



# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Construcción modular mediante metodología Lean:  
Módulo de trabajo

Autor: Javier Alfayate Celis

Director: Jesús Guardiola Arnanz

Co-Director: Tamar Awad Parada

Madrid



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Construcción modular mediante metodología Lean: Módulo de despacho  
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2022/23 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido  
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Javier Alfayate Celis

Fecha: 18/ 07/2023

Autorizada la entrega del proyecto

LOS DIRECTORES DEL PROYECTO



Fdo.: Jesús Guardiola Aranz

Fecha: 18/ 07/2023

Fdo.: Tamar Awad Parada

Fecha: 18/ 07/2023





# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

Construcción modular mediante metodología Lean:  
Módulo de trabajo

Autor: Javier Alfayate Celis

Director: Jesús Guardiola Arnanz

Co-Director: Tamar Awad Parada

Madrid



# **CONSTRUCCIÓN MODULAR MEDIANTE METODOLOGÍA LEAN: MÓDULO DE TRABAJO**

**Autor: Alfayate Celis, Javier**

Director: Guardiola Arnanz, Jesús y Awad Parada, Tamar

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

Se ha diseñado un módulo de trabajo, una de las partes de un proyecto conjunto que pretende diseñar un bloque de viviendas mediante construcción modular. Además, se ha realizado una optimización de los plazos, una estimación de costes del proyecto además de implementar en el diseño las bases de la metodología Lean.

**Palabras clave:** módulo, Lean, optimización.

### **1. Introducción**

La construcción es un sector que se ha quedado atrás en cuanto a industrialización. Hay retrasos que llevan a plazos muy extensos, falta de mano de obra cualificada y una elevada producción de residuos. Actualmente ya hay tecnología suficiente para dar el paso a una construcción industrializada, como muchos otros sectores han hecho a lo largo de las últimas décadas. Esto permitirá aumentar la eficiencia de la construcción reduciendo plazos y costes, además de aumentar la sostenibilidad. En concreto, en este proyecto, se centrará en la construcción modular. Este tipo de construcción se basa en prefabricar los módulos en fábricas externas al sitio de construcción y son posteriormente ensamblados a la estructura del edificio. Esto permite una mejor organización y además de poder aplicar la metodología Lean de manera más eficiente. Con ello se conseguirá una reducción de plazos, costes y residuos al trabajar en un entorno mucho más controlado y que permita una mejor organización gracias a estandarizar estos módulos.

### **2. Definición del Proyecto**

En este proyecto es parte de un proyecto conjunto que tiene como objetivo final diseñar un bloque de viviendas mediante construcción modular. Partiendo de las bases del Proyecto INVISIO de Jesús Guardiola, Miguel Cobo realizó la estructura base de este bloque y en este proyecto se diseñará uno de los módulos del bloque de viviendas, en concreto el módulo de trabajo o estudio. Este deberá contar con todas las comodidades de un despacho habitual como espacio suficiente para trabajar adecuadamente, almacenamiento para las herramientas de trabajo y una temperatura e iluminación adecuada. Además, deberá ser lo más sencillo posible para poder fabricarlo de manera óptima y facilitar la aplicación de la metodología Lean en los procesos futuros de producción. Con el objetivo de optimizar los plazos se propondrá un proceso de construcción en paralelo estimando los plazos y por último se hará un estudio de los costes de producción del módulo.



*Figura 1. Proyecto INVISIO*

### **3. Descripción del modelo/sistema/herramienta**

Una vez establecidos los objetivos a cumplir con el diseño se eligen los materiales más adecuados para su fabricación teniendo en cuenta que deben ser fácilmente instalables y todo lo económicos posibles dentro de que cumplan con los requerimientos del módulo. Una vez los materiales sean seleccionados se procederá a realizar el diseño en SolidWorks partiendo de las dimensiones aportadas por la estructura hecha por Miguel Cobo.

El diseño se realizó teniendo en cuenta los materiales seleccionados y contando con métodos de instalación sencillos y fácilmente removibles. Esto ayuda a que los módulos sean reubicables y que la mayoría de sus materiales sean reusables en caso de que haya que removerlos. Se mencionarán todos los materiales elegidos, así como sus métodos de fijación y el orden de instalación a seguir. Además, se hará una comparación de los plazos de montaje entre un proceso de construcción en serie y otro en paralelo para demostrar que la reducción de plazos mediante el método en paralelo es viable.



*Figura 2. Diseño final del módulo amueblado*



#### 4. Resultados

Se han obtenido ambos modelos de plazos, dando lugar a que la construcción en paralelo supone un ahorro del 25% de tiempo. También se han estimado los costes totales de producción del módulo.

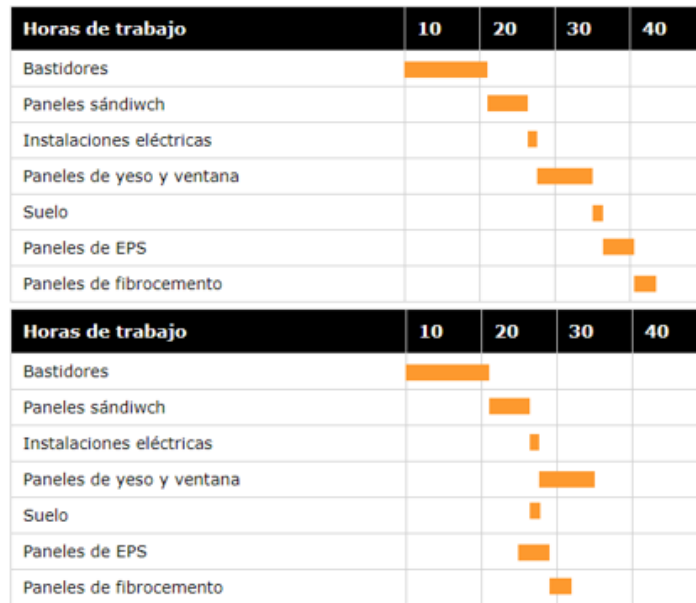


Tabla 1. Comparación de plazos

#### 5. Conclusiones

Como conclusión, podemos ver que la industrialización en este sector es posible con la tecnología que tenemos actualmente. Con proyectos como este se busca fomentar esta práctica para que distintas empresas intenten adoptar este método de construcción además de la metodología Lean.

#### 6. Referencias

J. Guardiola, «Proyecto INVISIO».

M. Cobo, «Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles" : 3C siguiendo la metodología Lean,» 2022.

# **MODULAR CONSTRUCTION USING LEAN METHODOLOGY: OFFICE MODULE**

**Author: Alfayate Celis, Javier.**

Supervisor: Guardiola Arnanz, Jesús y Awad Parada, Tamar

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **ABSTRACT**

An office module has been designed, one of the parts of a joint project that aims to design a block of apartments using modular construction. In addition, an optimization of deadlines, a cost estimation of the project and the implementation of the Lean methodology in the design have been carried out.

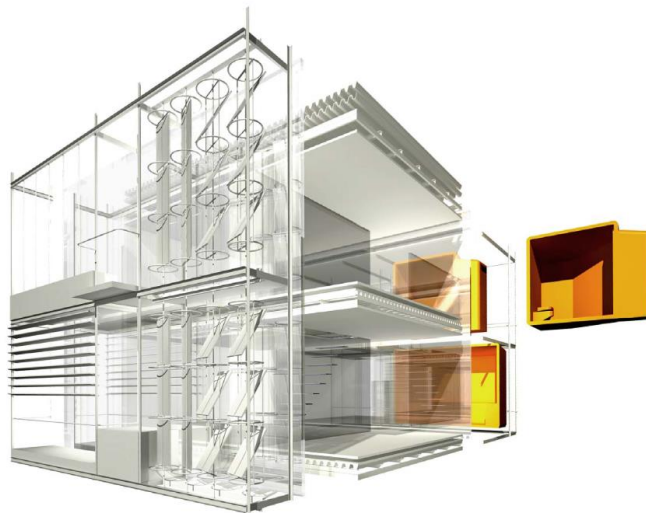
**Keywords:** Lean, module, optimization

## **1. Introduction**

Construction is a sector that has lagged in terms of industrialization. There are delays that lead to long lead times, lack of skilled labor and high waste production. There is now sufficient technology to move towards industrialized construction, as many other sectors have done over the last decades. This will make it possible to increase the efficiency of construction by reducing time and costs, as well as increasing sustainability. Specifically, in this project, the focus will be on modular construction. This type of construction is based on prefabricating the modules in factories outside the construction site and are subsequently assembled to the building structure. This allows a better organization and also allows to apply the Lean methodology in a more efficient way. This will result in a reduction of deadlines, costs, and waste by working in a much more controlled environment that allows a better organization thanks to the standardization of these modules.

## **2. Project definition**

This project is part of a joint project whose final objective is to design a housing block using modular construction. Starting from the basis of the INVISO Project by Jesús Guardiola, Miguel Cobo made the base structure of this block and in this project one of the modules of the housing block will be designed, specifically the work or study module. This should have all the amenities of a regular office such as enough space to work properly, storage for work tools and adequate temperature and lighting. In addition, it should be as simple as possible to be able to manufacture it optimally and facilitate the application of the Lean methodology in future production processes. In order to optimize lead times, a parallel construction process will be proposed, estimating lead times and, finally, a study of the module production costs will be carried out.

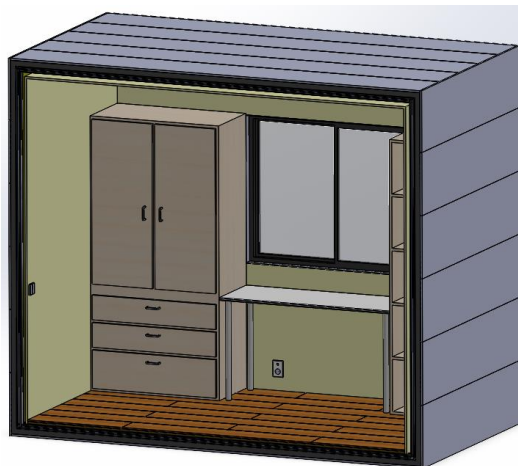


*Figura 3. INVISO Project*

### **3. Model/system/tool description**

Once the objectives of the design have been established, the most suitable materials for their manufacture are chosen, considering that they must be easy to install and as economical as possible, as long as they meet the requirements of the module. Once the materials are selected, the design will be made in SolidWorks based on the dimensions provided by the structure made by Miguel Cobo.

