cm ⁴)	Wx (cm ³)	ix (cm)	Iy (cm ⁴)	Wy (cm ³)	iy (cm)
1	65	160	24	925	116	6,21	85,3	18,3	1,89
2	60	120	6,937	131,9	21,99	43,61	45,33	15,11	25,56
3	120	120	18,15	402,3	67,05	47,08	402,3	67,05	47,08
4	60	120	6,937	131,9	21,99	43,61	45,33	15,11	25,56
5	60	140	11,41	278,1	39,73	49,37	74,2	24,72	25,5
6	140	180	24,55	1173,9	130,4	69,15	799,6	114,2	57,07
7	65	160	24	925	116	6,21	85,3	18,3	1,89
Elem.	Peso (kg/m ²)		Resistencia a compresión (MPa)		Resistencia a Tracción (MPa)		Inercia (mm ⁴ /m)		
8	11,00		0,076		0,082		6,272		

Fuente: (Gallego-Moya, Garcimartín-Molina, & Massana-Guitart, 2008; Hiansa Panel, 2017)

Se pueden utilizar dos sistemas para explicar el diseño estructural de la estructura: un sistema primario de perfiles de acero laminado, que también configura la geometría de los contenedores, y un sistema secundario de paneles exteriores que crean enormes vigas cajón. El cambio de las formas de carga se proyecta alterando los soportes, que a menudo se encuentran en las esquinas, para reforzar y conectar los distintos contenedores. El uso de vigas metálicas tridimensionales de estilo cuadrado en las esquinas pretende reforzarlo.

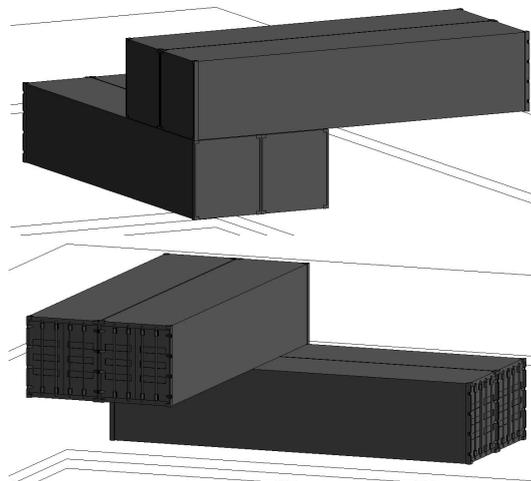
Se decide utilizar cementos ligeros y reutilizables para minimizar el impacto ambiental que tendrá la instalación de elementos estructurales fuera del suelo. (Koespiadi, y otros, 2018).

Adicionalmente se proyecta la implementación de un rediseño modular para posibles ampliaciones o remodelaciones a través de un sistema de expansión lineal. De esta forma, para ampliaciones con un ancho inferior al ancho de un contenedor, se hace separando los contenedores y expandiendo las estructuras entre ellos. El aumento modular conlleva un coste asociado igual al precio de la obra original (Agha, Shibani, Hassan, & Zalans, 2021).

2.3. Modelado 3D:

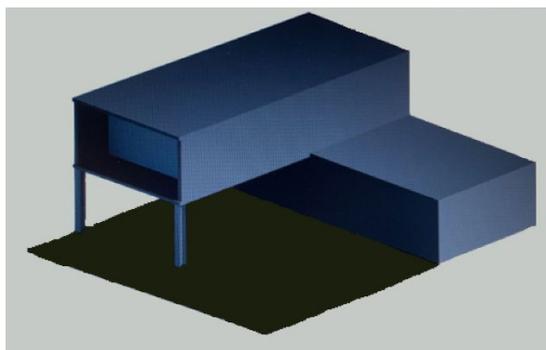
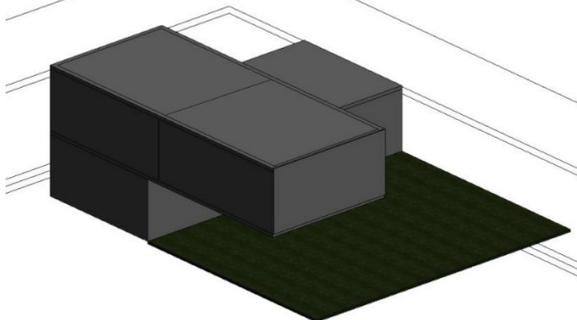
El modelado de la estructura se realiza mediante el uso de un software especializado llamado Autodesk Revit. Se trata de un software de modelado de información de construcción (BIM), que se basa en un conjunto de procesos y metodologías para la generación y gestión de datos de una edificación u obra civil durante su ciclo de vida, utilizando un modelo digital compartido. entre los diferentes actores de la cadena de valor. El objetivo es reducir tiempo y recursos en el diseño, construcción y gestión del activo.