The design was made considering the selected materials and having simple and easily removable installation methods. This helps to make the modules relocatable and most of their materials reusable in case they need to be removed. All the materials chosen will be mentioned, as well as their attachment methods and the order of installation to be followed. In addition, a comparison of the assembly times between a serial and a parallel construction process will be made to demonstrate that the reduction of times using the parallel method is feasible.



*Figura 4. Final module design*

#### 4. Results

Both time models have been obtained, resulting in a 25% time saving for parallel construction. The total production costs of the module have also been estimated.

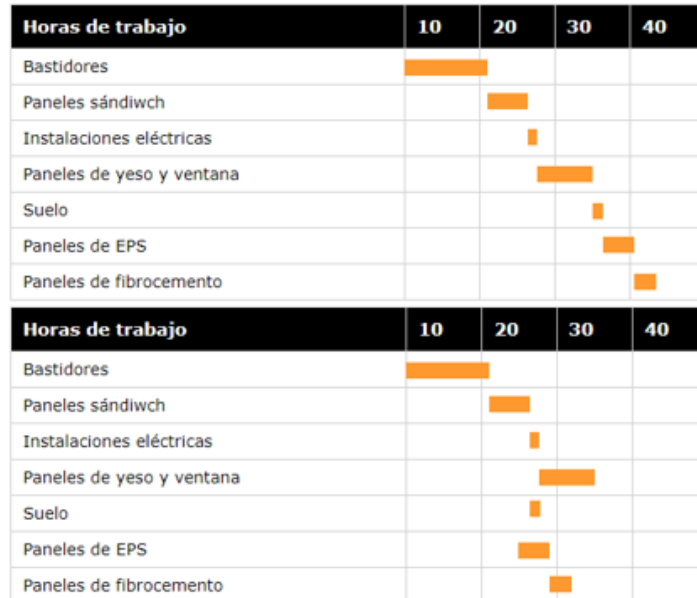


Tabla 2. Time comparison

#### 5. Conclusions

In conclusion, we can see that industrialization in this sector is possible with the technology we currently have. With projects like this one, we seek to promote this practice so that different companies try to adopt this construction method in addition to the Lean methodology.

#### 6. References

J. Guardiola, «Proyecto INVISIO».

M. Cobo, «Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles" : 3C siguiendo la metodología Lean,» 2022.

## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>6</b>
1.1 Introducción del proyecto.....	6
1.2 Motivación del proyecto.....	7
<b>Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías.....</b>	<b>8</b>
<b>Capítulo 3. Estado de la Cuestión .....</b>	<b>9</b>
<b>Capítulo 4. Definición del Trabajo .....</b>	<b>13</b>
4.1 Justificación.....	13
4.2 Objetivos .....	13
4.3 Metodología.....	14
4.4 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	15
<b>Capítulo 5. Sistema/Modelo Desarrollado.....</b>	<b>16</b>
5.1 Estructura de bastidores.....	16
5.2 Aislamiento .....	17
5.2.1 Panel Sándwich.....	17
5.2.2 Panel EPS.....	18
5.3 Revestimiento exterior .....	19
5.4 Acabados interiores .....	20
5.4.1 Paredes y techo.....	20
5.4.2 Suelo .....	20
5.5 Ventana.....	21
5.6 Módulo amueblado.....	22
<b>Capítulo 6. Plazos de construcción .....</b>	<b>24</b>
6.1 En serie.....	24
6.2 En paralelo.....	31
<b>Capítulo 7. Estimación de costes.....</b>	<b>32</b>
<b>Capítulo 8. Análisis de Resultados.....</b>	<b>34</b>
8.1 Aplicación de Lean construction .....	35

<i>Capítulo 9. Conclusiones y Trabajos Futuros</i> .....	36
<i>Capítulo 10. Bibliografía</i> .....	37
<b>ANEXO I</b>	<b>39</b>
Secciones constructivas .....	39

## *Índice de figuras*

Figura 1. Proyecto INVISIO .....	8
Figura 2. Diseño final del módulo amueblado .....	8
Figura 3. INVISIO Project.....	11
Figura 4. Final module design .....	11
Figura 5. Evolución de los precios de los materiales de construcción desde 2009 [5] .....	9
Figura 6. "Portable Cottage" de Manning .....	10
Figura 7. "Dortheavej Residence" .....	11
Figura 8. 5 S japonesas .....	12
Figura 9. Diseño final del módulo .....	16
Figura 10. Perfil de aluminio 40x40 [8] y unión automática [9].....	17
Figura 11. Panel sándwich.....	18
Figura 12. Paneles de EPS montados en la estructura.....	19
Figura 13. Placa de fibrocemento .....	19
Figura 14. Placas de yeso .....	20
Figura 15. Lámina de suelo y tablero OSB .....	21
Figura 16. Ventana .....	21
Figura 17. Amueblamiento Vista 1 .....	22
Figura 18. Amueblamiento Vista 2 .....	23
Figura 19. Amueblamiento Vista 3 .....	23
Figura 20. Estructura de bastidores ensamblada .....	25
Figura 21. Paneles sándwich instalados .....	26
Figura 22. Pared, techo y ventana instaladas.....	27
Figura 23. Suelo instalado .....	28
Figura 24. Paneles de EPS instalados.....	29
Figura 25. Revestimiento exterior instalado.....	30
Figura 26. Sección constructiva de la pared .....	39

Figura 27. Sección constructiva del techo .....	39
Figura 28. Sección constructiva del suelo .....	40



## *Índice de tablas*

Tabla 1. Comparación de plazos.....	9
Tabla 2. Time comparison .....	12
Tabla 3. Paso 1, construcción en serie.....	25
Tabla 4. Paso 2, construcción en serie.....	26
Tabla 5. Pasos 3 y 4, construcción en serie .....	27
Tabla 6. Paso 5, construcción en serie.....	28
Tabla 7. Paso 6, construcción en serie.....	29
Tabla 8. Paso 7, construcción en serie.....	30
Tabla 9. Plazos de la construcción en paralelo.....	31
Tabla 10. Estimación de costes de los materiales.....	32
Tabla 11. Estimación de costes de la mano de obra .....	33

## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

### *1.1 INTRODUCCIÓN DEL PROYECTO*

A diferencia de otros sectores la construcción no ha alcanzado un nivel óptimo de adaptación a los avances en la industrialización. La práctica más habitual continúa siendo la realización de la obra “in situ”. La construcción industrializada consiste en producir distintos componentes en fábricas para después ser transportados al lugar de construcción y posteriormente ser ensamblados. Esto lleva a una reducción en la mano de obra, plazos y costes. Aunque estos últimos años ya haya habido proyectos de construcción industrializada, esta no termina de desarrollarse.

Este es un proyecto conjunto en el que se propone un modelo de un bloque de viviendas modular. Se utiliza el sistema de construcción 3C, construcción de componentes compatibles, en el cual, la construcción se realiza en paralelo. Mediante módulos fabricados externamente al sitio de construcción y después ensamblados allí se consigue reducir los costes de transporte y recursos y además de reducir enormemente los plazos. Estos módulos son fácilmente retirables para su posible reparación o reciclaje, además de simplificar la construcción. La construcción en paralelo de estos módulos permite que la construcción siga funcionando con normalidad, aunque en alguno de los procesos ocurra algún fallo o retraso.

En concreto en este proyecto se llevará a cabo el diseño del módulo de trabajo. Como objetivos se deberán satisfacer las condiciones necesarias para la comodidad de un despacho como el espacio, iluminación, lugares de almacenamiento de herramientas de trabajo, ventilación y temperatura. Además, se diseñará un proceso de fabricación del mismo siguiendo la metodología Lean, que consiste en eliminar cualquier proceso que no aporte valor, para poder reducir al máximo los plazos y los recursos utilizados.

## ***1.2 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO***

La motivación del proyecto reside en contribuir al avance de la industrialización en la construcción. Este avance tendrá como consecuencia mejoras significativas en los plazos, así como una notable reducción de costes y recursos empleados.

La producción en espacios controlados de los distintos módulos da lugar a una mayor calidad del producto, reduce el coste y tiempo de transporte de los materiales empleados, además de facilitar considerablemente el reciclaje de los residuos producidos. Esto supone un gran avance en la sostenibilidad de este sector, que actualmente es uno de los más contaminantes.

En cuanto a los plazos, la construcción en paralelo reduce significativamente el tiempo de construcción. Esto elimina los retrasos ocasionados por la falta de materiales en alguno de los procesos y su construcción en fábrica permite seguir trabajando en ellos sin depender de unas condiciones meteorológicas favorables. Por otra parte, la facilidad de ensamblaje y desmontaje y su diseño simplificado permiten un proceso de renovación rápido, sencillo y sin desperdicio de material.

En definitiva, las razones expuestas anteriormente constituyen la motivación de este proyecto. Con las tecnologías disponibles actualmente se busca aprovechar al máximo su potencial para mejorar la eficiencia y sostenibilidad en este sector.

## **Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS**

En este proyecto se han utilizado diversos recursos para llevarlo a cabo. Contamos con los documentos del Proyecto INVISIO [1], centrado en la construcción modular, el cual es la base del proyecto conjunto que se está realizando.