Figura 3: Primer paso en el proceso de diseño



Fuente. Elaboración propia

Figura 4: Paso intermedio en el proceso de diseño



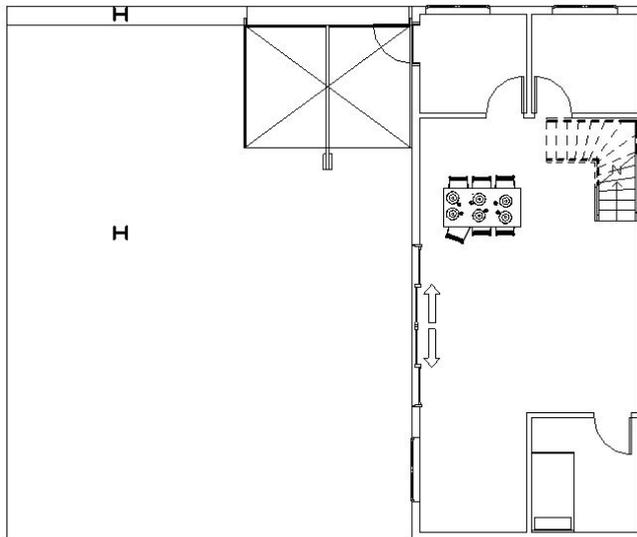
Fuente. Elaboración propia

3. RESULTADOS

Los diseños obtenidos como resultado del proceso de diseño y estudio establecido se muestran a continuación en las figuras 5 a 8:

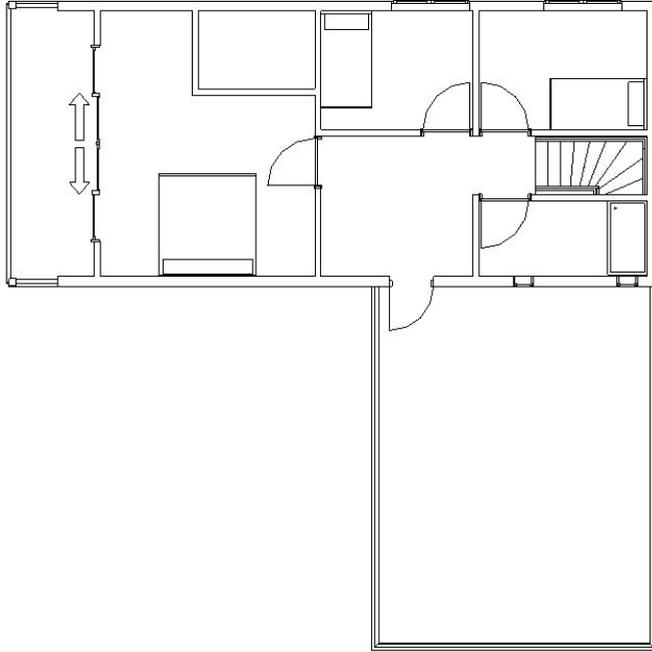
El tiempo estimado de fabricación y puesta en marcha se estima en tres meses y tiene un coste preliminar de 50.000€. Estos valores se basan en el coste estimado de las instalaciones de contenedores, electricidad, agua y residuos, instalación fotovoltaica, carpintería, cimentaciones, puertas, ventanas, aislamientos, etc. (Ganiron & Almarwae, 2014; Jiang, 2019; Sanni-Anibire, Mohamad-Zin, & Olatunji, 2021). Como se muestra en la Figura 4 y Figura 5, se obtiene una vivienda unifamiliar de 118m², distribuidos en dos plantas. La planta baja tiene un salón, que ocupa la mayor parte del edificio, junto con tres dormitorios. La primera planta tiene tres habitaciones, un baño y dos terrazas.

Figura 5: Distribución en planta baja



Fuente. Elaboración propia

Figura 6: Distribución del primer piso



Fuente. Elaboración propia.

Figura 7: Vista lateral del diseño final



Fuente. Elaboración propia

Figura 8: Vista frontal del diseño final



Fuente. Elaboración propia

3.1. Análisis y discusión

Según datos públicos sobre el coste medio de la vivienda en España según el Ministerio de Fomento del gobierno español. Este valor medio es de 1.694,4 €/m², con un valor mínimo de 863,4 €/m² en la comunidad de Extremadura, suponiendo el 50,956% del valor medio español, y un valor máximo de 2.760,1 €/m² en la comunidad de Madrid. En Madrid equivale al 162,895% del valor medio (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2022). Si el estudio considera el valor de la vivienda en localidades de más de 25.000 habitantes, también en territorio español, el valor de la vivienda de menos de 5 años ronda los 2.150€/m² y ronda los 1.500€/m² en el caso de la vivienda que más de 5 años (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2022).

Comparado con el precio medio de edificios similares, este ronda los 1.150€/m² (Facilhouse, s.f.).

Es necesario aclarar que la viabilidad de este tipo de proyectos radica en el precio de los contenedores de segunda mano. Por ello, es fundamental estudiar la evolución de su coste.