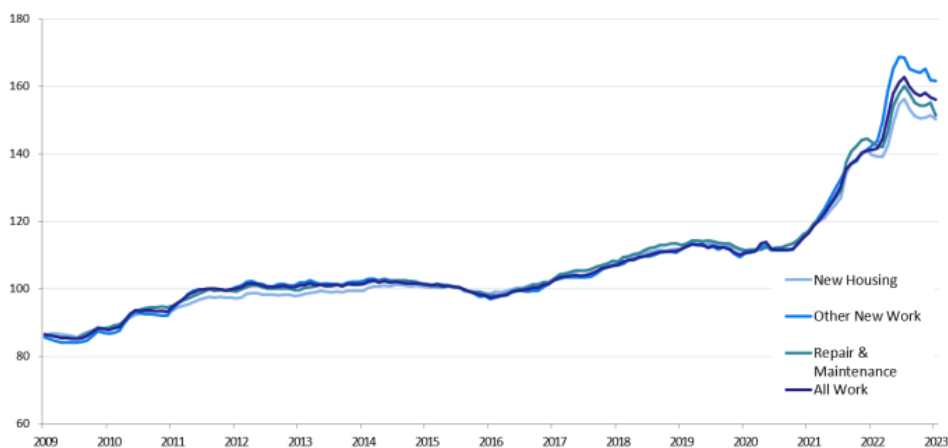
Se ha hecho uso del Trabajo de Fin de Grado de Miguel Cobo [2], en el cual se modela la estructura base de este bloque de viviendas modular. Partiendo de esa estructura se han diseñado las instalaciones y los módulos de este proyecto conjunto.

Por último, se ha empleado el programa SolidWorks para realizar todo el diseño del módulo de trabajo. Con SolidWorks se han obtenido las distintas especificaciones de la estructura del bloque realizada por Miguel Cobo y se ha diseñado la estructura, el aislamiento y los acabados del módulo. Además, para el estudio económico y de plazos se ha utilizado el software de generación de precios en España de CYPE.

## Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Actualmente, en el sector de la construcción, se presentan varios retos, entre ellos: la falta de mano de obra cualificada, el encarecimiento de los materiales de la construcción y los plazos extensos [3]. Además, en estos últimos dos años, debido a la guerra en Ucrania, los costes se han disparado en todo el mundo [4].

**Chart 1: Construction Material Price Indices, UK**  
Index, 2015 = 100

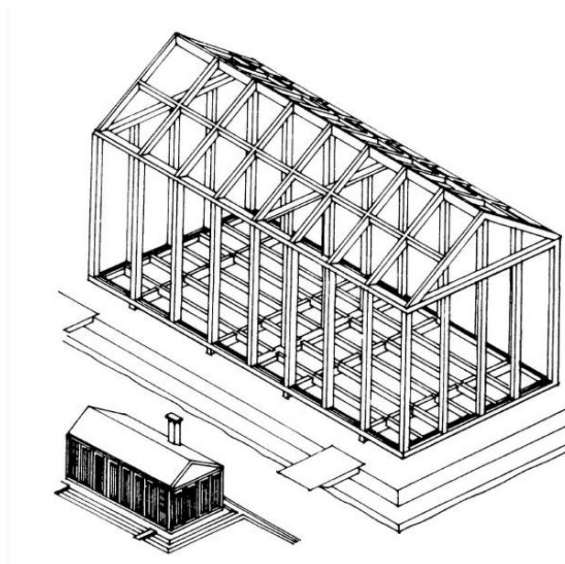


Source: Monthly Statistics of Building Materials and Components, Table 1

Figura 5. Evolución de los precios de los materiales de construcción desde 2009 [5]

La industrialización es una de las posibles soluciones a estos problemas. Con ello se conseguirían reducir en gran medida los plazos, así como los materiales usados. Además, con una construcción previa en fábrica, la mano de obra necesitada es mucho menor. En este trabajo de fin de grado se propone un método de construcción modular para un bloque de viviendas, en el cuál la estructura base se construirá a parte del resto de módulos. Estos, se prefabricarán en sitios externos y posteriormente serán ensamblados en el sitio de construcción.

Este tipo de construcción prefabricada se puede ver desde el siglo XIX. Uno de los ejemplos es durante la fiebre del oro en Estados Unidos en 1848 [6]. Debido al gran número de trabajadores que llegaban a esas zonas se necesitaron crear viviendas rápidamente. Usando la “Portable Cottage” de Henry Manning, se consiguió solucionar el problema. Esta era una vivienda construida externa al sitio de construcción que se transportaba y ensamblaba posteriormente. Aunque aún utilizaban los métodos de construcción tradicional para fabricarla, asentó las bases de lo que hoy en día es la construcción modular.



*Figura 6. "Portable Cottage" de Manning*

Hoy en día las tecnologías han mejorado y la construcción modular se ha desarrollado significativamente. Podemos ver proyectos de residencias para estudiantes de Modulaire Group en Reino Unido o el bloque de viviendas “Dortheavej Residence” en Dinamarca de Bjarke Ingels Group. En España contamos también con la empresa Algeco, compañía de Modulaire Group, que ha realizado ya múltiples proyectos en el país.



*Figura 7. "Dortheavej Residence"*

Por otra parte, la sostenibilidad ha ganado importancia en todos los sectores y siendo la construcción uno de los más contaminantes la necesidad de mejorarla en el sector ha crecido. Mediante la construcción modular se mejoran varios aspectos. Durante la planificación previa se lleva a cabo toda la selección de materiales y al ser la producción en una fábrica el control de residuos y el gasto de material innecesario está mucho más controlado, además habiendo menos movimiento de recursos. Asimismo, los módulos están diseñados de manera que su reubicación, reutilización y reciclaje sean procesos sencillos.

Otro factor que ayuda a mejorar la construcción es la metodología Lean [7]. Este concepto fue introducido por primera vez por Toyota durante la segunda mitad del siglo XX. Este es un método de gestión de procesos el cual busca optimizar la gestión y productividad de una empresa. Aunque empezó a aplicarse en el sector automovilístico, actualmente se usa en diversos sectores, entre ellos la construcción. Este método está basado en el sistema de las “5 s” japonesas y el “Just-in-time”. Eliminando procesos que no aporten valor, controlando la gestión de inventario y estandarizando se consigue mejorar la calidad, los plazos y reducir los costes. La planificación previa y diaria mediante un establecimiento de objetivos diarios y semanales permiten aumentar la productividad y actuar con antelación ante posibles fallos

que surjan durante la producción. Estos fallos suelen ser la causa principal de los retrasos en las obras, así como la falta de materiales por desorganización con los distribuidores. Por ejemplo, aplicando el “Just-in-time”, con una organización previa, los materiales, herramientas y trabajadores, deberán llegar justo cuando sean necesarios. Esto elimina gran parte del control de inventario y almacenamiento liberando así la línea de producción y derivando en un mejor ritmo de trabajo.



*Figura 8. 5 S japonesas*

La “Lean construction” o construcción ajustada es algo muy demandado actualmente y es uno de los objetivos de este proyecto. Aunque está pensado para un proyecto a mayor escala, diseñar el módulo siguiendo esta metodología, permite aplicarla en el futuro durante la producción de estos. La estandarización y la construcción en fábrica ayudan enormemente a conseguir aplicarlo al tener mayor control en la planificación y ejecución de los procesos.



## **Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO**

### **4.1 JUSTIFICACIÓN**

Con todo lo mencionado anteriormente, vemos que la industrialización en la vivienda es una necesidad. Pasar de un proceso lineal de construcción, largo, costoso y contaminante a uno mucho más optimizado, económico y sostenible es un paso que se está dando actualmente y con este proyecto se busca fomentar el desarrollo de esta práctica.

Este es un proyecto conjunto, de varias etapas. La primera realizada, por Miguel Cobo, en la que se diseña la estructura del bloque de viviendas. En esta se propondrán tres tipos de módulo: baño, cocina y de trabajo, además de diseñar el hábitat y las instalaciones eléctricas. Este en concreto se centra en el módulo de trabajo. En trabajos futuros se diseñará el modo de ensamblaje de los módulos a la estructura principal del edificio y terminar el diseño del bloque. El objetivo final es conseguir mediante la construcción modular y con ayuda de la metodología Lean unas viviendas económicas y sostenibles para ayudar a mejorar el sector.

### **4.2 OBJETIVOS**

El principal objetivo de este proyecto es el diseño de un módulo de trabajo. Este deberá contar con espacio suficiente para una mesa y estanterías para el almacenamiento. Además, ha de estar bien iluminado, con la temperatura adecuada y con conexión a la red eléctrica e internet. Asimismo, se diseñará de tal manera que el ensamblaje y desmontaje sea sencillo. Mediante SolidWorks, se realizará el modelo y se amueblará para tener una idea clara del producto final.

La reducción en los plazos de construcción es un punto importante del proyecto, por lo que se planteará un plan de construcción, siguiendo la metodología Lean, en el que se optimizará el tiempo requerido, así como los recursos utilizados, eliminando procesos que no sean necesarios.

Con todo ello, se espera conseguir un módulo de fácil producción, económico y que se pueda llevar a cabo de manera ágil y eficiente. Asimismo, se proporcionará un plan de producción y un ejemplo concreto de cómo sería dicho módulo una vez amueblado.

### **4.3 METODOLOGÍA**

En primer lugar, se realizará un modelo general del módulo empleando SolidWorks con el objetivo de llevar a cabo un estudio de materiales para elegir los más adecuados. Entre ellos se valorará que sean de fácil instalación y retirada por una posible renovación.

Posteriormente, una vez se hayan elegido los materiales, se finalizará el modelo del módulo. Se tendrá en cuenta el método de instalación de cada parte del mismo, para hacerlo de la manera más sencilla posible. Una vez esté acabado, se propondrá un ejemplo del módulo amueblado.

Por último, se hará una comparación de dos planes de construcción. El primero será sin optimizar, siguiendo un plan en serie. El segundo, se centrará en producir el módulo de la manera más eficiente posible mediante procesos en paralelo con el objetivo de reducir los plazos. Además, se realizará una estimación económica del producto final.

## ***4.4 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE***

Como se ha mencionado anteriormente, la sostenibilidad es uno de los principales objetivos del proyecto. Por ello, se pretende seguir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, entre los cuales podemos destacar 3 de ellos:

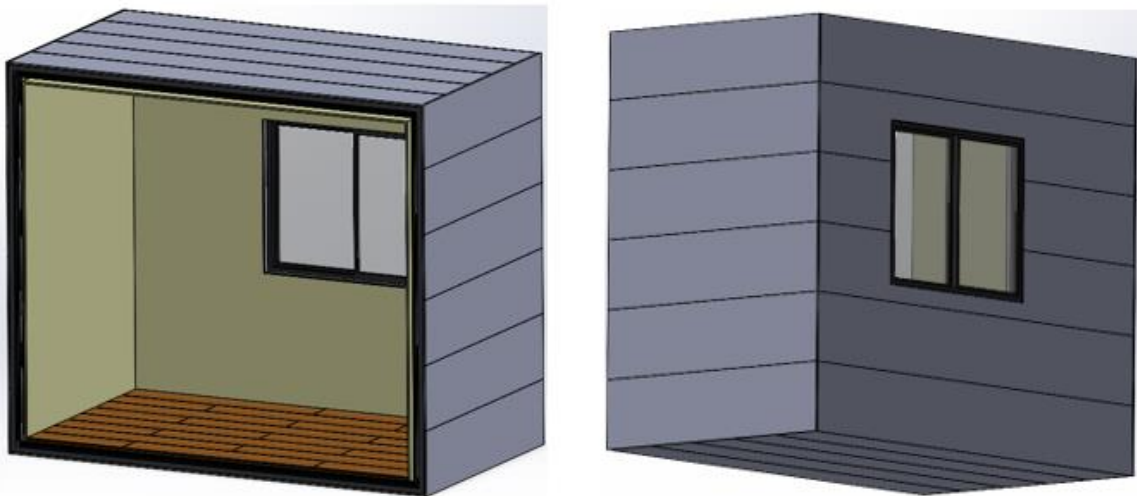
“Objetivo 9: Industria, Innovación e Infraestructura”. La industrialización de la construcción es necesaria y para ello se necesitan proyectos como este para fomentarla. El proyecto propone una solución más económica y sostenible al método de edificación actual. Un avance así en uno de los sectores más grandes contribuiría enormemente en la infraestructura global.

“Objetivo 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles”. Este punto es uno de los objetivos principales del proyecto INVISIO, aunque no tenga tanta presencia en este proyecto. El aprovechamiento energético es una de las claves para lograr una comunidad sostenible y es lo que se propone con este proyecto y este tipo de viviendas.

“Objetivo 13: Acción por el clima”. Viviendas construidas mediante este método tendrán un impacto medioambiental mucho menor durante su construcción y durante su uso. Usando la metodología Lean y la construcción modular, se consiguen reducir los plazos, que implica maquinaria funcionando menos tiempo; un transporte más eficiente de los recursos empleados y un reciclaje más fácil de los residuos. Además, la reutilización de gran parte de los materiales en caso de renovar un módulo. Con todo ello se podrán desarrollar comunidades más sostenibles.

## Capítulo 5. SISTEMA/MODELO DESARROLLADO

Mediante SolidWorks se ha realizado el diseño del final del módulo. Tras un estudio de los materiales y de métodos de instalación el diseño es el siguiente:



*Figura 9. Diseño final del módulo*

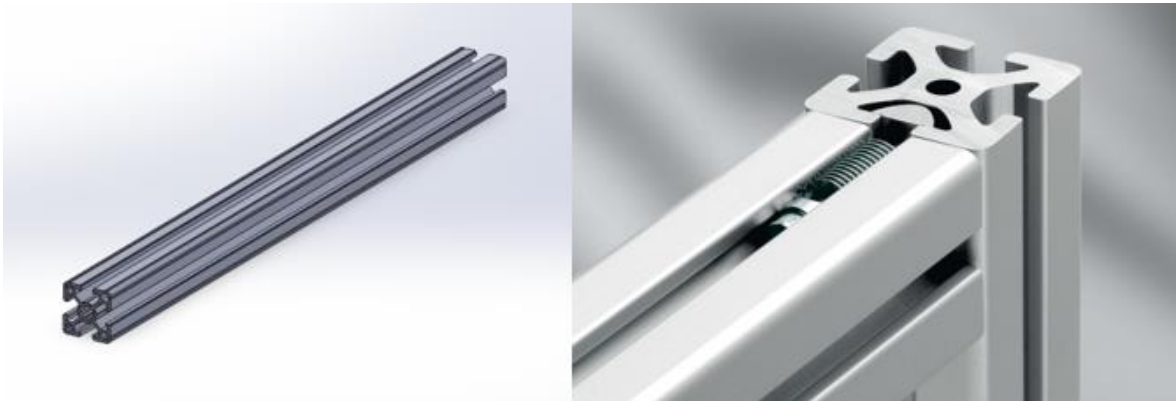
Las dimensiones exteriores son de 2.75 m de alto, 3.2 m de ancho y 1.8 m de profundidad. Las interiores serían 2.48 m de alto, 2.92 de ancho 1.66 m de profundidad. Con estas dimensiones se puede asegurar que habrá espacio suficiente para poder acomodarlo, más adelante se propondrá un ejemplo de amueblamiento.

A continuación, se describirán las diferentes partes del módulo. Se explicarán los materiales seleccionados y los métodos de instalación y fijación.

### **5.1 ESTRUCTURA DE BASTIDORES**

Esta estructura estará apoyada sobre las vigas del edificio por lo que no necesita soportar una gran cantidad de peso. Lo fundamental de esta estructura es contar con una instalación sencilla y adaptable.

Para los bastidores se utilizará un perfil de aluminio de 40x40 mm. El aluminio es un material resistente y económico, por lo que es el óptimo para este módulo. Además, estos perfiles permiten una instalación sencilla sin necesidad de soldadura y en caso de desmontaje, da lugar a una fácil reutilización de las piezas.



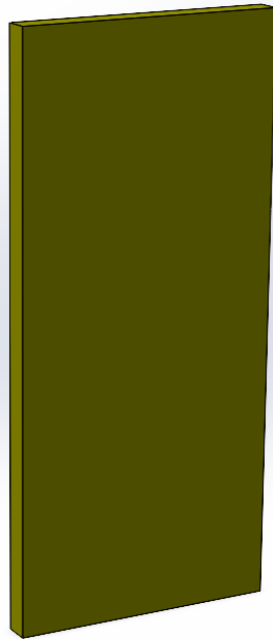
*Figura 10. Perfil de aluminio 40x40 [8] y unión automática [9]*

## **5.2 AISLAMIENTO**

El aislamiento está compuesto por dos capas de distintos materiales para asegurar el mayor grado de aislamiento acústico y térmico posible dentro de las medidas especificadas.

### **5.2.1 PANEL SÁNDWICH**

En primer lugar, se utilizará un panel sándwich de poliuretano ya que cumple con las características [10] adecuadas para este proyecto. Los paneles irán dispuestos entre los bastidores de aluminio para cubrir toda la estructura, teniendo el mismo espesor que estos, 40 mm. Se fijarán los paneles mediante adhesivos removibles para facilitar la instalación y el desmontaje de estos.



*Figura 11. Panel sándwich*

### **5.2.2 PANEL EPS**

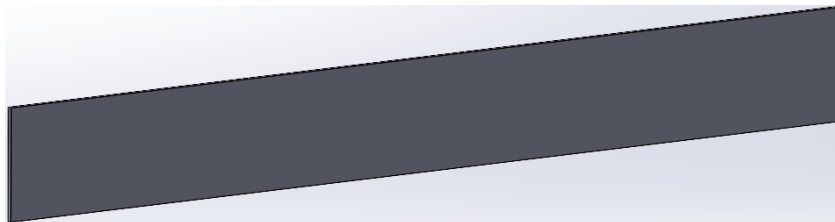
Por último, para reducir el puente térmico debido al espacio ocupado por los bastidores y para aumentar el aislamiento tanto térmico como acústico se utilizarán paneles de poliestireno expandido (EPS) [11]. Los paneles recubrirán toda la superficie de la estructura para garantizar el aislamiento y contarán con 40 mm de espesor. Estos se podrán fijar mediante tornillos a los bastidores o con adhesivos según convenga.



*Figura 12. Paneles de EPS montados en la estructura*

### **5.3 REVESTIMIENTO EXTERIOR**

Para el revestimiento de la fachada, se emplearán placas de fibrocemento. Estas placas cuentan con alta resistencia, ligereza e impermeabilidad [12]. Por otra parte, son fáciles de cortar e instalar y su mantenimiento resulta sencillo. Estas se fijarán mediante el uso de tornillos, los cuales se emplearán para asegurar las placas a los bastidores correspondientes y serán de 15 mm de grosor.