4. CONCLUSIONES

El uso de contenedores favorece la reducción del precio de la vivienda, principalmente en las zonas más rurales o menos masificadas.

Este tipo de solución permite desarrollar una solución más respetuosa con el medio ambiente, gracias al uso de materiales reciclados. De igual manera, permite el desarrollo de soluciones modulares y autosustentables.

La solución propuesta permitiría el diseño de viviendas autoconstruidas, sin necesidad de mano de obra especializada en ninguna de las fases de la construcción, permitiendo incluso que la vivienda, una vez construida, pueda ser desmontada y cambiada de ubicación con facilidad.

Como resultado, es posible diseñar un sistema de construcción que evolucione y pueda mejorarse a sí mismo de acuerdo con los avances en el desempeño de los componentes. Al comenzar con una casa de contenedores real, demuestra que es posible evolucionar de una manera que maximice la eficiencia. La configuración final puede alcanzar una calificación A+ con un diseño cuidadoso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

“Average Shipping & Storage Container Prices | Hale Trailer Brake & Wheel Inc.” [Online]. (n.d.). Retrieved 15-Jan-2022]., from <https://haletrailer.com/blog/shipping-container-costs/>.

Agha, A., Shibani, A., Hassan, D., & Zalans, B. (2021). Modular Construction in the United Kingdom Housing Sector: Barriers and Implications'. *Journal of Architectural Engineering Technology*, 10(2), 236.

al, A. T. (Oct. 2020.). From waste disposal to valuable material: Sulfonating polystyrene waste for heavy metal removal. *J. Environ. Chem. Eng.*, 8(5), 104302.

BSI. BS ISO 668. (1995). Series 1 freight containers — Classification, dimensions and ratings.

Chen, Y., Awasthi, A., Wei, F., Tan, Q., & Li, J. (Jan. 2021.). Single-use plastics: Production, usage, disposal, and adverse impacts . *Sci. Total Environ*, 752, 141772.

Facilhouse. (n.d.). Facilhouse. Retrieved 02 2022, from <https://facilhouse.com/>

Freight Rate Index / Freightos Baltic Container Index. (n.d.). Retrieved [Accessed: 15-Jan-2022]., from <https://fbx.freightos.com/>

Gallego-Moya, A., Garcimartín-Molina, M., & Massana-Guitart, J. (2008, 04). Prontuario de perfiles de acero. (Universidad Politécnica de Madrid.) Retrieved 12 2021, from <file:///C:/Users/jose/Downloads/Prontuario%20Perfiles%20de%20acero.pdf>

Ganiron, T. U., & Almarwae, M. (2014). Prefabricated technology in a modular house. *International Journal of Advanced Science and Technology.*, 73, 51-74.

Gold, S. (Jan. 2020.). Does public housing reduce housing cost burden among low-income families with children? *J. Child. Poverty*, 26(1), 1-21.

Grębowski, K., & Kałdunek, D. (2017). Using container structures in architecture and urban design. In *IOP Conference Series: . Materials Science and Engineering* , 245(4), 42-87.

Hiansa Panel. (2017, 10). HIANSA - PANEL MURO - ficha producto.pdf. Retrieved 12 2021, from <https://www.hiansa.com/archivos/HIANSA%20-%20PANEL%20MURO%20-%20ficha%20producto.pdf>

How Much Does a Used Shipping Container Cost. (n.d.). Retrieved [Accessed: 15-Jan-2022]., from <https://www.containeraddict.com/how-much-does-a-used-shipping-container-cost/>.

Jiang, Q. (2019). Estimation of construction project building cost by back-propagation neural network. . *Journal of Engineering, Design and Technology*.

Koespiadi, K., Mudjanarko, S., Rasidi, N., Utomo, W., Alimudin, A., Suprayitno, D., & Limantara, A. (2018). The Concrete Quality Testing for Trapezoidal Model of the Prefabricated Foundation. . *International Journal of Engineering & Technology*., 7(3.25), 311-315.

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2022). Valor tasado de la vivienda. (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana) Retrieved 01 2022, from <https://www.fomento.gob.es/BE2/?nivel=2&orden=35000000>

Sanni-Anibire, M., Mohamad-Zin, R., & Olatunji, S. (2021). Developing a preliminary cost estimation model for tall buildings based on machine learning. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 16(2), 134-142.

Shen, K., Cheng, C., Li, X., & Z. Zhang. (Jan. 2019.). Environmental Cost-Benefit Analysis of Prefabricated Public Housing in Beijing,. *Sustainability*., 11(1), 207.

Tan, C., & Ling, P. (2018). Shipping Container as shelter provision solution for post-disaster reconstruction. In *E3S web of conferences. EDP Sciences*., 65, 8007.

Trancossi, M., Cannistraro, G., & J. Pascoa. (Aug. 2020.). Thermoelectric and solar heat pump use toward self sufficient buildings: The case of a container house. *Therm. Sci. Eng. Prog.*, 18, 100509.