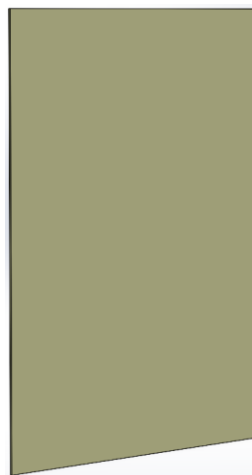


*Figura 13. Placa de fibrocemento*

## **5.4 ACABADOS INTERIORES**

### **5.4.1 PAREDES Y TECHO**

El recubrimiento de las paredes y el techo se llevará a cabo mediante placas de yeso. Es un material económico, ligero, resistente y ayuda con el aislamiento térmico y acústico [13]. Además, proporcionan una superficie lisa y uniforme, sin juntas, lo que facilita la aplicación de pintura o papel. Se instalarán a 3 cm del aislamiento para dejar hueco para las instalaciones eléctricas del módulo y estarán fijadas mediante tornillos a los bastidores. Ambas secciones se pueden ver en el Anexo I: Secciones constructivas

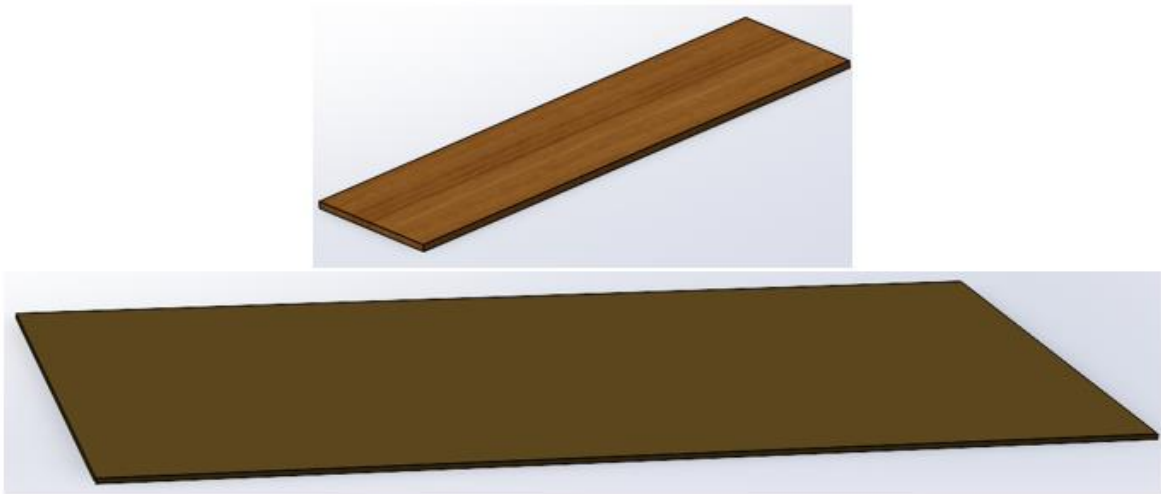


*Figura 14. Placas de yeso*

### **5.4.2 SUELO**

El suelo estará compuesto de suelo laminado. Este tipo de suelos permiten un acabado estético y duradero con una instalación sencilla. Para ello se requerirá de un tablero de OSB encima del aislamiento para asegurar la uniformidad de la superficie, seguida de una espuma de EPS y por último las láminas. La sección del suelo se puede ver en el Anexo I: Secciones constructivas

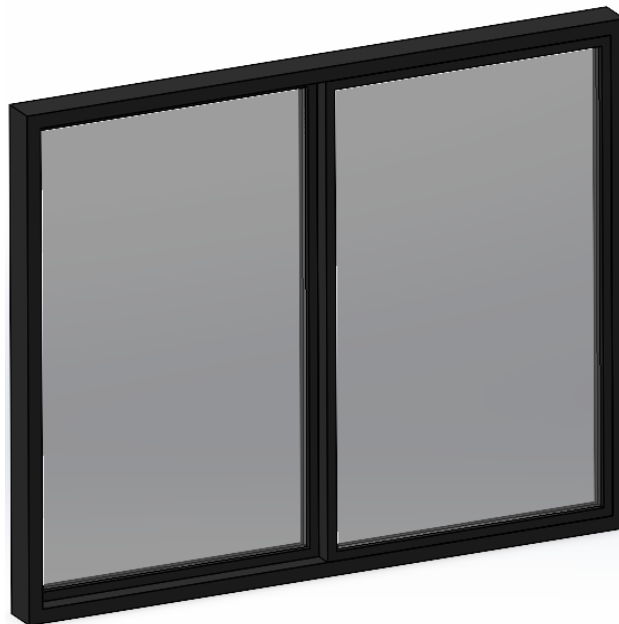




*Figura 15. Lámina de suelo y tablero OSB*

## 5.5 VENTANA

El módulo dispondrá de una ventana corredera que permitirá la entrada de luz natural además de dar opción a ventilación. Esta se instalará sobre las placas de yeso con su debido aislamiento para mantener el aislamiento térmico y acústico del módulo.



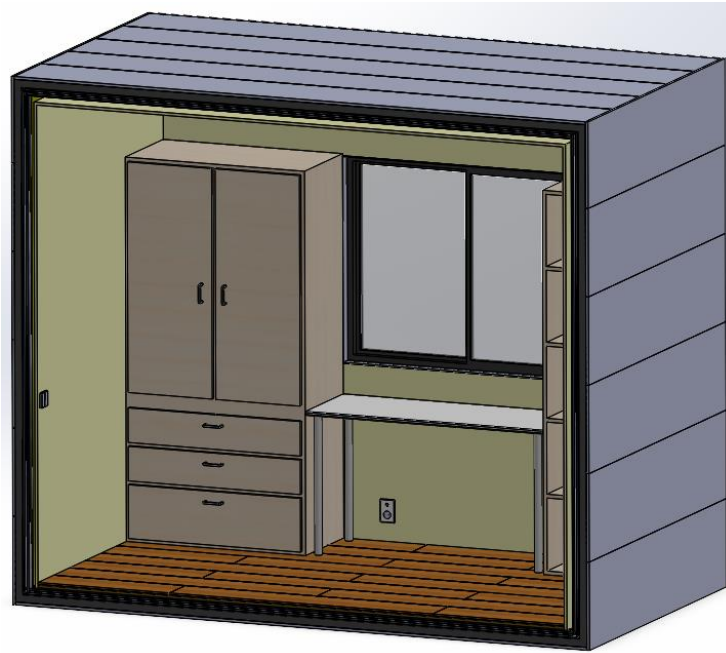
*Figura 16. Ventana*

## 5.6 *MÓDULO AMUEBLADO*

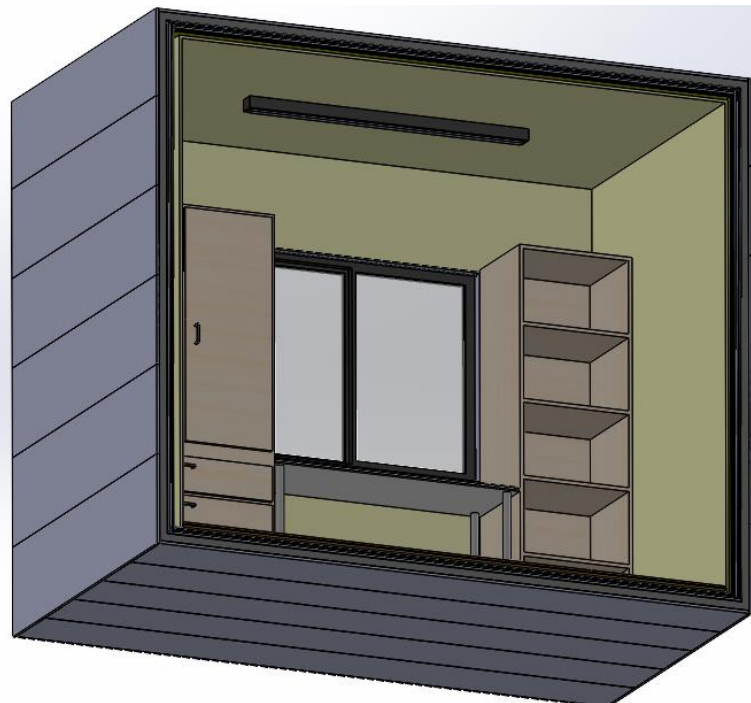
El módulo, con las dimensiones propuestas, cuenta con espacio suficiente para acomodar una mesa grande, con una toma de corriente y puerto Ethernet, y varias estanterías para el almacenamiento. Además, deberá tener iluminación suficiente aportada por la ventana y una lámpara. A continuación, se propone una configuración de amueblamiento:



*Figura 17. Amueblamiento Vista 1*



*Figura 18. Amueblamiento Vista 2*



*Figura 19. Amueblamiento Vista 3*

## **Capítulo 6. PLAZOS DE CONSTRUCCIÓN**

En este capítulo se estimarán dos modelos de plazos de construcción distintos. El primero será realizando la construcción en serie, es decir, hasta que no esté acabado un proceso no se iniciará el siguiente. En el otro modelo la construcción se realizará en paralelo, instalando varias partes a la vez siempre que se permita. Con ello se busca reducir al máximo el plazo, respetando el orden de construcción.

En ambos modelos no se tendrá en cuenta la preparación previa, como la revisión del diseño y el corte de los materiales ya que es necesaria en ambas. Los tiempos se han obtenido con la herramienta de generación de precios de CYPE [14], así como los costes de los materiales y mano de obra que se mencionarán más adelante.

### **6.1 EN SERIE**

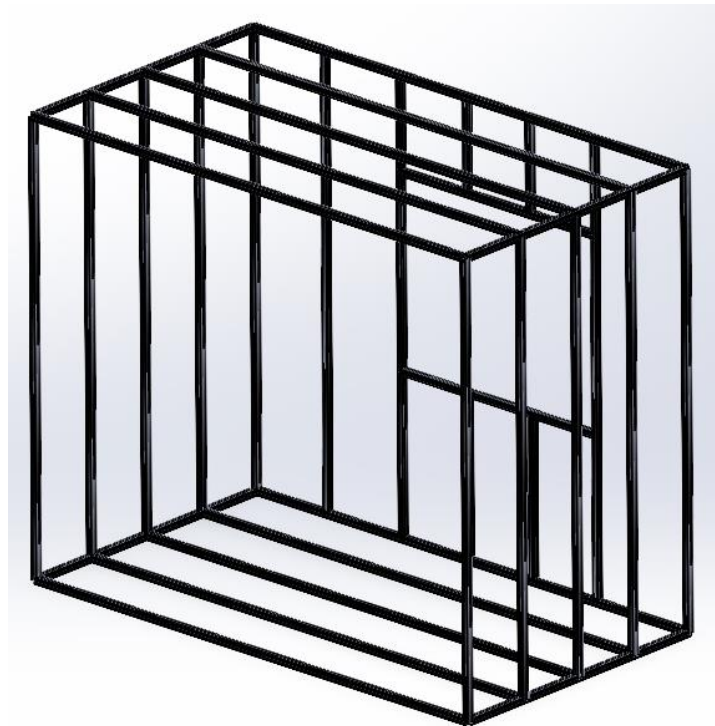
Como se ha comentado anteriormente este procedimiento consiste en instalar una parte cuando la anterior ya este instalada. El proceso suele ser más largo de lo necesario, por lo que en el siguiente apartado se intentará optimizar. La estimación se realizará suponiendo que se contará con dos trabajadores por proceso.

A continuación, se enumeran los pasos de la construcción:

- Montar la estructura de bastidores. Estos se fijarán entre sí mediante una unión automática. El proceso durará 11,5 horas.

Horas de trabajo	10	20	30	40
Bastidores				
Paneles sándiwch				
Instalaciones eléctricas				
Paneles de yeso y ventana				
Suelo				
Paneles de EPS				
Paneles de fibrocemento				

*Tabla 3. Paso 1, construcción en serie*

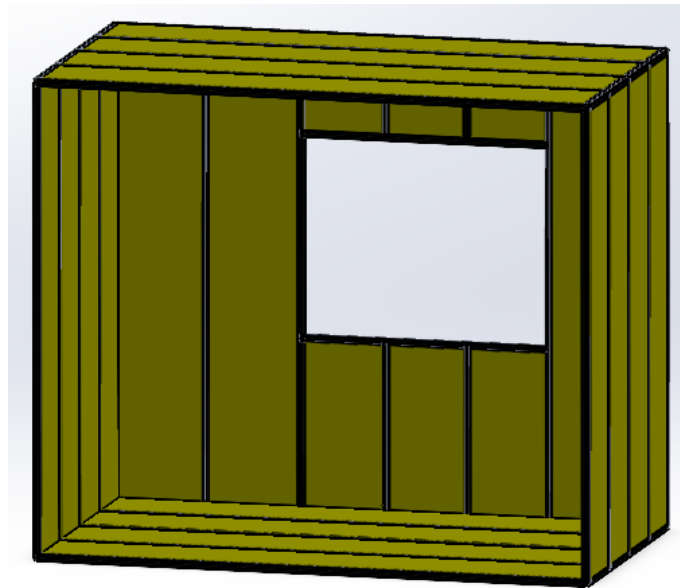


*Figura 20. Estructura de bastidores ensamblada*

- Instalar los paneles sándwich. Estos estarán adheridos a los bastidores con adhesivos removibles. La duración será de 5 horas.

Horas de trabajo	10	20	30	40
Bastidores				
Paneles sándwich				
Instalaciones eléctricas				
Paneles de yeso y ventana				
Suelo				
Paneles de EPS				
Paneles de fibrocemento				

*Tabla 4. Paso 2, construcción en serie*

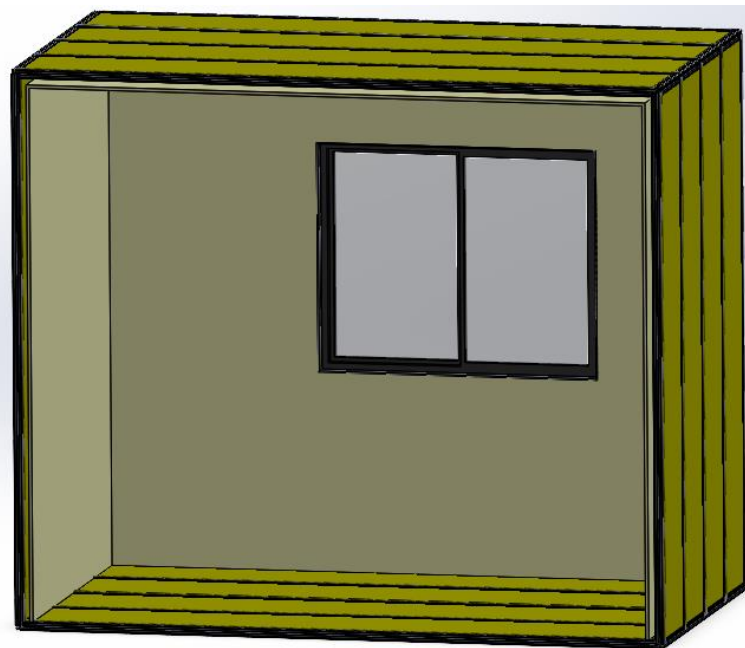


*Figura 21. Paneles sándwich instalados*

- Montar el cableado para posteriormente instalar las paredes y el techo. El proceso será de 1 hora.
- Instalar las placas de yeso que conforman las paredes y el techo. Estas estarán a 3 cm de los bastidores y paneles sándwich para dar margen para las instalaciones eléctricas. Se fijarán mediante tornillos a los bastidores. Además, se instalará la estructura de la ventana. Tendrá una duración de 7,5 horas.

Horas de trabajo	10	20	30	40
Bastidores	[Orange bar from 10 to 20]			
Paneles sándiwch		[Orange bar from 20 to 30]		
Instalaciones eléctricas			[Orange bar from 25 to 26]	
Paneles de yeso y ventana			[Orange bar from 28 to 32]	
Suelo				
Paneles de EPS				
Paneles de fibrocemento				

*Tabla 5. Pasos 3 y 4, construcción en serie*

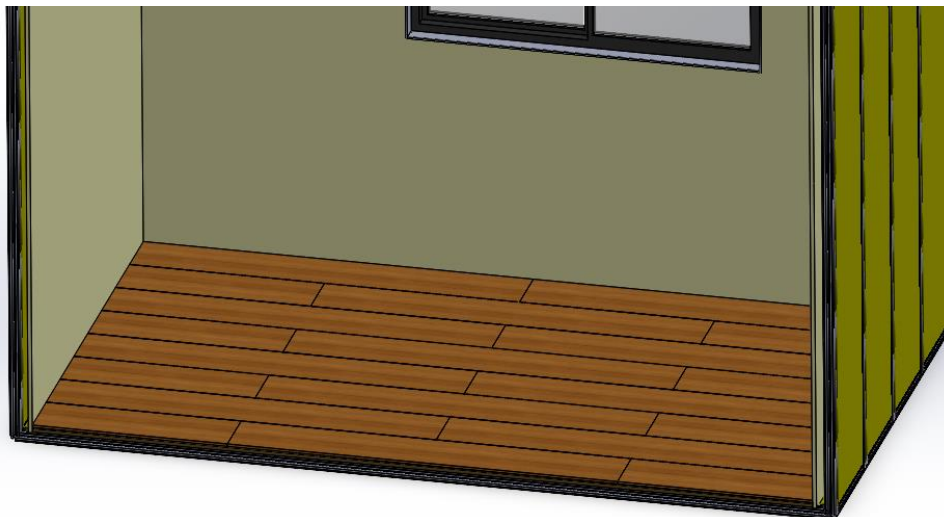


*Figura 22. Pared, techo y ventana instaladas*

- Colocar las diferentes placas del suelo. Primero se fijará el tablero de OSB a los bastidores, se cubrirá con espuma de EPS y se instalarán las láminas del suelo. Se requerirá 1 hora.

Horas de trabajo	10	20	30	40
Bastidores	■			
Paneles sándwich		■		
Instalaciones eléctricas			■	
Paneles de yeso y ventana			■	
Suelo				■
Paneles de EPS				
Paneles de fibrocemento				

*Tabla 6. Paso 5, construcción en serie*



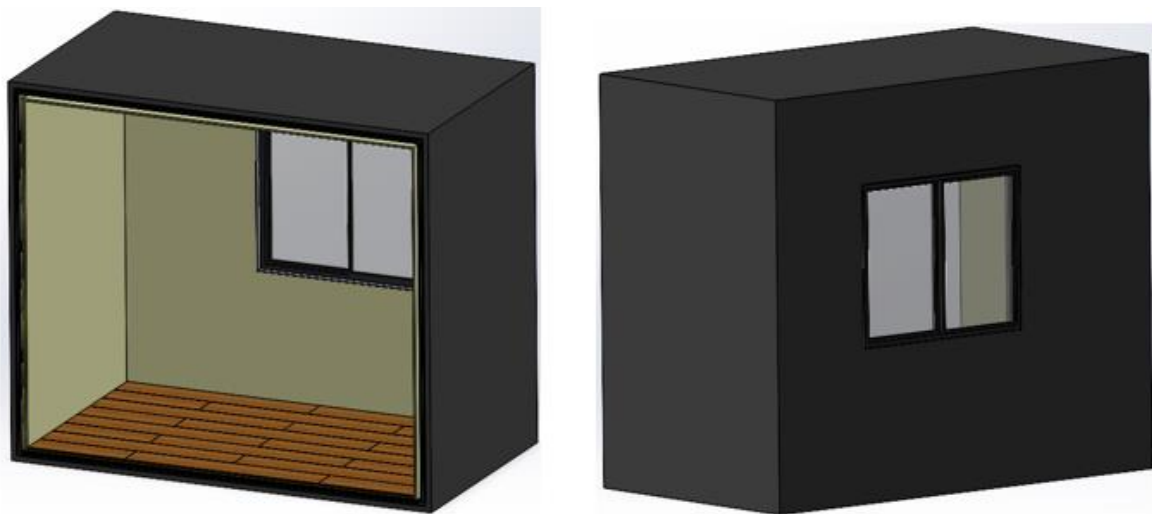
*Figura 23. Suelo instalado*

- Cubrir el módulo con las placas de EPS, fijadas mediante tornillos a los bastidores y paneles sándwich. Durará 4,5 horas.



Horas de trabajo	10	20	30	40
Bastidores	[Orange bar from 10 to 20]			
Paneles sándiwch		[Orange bar from 20 to 25]		
Instalaciones eléctricas			[Orange bar from 25 to 26]	
Paneles de yeso y ventana			[Orange bar from 26 to 30]	
Suelo				[Orange bar from 30 to 31]
Paneles de EPS				[Orange bar from 31 to 32]
Paneles de fibrocemento				

*Tabla 7. Paso 6, construcción en serie*



*Figura 24. Paneles de EPS instalados*

- Instalar el revestimiento exterior compuesto de placas de fibrocemento que irán fijadas mediante tornillos. El proceso será de 2,5 horas

Horas de trabajo	10	20	30	40
Bastidores	[Barra de 10 a 20 horas]			
Paneles sándiwich		[Barra de 20 a 25 horas]		
Instalaciones eléctricas			[Barra de 25 a 26 horas]	
Paneles de yeso y ventana			[Barra de 26 a 30 horas]	
Suelo				[Barra de 30 a 31 horas]
Paneles de EPS				[Barra de 31 a 33 horas]
Paneles de fibrocemento				[Barra de 33 a 34 horas]

Tabla 8. Paso 7, construcción en serie

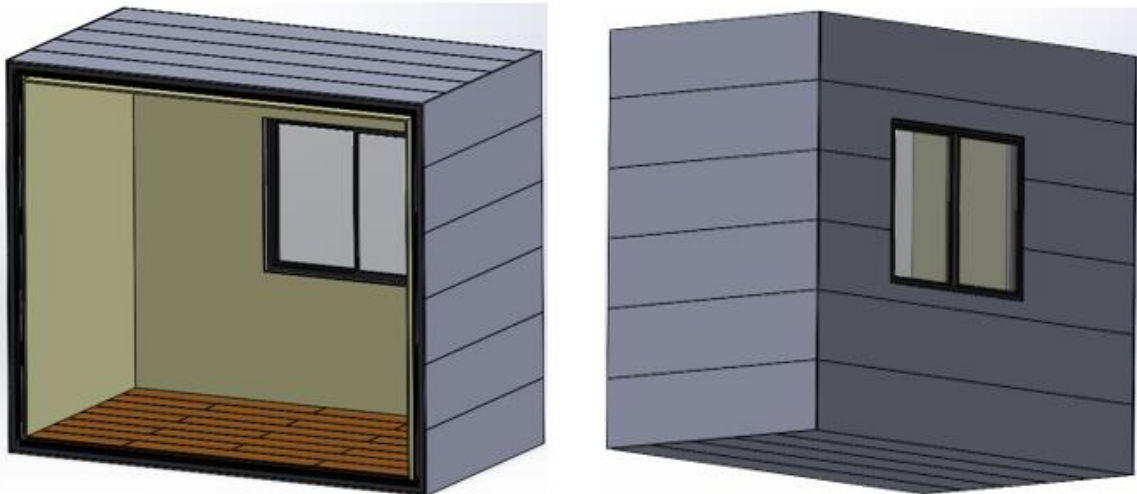









Figura 25. Revestimiento exterior instalado

Siguiendo este método, viendo la Tabla 8, el montaje resulta en 33 horas de trabajo, algo más de una semana.

## 6.2 EN PARALELO

Los procesos de instalación en este método son iguales que en el anterior, pero se realizarán cambios en el orden de esta.

Los bastidores han de estar montados al completo para poder iniciar cualquier otro proceso, por lo que aquí no habrá cambios. Cuando ya se hayan instalado algunos paneles sándwich se podrá proceder con la instalación de los paneles de EPS, que irá siempre por detrás para que haya tiempo suficiente para montar todos los paneles sándwich. Una vez estos estén fijados, se comenzará la instalación del cableado y del suelo ya que ambos pueden hacerse simultáneamente. Posteriormente a realizar el cableado se fijarán paredes y techos y al terminar el montaje de los paneles de EPS empezará el del revestimiento exterior de fibrocemento.

Horas de trabajo	10	20	30	40
Bastidores				
Paneles sándiwch				
Instalaciones eléctricas				
Paneles de yeso y ventana				
Suelo				
Paneles de EPS				
Paneles de fibrocemento				

*Tabla 9. Plazos de la construcción en paralelo*

Siguiendo este método, expuesto en la Tabla 9, el plazo se reduce a 25 horas, un 24,24%. Para la fabricación del módulo se usará este método ya que es más reducido que el expuesto anteriormente.

## Capítulo 7. ESTIMACIÓN DE COSTES

En este apartado se van a estimar los costes del proyecto. Para ello se van a tener en cuenta únicamente los costes de los materiales y utilizados para la construcción del módulo y la mano de obra necesaria para ello. Aun así, hay muchos costes que no se están considerando como el transporte del módulo, coste de la maquinaria de la fábrica, controles de calidad y seguros, ya que esto sería parte de un proyecto mucho más extenso. Estos, en su mayoría, se han realizado con la herramienta de generador de precios de la empresa CYPE, exceptuando los perfiles de aluminio, cuyos costes se han obtenido de un distribuidor.

Elementos de construcción	Descripción	Código	Unidades	Cantidad	Precio unitario	Importe
Bastidores de aluminio	Perfiles de aluminio de 40x40 mm	10021 (Adajusa)	m	76,72	30,32	2326,15
Paneles sándwich	Paneles sándwich de 4mm de espesor con chapas de acero	mt12pp1100Caa	m2	22,93	63,8	1462,93
Fibro cemento	Paneles de fibro cemento de 9mm de	mt13pfg010a	m2	28,35	14,06	398,60
Paneles de EPS	Paneles aislantes de EPS de 40mm de espesor	mt16pe1010aagl	m2	28,22	7,97	224,91
Suelo laminado	Laminas de suelo y aislante	mt18lpg020ag	m2	4,85	11,79	57,18
Paneles de yeso	Paneles de yeso de 13mm de espesor	mt12psg010b	m2	19,11	11,98	228,94
Ventana	Ventana corredera de 150x120 cm	mt24gen040hea	Ud	1	336,23	336,23
Instalación eléctrica	Cableado para las instalaciones electricas	mt35cun040aa	m	15	0,26	3,90
					Coste total estimado	5038,85

Tabla 10. Estimación de costes de los materiales

En la Tabla 10 podemos ver los distintos elementos de construcción con su descripción, además del código de referencia para el programa de CYPE, exceptuando los perfiles que se han obtenido de la empresa Adajusa. Cabe mencionar que los precios incluyen todo el material necesario para la instalación de cada elemento, ya sean tornillos, adhesivos u otro tipo de elementos. Finalmente, con la cantidad utilizada de cada material y los precios unitarios proporcionados por el software resulta en un coste total de materiales de 5038,85 euros.

Elementos de construcción	Código	Unidades	Rendimiento	Cantidad a construir	Precio unitario	Importe
Oficial 1º montador de perfiles	-	h	0,15	76,72	22	253,18
Ayudante montador de perfiles	-	h	0,15	76,72	21	241,67
Oficial 1º montador de cerramientos industriales	mo047	h	0,222	22,93	17,97	91,48
Ayudante montador de cerramientos industriales	mo090	h	0,222	22,93	16,69	84,96
Oficial 1º montador de cerramientos industriales	mo051	h	0,091	28,35	17,82	45,97
Ayudante montador de cerramientos industriales	mo098	h	0,091	28,35	16,13	41,61
Oficial 1º montador de aislamientos	mo054	h	0,16	28,22	22	99,33
Ayudante montador de aislamientos	mo101	h	0,16	28,22	20,34	91,84
Oficial 1º instalador de pavimentos laminados	mo028	h	0,09	4,85	21,41	9,35
Ayudante instalador de pavimentos laminados	mo066	h	0,07	4,85	20,34	6,91
Oficial 1º montador de prefabricados interiores	mo053	h	0,319	19,11	22	134,11
Ayudante montador de prefabricados interiores	mo100	h	0,319	19,11	20,34	123,99
Oficial 1º cerrajero	mo018	h	1,404	1	21,69	30,45
Ayudante 1º cerrajero	mo059	h	0,932	1	20,38	18,99
Oficial 1º electricista	mo003	h	0,01	15	19,42	2,91
Ayudante electricista	mo102	h	0,01	15	17,86	2,68
					<b>Coste total estimado</b>	<b>1279,44</b>

*Tabla 11. Estimación de costes de la mano de obra*

En la Tabla 11 están representados todos los costes de mano de obra que se usará durante el proceso de construcción. Al no estar disponibles los costes para los perfiles se ha realizado una estimación. Teniendo en cuenta los rendimientos para cada material se realizó la estimación de los plazos. El coste total de la mano de obra son 1279,44 euros.

Como se mencionó anteriormente faltan muchos costes por contabilizar, así como el amueblamiento del módulo. Aun así, esto da una idea general del coste de producción, el cual asciende a 6318,29 euros contando materiales y mano de obra.

## **Capítulo 8. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Una vez ya realizado el diseño y la estimación de plazos de la construcción y los costes se van a analizar los resultados obtenidos en este capítulo.

En primer lugar, en cuanto al diseño, se ha conseguido un módulo con unas características adecuadas para cumplir su función. Tiene tamaño suficiente para ser amueblado adecuadamente, como se verá más adelante en un ejemplo de amueblamiento; está bien iluminado mediante luz natural y con opción a instalar una lámpara en el techo; y cuenta con un buen aislamiento acústico y térmico. La instalación es sencilla gracias a los materiales y métodos de fijación propuestos, aunque no se hayan explicado y mostrado en detalle.

Además, el proyecto cumple con los Objetivos de Desarrollo Sostenible mencionados al inicio del proyecto. Mediante la industrialización en la construcción se conseguirá mejorar la sostenibilidad en el sector. Los residuos están mejor controlados, los módulos son completamente reubicables, lo que aumenta la vida del mismo, así como fácilmente desmontables en caso de avería por lo que se reducen al máximo los desperdicios.

Se ha conseguido una reducción de plazos próxima al 25% con el modelo de construcción el paralelo. Aunque no lleve a una reducción de costes en la mano de obra, ya que se utilizan el mismo número de trabajadores durante las mismas horas, durante el proceso de construcción del bloque completo se podrá apreciar mejor la reducción en costes gracias a la reducción de plazos general.

Los costes finales de producción del módulo resultan en 6318,29 euros sin contar costes como el transporte, controles de calidad y otros. La comparación con otros proyectos similares es complicada ya que no está muy claro que costes están contabilizados y cuales no, además que los presupuestos suelen hacerse para una vivienda completa, no para un módulo individual. Aun así, el diseño se ha realizado con el objetivo de reducir costes en los materiales, usando los más económicos posibles, pero siempre manteniendo la calidad.

## ***8.1 APLICACIÓN DE LEAN CONSTRUCTION***

Por último, como se mencionó anteriormente, este método es para procesos a mayor escala por lo que no se podrán aplicar todas las bases de la metodología Lean en este proyecto en concreto, pero si en el conjunto, aunque es necesario tenerlo en cuenta desde cualquier punto del diseño. Por ello algunos de los puntos que se pueden aplicar son: la estandarización, el “Just-in-time” durante la producción y una buena planificación inicial.

Mediante este diseño se simplifica el proceso de diseño y fabricación. Aunque se haya propuesto este módulo con estas dimensiones, pueden surgir cambios en estas, pero las bases están ahí. La poca variabilidad en el diseño es clave para una buena organización ya que los procesos experimentarán cambios mínimos y fácilmente adaptables.

Al realizar toda la producción en fábrica y si se planifica bien y con antelación, la gestión de los procesos sería óptima. Al tener el diseño estandarizado, con los plazos establecidos, permite poder organizarte con trabajadores y distribuidores para conseguir un proceso más eficiente. Aplicando objetivos diarios y semanales será más fácil controlar todo y poder prevenir fallos. También da la posibilidad de que los materiales lleguen a fábrica justo cuando vayan a ser utilizados lo que reduce enormemente la necesidad de controlar inventario y el espacio de almacenamiento. Esto genera un flujo de trabajo mucho mejor, lo que mejora la productividad y la eficiencia.

## **Capítulo 9. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

Como hemos visto en el análisis de resultados se ha conseguido diseñar un módulo con las características adecuadas para acomodar un despacho, así como realizarlo de manera sencilla y reduciendo plazos. Se puede concluir que se han cumplido los objetivos propuestos. Además, también se han cumplido los Objetivos de Desarrollo Sostenible en los que se busca fomentar la industria y las viviendas sostenibles.

Al realizar proyectos de este tipo se abren nuevas puertas en el sector de la construcción, dando paso a que más empresas intenten adoptar este tipo de construcción. Para poder industrializar el sector la estandarización es clave y es lo que se busca en este proyecto. Además, la aplicación de la “Lean construction” es un factor que ya se está empezando a tener en cuenta y puede ayudar en gran medida a esta transición debido a sus grandes beneficios.

Aún así faltan varias fases por terminar en este proyecto conjunto. Este año se han realizado tres módulos distintos: baño, cocina y trabajo; y se ha diseñado el hábitat y la fachada, además de las instalaciones eléctricas. Para trabajos futuros quedaría realizar una parte importante de los módulos, el método de unión a la estructura del edificio. Este es un apartado muy importante ya que es una de las cosas que ayuda a la rapidez del proceso, así como a la sostenibilidad de estos edificios. Al tener una manera sencilla de acoplar y desacoplar los módulos será más fácil reutilizar materiales o los módulos completos. Además, tendrá que definirse con más detalle toda la estructura principal del bloque de viviendas.



## Capítulo 10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Guardiola, «Proyecto INVISIO».
- [2] M. Cobo, «Sistemas de montaje para una construcción de "Componentes Compatibles" : 3C siguiendo la metodología Lean,» 2022.
- [3] I. Arnabat, «El mercado de la Construcción: situación actual y retos 2023,» *Calor y frío*, 2023. <https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/mercado-construccion-situacion-actual-retos.html>
- [4] A. Pujol, «Los materiales continúan en máximos después de un año de guerra en Ucrania,» *Eje Prime*, 2023. <https://www.ejeprime.com/mercado/los-materiales-siguen-en-maximos-un-ano-despues-del-inicio-de-la-guerra-en-ucrania.html>
- [5] U. Government, «Monthly Statistics of Building Materials and Components,» 2023.
- [6] G. Eurocasa, «Historia de la construcción prefabricada».  
<https://eurocasas.com/historia-de-las-construccion-prefabricada/>
- [7] INESDI, «Metodología Lean: qué es, herramientas y ejemplos,» 2021.  
<https://www.inesdi.com/blog/metodologia-lean-que-es-herramientas-y-ejemplos/>
- [8] Adajusa, «Perfil Aluminio 40x40».  
[https://adajusa.es/es/perfileria-de-aluminio/11293-perfil-aluminio-40x40-corte-a-medida-8435532894445.html?gclid=CjwKCAjwzJmlBhBBEiwAEJyLu2ITWZkNko4LHh8kktclM5-nKR-iWT-OQFDvyZm3xPybGQblgaAOJhoCp5kQAvD\\_BwE](https://adajusa.es/es/perfileria-de-aluminio/11293-perfil-aluminio-40x40-corte-a-medida-8435532894445.html?gclid=CjwKCAjwzJmlBhBBEiwAEJyLu2ITWZkNko4LHh8kktclM5-nKR-iWT-OQFDvyZm3xPybGQblgaAOJhoCp5kQAvD_BwE)

- [9] Sinerges, «La unión automática». <https://www.sinerges.com/archivos/10287>
- [10] IDAE, «Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios 4, “Soluciones de Aislamiento con Poliuretano».
- [11] IDAE, «Guía Técnica para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios 1, “Soluciones de Aislamiento con Poliestireno Expandido (EPS)».
- [12] J. Navarro, «¿Qué es el fibrocemento?,» *Blog J.M Navarro*.  
<https://www.jmnavarrosi.com/blog/que-es-el-fibrocemento.html>
- [13] Danplac, «Ventajas de construir con paneles de yeso,» *Danplac*.  
<https://www.danplac.es/ocho-ventajas-de-construir-con-paneles-de-yeso/>
- [14] CYPE, «Generador de precios España».  
<http://www.generadordeprecios.info/#gsc.tab=0>

## ANEXO I

### SECCIONES CONSTRUCTIVAS

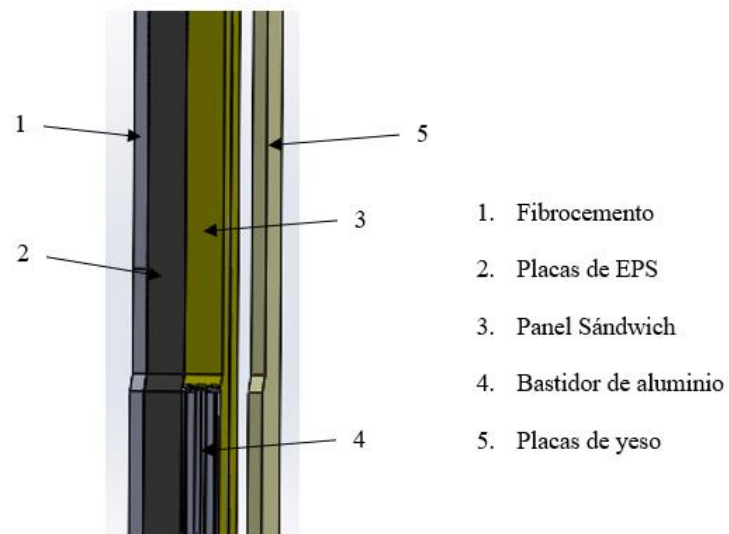


Figura 26. Sección constructiva de la pared

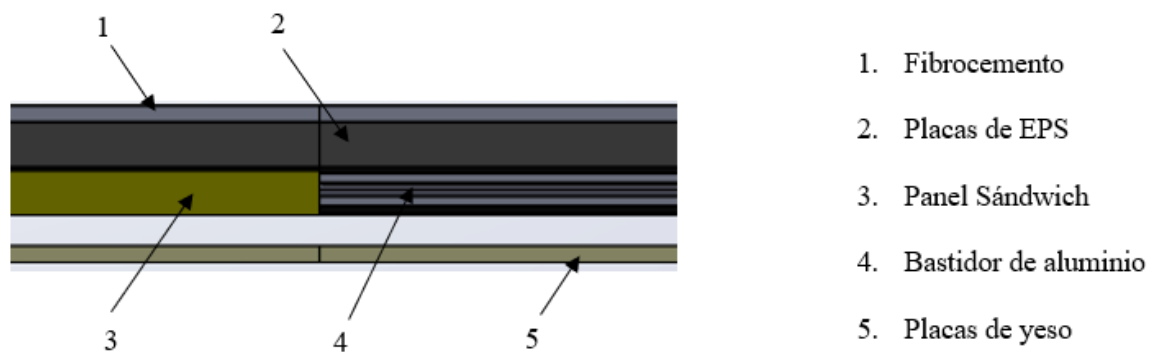
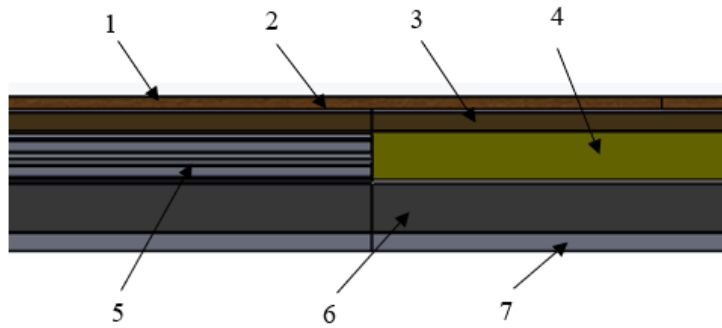


Figura 27. Sección constructiva del techo



1. Láminas de suelo
2. Espuma de EPS
3. Tablero OBS
4. Panel Sándwich
5. Bastidor de aluminio
6. Placas de EPS
7. Fibrocemento

*Figura 28. Sección constructiva del suelo*